

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO COPPEAD DE ADMINISTRAÇÃO

**RICARDO KALIL MORAES**

**EFETIVIDADE E EFICIÊNCIA DE FINANCIAMENTOS  
PÚBLICOS POR BANCO NACIONAL DE  
DESENVOLVIMENTO NO BRASIL: AVALIAÇÃO  
QUANTITATIVA POR MEIO DE ABORDAGEM NÃO-  
PARAMÉTRICA**

Rio de Janeiro

2021

**RICARDO KALIL MORAES**

**EFETIVIDADE E EFICIÊNCIA DE FINANCIAMENTOS  
PÚBLICOS POR BANCO NACIONAL DE  
DESENVOLVIMENTO NO BRASIL: AVALIAÇÃO  
QUANTITATIVA POR MEIO DE ABORDAGEM NÃO-  
PARAMÉTRICA**

Tese apresentada ao Instituto COPPEAD de  
Administração, Universidade Federal do  
Paraná, como requisito para grau de Doutor  
em Administração.

**ORIENTADOR: Peter Fernandes Wanke**

Rio de Janeiro

2021

## CIP - Catalogação na Publicação

MR488e Moraes, Ricardo  
EFETIVIDADE I DE FINANCIAMENTOS  
PÚBLICOS POR BA DE DESENVOLVIMENTO NO  
BRASIL: AVALIAÇÃO QUANTITATIVA POR MEIO DE  
ABORDAGEM NÃO-PARAMÉTRICA / Ricardo Moraes. -- Rio  
de Janeiro, 2021.  
184 f.

Orientador: Peter Wanke.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração,  
Programa de Pós-Graduação em Administração, 2021.

1. Avaliação de políticas públicas. 2. Banco  
National de Desenvolvimento Econômico e Social. 3.  
Data Envelopment Analysis. 4. Economia brasileira.  
5. Análise de Eficiência . I. Wanke, Peter, orient.  
II. Título.

## RICARDO KALIL MORAES

EFETIVIDADE E EFICIÊNCIA DE FINANCIAMENTOS PÚBLICOS POR BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO NO BRASIL: AVALIAÇÃO QUANTITATIVA POR MEIO DE ABORDAGEM NÃO-PARAMÉTRICA

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto COPPEAD de Administração, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Administração.

Aprovada em 01 de fevereiro de 2021.



---

Peter Fernandes Wanke, D.Sc - Orientador  
COPPEAD



---

Otavio Henrique dos Santos Figueiredo, D.Sc  
COPPEAD



---

Vicente Antonio de Castro Ferreira, D.Sc  
UFRJ



---

Henrique Ewbank de Miranda Veira, D.Sc  
FACENS



---

Benjamin Miranda Tabak, D.Sc  
FGV/EPPG

Rio de Janeiro

2021

## DEDICATÓRIA

O doutorado foi um desafio, um processo intenso, cuja dimensão me era desconhecida quando iniciei. A despeito da idade já ter me ensinado que há mais entre o céu e a terra do que sonha minha vã filosofia, a magnitude desse mistério, da dimensão do oceano de conhecimento que me era desconhecido foi surpreendente. Saio mais humilde. Saio com sensação de satisfação, pelo pouco que entendo ter trilhado. Saio mais grato.

Anos distante da vida acadêmica, acostumado com a burocracia federal, de repente, estava em um ambiente novo, cuja dinâmica era diferente, havia evoluído desde meus tempos de mestrado. O apoio e o exemplo dos colegas, professores, pareceristas e orientador me ajudaram a apreender e ter mais desenvoltura com esse *modus operandi*.

Poder, acessar o acervo de conhecimento, ao menos, parcialmente, utilizar o método científico e aplicá-lo para contribuir para o incremento desse acervo é uma motivação constante e o fruto esperado desse processo.

*Dedico esta tese*

*A minha mãe, Catharina Kalil Hanna Kattar, que sempre estimulou a busca pelo conhecimento, a pesquisa literária, o questionamento constante. A minha tia, Souer Petronille Gehara, exemplo de fé, perseverança, dedicação e carinho.*

*À minha esposa, Silvia Cavalcante, minha grande companheira, meu apoio sólido, que teve que arcar com a maior parte da responsabilidade em nossa família durante esse processo, sacrificando sua individualidade e sonhos, e com quem tive muitas faltas.*

*Aos meus filhos, Rodrigo, Yasmin, Ricardo Yeshua e Mariehn, sempre me acompanhando, novas mudanças, novas escolas, novos colegas. Vocês me dão esperança.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me proporcionar essa oportunidade, os meios, a saúde, as pessoas amigas que me ajudaram no caminho.

A minha família, pelo apoio incondicional e muita paciência, em diversos momentos.

Ao meu orientador, Prof. Peter Wanke, pelos insights oriundos de sua experiência e qualificação, pela dedicação, orientação, objetividade e pelo voto de confiança.

Ao colega Jorge Antunes, que muito me ajudou na programação no ambiente R.

Ao amigo Dalmo Marchetti, pela serenidade e carinho ao dividir sua experiência.

Aos Professores Paula Chimenti, Henrique Ewbank, Otavio Figueiredo, Marcos Estellita e Victor Almeida, pelas aulas inesquecíveis.

À Ticiane e Patrícia pelo apoio e simpatia.

Ao Instituto COPPEAD, por sua excelência.

Ao Ministério da Economia, pelo apoio institucional.

## RESUMO

MORAES, Ricardo Kalil. **Efetividade e Eficiência de Financiamentos Públicos por Banco Nacional de Desenvolvimento no Brasil: Avaliação Quantitativa por meio de Abordagem Não-Paramétrica**, 2021. 184f. Tese (Doutorado em Administração) - Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Essa pesquisa investiga a atuação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social na promoção da eficiência produtiva da economia brasileira. O papel de financiamento de longo prazo exercido por esse banco tem sido parte central de políticas públicas com foco em mudança estrutural e adensamento produtivo. A despeito dessa atuação, observa-se desindustrialização da econômica brasileira, que tem encontrado desafios para a redução do diferencial de produtividade em relação ao conjunto de economias desenvolvidas, indicando estagnação tecnológica e trajetória de perda de competitividade. Adicionalmente, essa política pública carece de avaliação quantitativa quanto a sua efetividade e eficiência que possibilite reavaliação no sentido de promoção de qualidade do gasto público. A principal contribuição da pesquisa consiste na utilização de abordagem quantitativa consagrada na metodologia de pesquisa operacional, a metodologia de análise de dados de envoltória, possibilitando avaliação da implementação dessa política pública em suas dimensões de eficiência e efetividade, bem como sugestão de algoritmo para aperfeiçoamento do processo de seleção de projetos de investimento. As questões da tese referentes a eficiência produtiva de cada setor econômico, dos fatores determinantes desses níveis de eficiência e do impacto da política industrial implementada pelo BNDES são tratadas ao longo de três pesquisas. A primeira, com foco no setor siderúrgico, utiliza um modelo Malmquist de dois estágios, cujos resultados não indicam um papel significativo para ganhos de eficiência por parte das empresas receptoras. Na segunda pesquisa, um modelo Malmquist de dois estágios, corrigido pela medida não radial de Russel, indica heterogeneidade setorial quanto a eficiência na obtenção dos objetivos da política industrial, bem como papel relevante da abertura econômica e do nível de concorrência. A terceira pesquisa, utilizando um modelo de redes neurais e cadeia de Markov, apresenta um baixo nível de eficiência do trabalho, tanto em seu aspecto físico quanto de adição de valor, bem como ausência de covariância relevante com o capital humano, indicativo de restrições estruturais de longo prazo para o desenvolvimento da economia brasileira.

**Palavras-chave:** política industrial, efetividade, Brasil, eficiência, Malmquist DEA de dois estágios, medida de Russel, BNDES, cadeia de Markov, redes neurais

## ABSTRACT

MORAES, Ricardo Kalil. **Efectiveness and Efficiency of Public Financing from State-Owned Bank in Brazil: Quantitative Evaluation through Non-Parametric Approach**, 2021. 172f. Tese (Doutorado em Administração) - Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

This research investigates Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social efforts in promoting productive efficiency in Brazilian economy. This bank role to provide long run financing is central to public policies focused on structural change and increasing productive density. Despite this role, it can be observed a deindustrialization in Brazilian economy, that faces challenge to short its productivity gap from most developed countries, showing technological stagnation and loosing competitiveness trend. In addition, this policy lacks from quantitative assessment of its effectiveness and efficiency which could allow its reshaping, in order to increase public spending quality. The main contribution from the research refers to using traditional quantitative approach in the field of operational research, the data envelopment analysis, allowing the evaluation of this public policy implementation, and the proposal of algorithm for project choice. The thesis questions referring to each economic sector productive efficiency, the determinants for these efficiency levels and the impact from industrial policy carried on by BNDES are faced through three research. The first one, focused on steel sector, by using a two-stage Malmquist model, whose result do not sign any significant efficiency gain by financed firms. In the second, a two-stage Malmquist model, corrected by non-radial Russel measure, shows sectorial heterogeneity achieving the industrial policy goals, also, the relevant role performed by trade openness and competition. The third one, by a neural network Markov chain, shows a low level of labor efficiency, both in terms of physical and value added, and lack of significant covariance with human capital, which means structural constraints to the long run development of the Brazilian economy.

**Palavras-chave:** industrial policy, effectiveness, Brazil, efficiency, Malmquist two-stage DEA, Russel measure, BNDES, Markov chain, neural network

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribuição setorial de financiamentos aprovados pelo BNDES- 2002-2019 .....	24
Figura 1.2: Distribuição setorial de aprovação de financiamentos pelo BNDES – 2002-2019 .....	25
Figura 2.1 Divergência KL para Mudança Técnica (alto), Mudança da Fronteira (meio) e Índice de Malmquist (baixo) .....	47
Figure 2.2 Distribuição ótima dos pesos.....	49
Figura 2.3 Resultados dos coeficientes para Mudança Técnica (alto), Mudança da Fronteira (meio) e Índice de Malmquist (baixo) .....	51
Figura 3.1 Distribuição setorial dos empréstimos BNDES – 2003-15.....	65
Figura 3.2: Distribuição setorial dos empréstimos BNDES, por projeto – 2003- 15 (milhões de reais).....	66
Figura 3.3 Distribuição ótima dos pesos.....	82
Figura 3.4 Coeficientes para mudança técnica ( <i>catching up</i> ), <i>frontier shift</i> e índice de Malmquist por setor .....	84
Figura 3.5 Índices TGR por setor .....	85
Figura 4.1 Desagregação setorial do PIB .....	114
Figura 4.2 Desagregação setorial do emprego.....	115
Figura 4.3 Equilíbrio de estado estacionário.....	117
Figura 4.4 Efeitos de política .....	118
Figura 4.5 Processo DEA em dois estágios .....	124
Figura 4.6 Índices HR, VA e global.....	128
Figura 4.7 Dispersão setorial dos índices HR, VA e global .....	128
Figura 4.8 Variáveis contextuais e desempenho dos índices de eficiência ....	129
Figure 4.9 Pesos dos modelos .....	131
Figura 4.10 um diagrama para o traçado da endogeneidade .....	131
Figura 5.1 Etapas de aprovação de projeto de investimento segundo algoritmo de financiamento público.....	147
Figura A.C.1 Modelo proposto.....	163
Figura A.C.2 Desenho do modelo adotado em Despotis, Koronakos e Sotiros (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016a).....	163

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Revisão de literatura – análise de eficiência .....	40
Tabela 2.2	Resultados da Divergência KL .....	48
Tabela 2.3	Resultado dos coeficientes das variáveis contextuais .....	50
Tabela 3.1:	Montante de empréstimos BNDES por setor - 2003-15 (bilhões de reais) .....	65
Tabela 3.2	Estatísticas descritivas dos produtos, insumos e variáveis contextuais por setor .....	77
Tabela 3.3	Correlograma entre os índices de eficiência e o TGR .....	83
Tabela 3.4	Resultados do teste Li Racine .....	86
Tabela 3.5	Sinais e significância dos coeficientes e variáveis contextuais.....	89
Tabela 4.1	Variáveis sociais e produtividade (revisão de literatura).....	112
Tabela 4.2	Estatísticas descritivas .....	119
Tabela 5.1	Estimativas de escores de eficiência, DMUs eficientes e economia de recursos públicos.....	149
Tabela A.A.1	Resultados dos coeficientes das variáveis contextuais (teste de robustez.....	156
Tabela A.B.1	Resultados dos coeficientes das variáveis contextuais (teste de robustez.....	160
Tabela A.C.1	Testes para diferenças em medianas .....	164
Tabela A.C.2	Modelos de entropia .....	164
Tabela A.D.1	Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES – 2010 .....	165
Tabela A.D.2	Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES – 2011 .....	169
Tabela A.D.3	Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES – 2012 .....	172
Tabela A.D.4	Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES – 2013 .....	175
Tabela A.D.5	Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES – 2014.....	179
Tabela A.D.6	Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES – 2015 .....	182

## LISTA DE ABREVIATURAS

BACEN	BANCO CENTRAL DO BRASIL
BADESUL SUL	BANCO DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
BANDES	BANCO DE DESENVOLVIMENTO DO ESPÍRITO SANTO
BCC	BANCHER, CHARNES AND COOPER
BNB	BANCO DO NORDESTE
BDMG	BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS
BNDES	BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL
BID	BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO
BIRD	BANCO MUNDIAL
BOVESPA	BOLSA DE VALORES DO ESTADO DE SÃO PAULO
CADE	CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA
CAPEX	CAPITAL EXPENDITURE
CAPM	CAPITAL ASSETS PRICING MODEL
CBIC	CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
CCR	CHARNES, COOPER AND RHODES
CDB	CHINA DEVELOPMENT BANK
CRS	CONSTANT RETURN OF SCALE
CSN	COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL
CST	COMPANHIA SIDERÚRGICA TUBARÃO
DBJ	DEVELOPMENTR BANK OF JAPAN
DEA	DATA ENVELOPMENT ANALYSIS
DEAC	BIAS CORRECTED DEA
DMU	DECISION MAKING UNIT
DP	DESVIO PADRÃO
EBITDA	EQUITIY BEFORE INTEREST, TAXES, DEPRETIATION AND AMORTIZATION
ERM	ENHANCED RUSSELL MODEL
FAT	FUNDO DE AMPARO AO TRABALHADOR
FDH	FREE DISPOSAL HULL
FDHC	BIAS CORRECTED FDH

FINAME	FINANCIAMENTO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	
FMI	FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL	
FTC	FEDERAL TRADE COMMISSION	
GAM	MODELO ADITIVO GENERALIZADO	
GAMLSS TIPO	MODELO ADITIVO GENERALIZADO PARA LOCALIZAÇÃO, ESCALA E	
GLM	MODELO LINEAR GENERALIZADO	
GMM	GENERALIZED MIXED MODELS	
GMSS-DEA	GENERAL MULTI STAGE STRUCTURE DEA	
HHI	ÍNDICE DE HERFINDAHL-HIRSCHMAN	
HMM	HIDDEN MARKOV MODEL	
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA	
IDBI	INDUSTRIAL DEVELOPMENT BANK OF INDIA	
IDH	ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO	
IED	INVESTIMENTO EXTERNO DIRETO	
IPCA	ÍNDICE DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO	
IV	INSTRUMENTAL VARIABLES	
KDB	KOREA DEVELOPMENT BANK	
KFW	KREDITANSTALT FUR WIEDERAUFBAU	
KL	KULLBACK-LEIBLER	
MCMC-GAUSSIAN LINEAR MODELO	CADEIA DE MARKOV-MONTE CARLO	
LINEAR GAUSSIANO		
MCMC-GLMM	MODELO MISTO CADEIA DE MARKOV-MONTE CARLO E	
LINEAR GENERALIZADO		
MENA	MIDDLE EAST AND NORTH AFRICA	
MLP	MULTI LAYER PERCEPTROM	
MOLP	MULTI OBJECTIVE LINEAR PROGRAM MPI	MALMQUIST
PRODUCTIVITY INDEX		
MPLI	MALMQUIST-LUENBERGER PRODUCTITIVY INDEX	
NDEA	NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS	
OCDE	ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO	
ECONÔMICO		
OLS	MÍNIMOS QUADRADOS ORDINÁRIOS	
OPEX	OPERATIONAL EXPENDITURE	

PBM	PLANO BRASIL MAIOR
PCA	PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
PDP	POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO
PIL	PROGRAMA DE INVESTIMENTOS EM LOGÍSTICA
PITCE	POLÍTICA INDUSTRIAL, TECNOLÓGICA E DE COMÉRCIO EXTERIOR
PPP	PURCHASE POWER PARITY
PT	PARTIDO DOS TRABALHADORES
RFB	RECEITA FEDERAL DO BRASIL
RLP	RESULTADO LÍQUIDO POSITIVO
ROA	RETURN ON ASSETS
ROE	RETURN ON EQUITY
SEM	SPATIAL ERROR MODEL
SFA	STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS
SLM	SPATIAL LAGGED MODEL
TFP	TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY
TGR	TECHNOLOGY GAP RATIO
TIR	TAXA INTERNA DE RETORNO
TJLP	TAXA DE JUROS DE LONGO PRAZO
TKU	TONELADAS POR QUILOMETRO ÚTIL
UC	UTILIZAÇÃO DE CAPACIDADE
VAR	VECTOR AUTOREGRESSION
VEC	VECTOR OF EOR CORRECTION
VRS	VARIABLE RETURN OF SCALE
WACC	WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	PARÂMETRO DECISÓRIO
$\delta$	TAXA DE DEPRECIÇÃO
$\varphi$	FUNÇÃO CUSTO
$\psi$	IMPORTAÇÕES
$\Omega$	UNIDADE ADICIONAL DE FORMAÇÃO DE CAPITAL POR FIRMAS RECEPTORAS DE CRÉDITO DO BNDES
$\beta$	COEFICIENTE CONTEXTUAL
$\theta$	SCORE DE EFICIÊNCIA
$\lambda$	COEFICIENTE DO PROBLEMA DUAL

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	22
1.1.1	<b>Experiência brasileira com bancos de desenvolvimento</b> .....	<b>23</b>
1.2	REFERÊNCIAS .....	28
<b>2</b>	<b>1° ARTIGO: “IMPACTO DO BNDES NA EFICIÊNCIA DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: APLICAÇÃO DO MODELO MALMQUIST DE DOIS ESTÁGIOS</b> .....	<b>30</b>
2.1	INTRODUÇÃO.....	31
2.2	CONTEXTO.....	33
2.2.1	<b>Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social</b> .....	<b>33</b>
2.2.2	<b>Setor siderúrgico</b> .....	<b>34</b>
2.3	REVISÃO DE LITERATURA.....	35
2.3.1	<b>Bancos de desenvolvimento</b> .....	<b>35</b>
2.3.2	<b>SETOR SIDERÚRGICO</b> .....	<b>37</b>
2.3.3	<b>ANÁLISE DE EFICIÊNCIA</b> .....	<b>37</b>
2.4	METODOLOGIA .....	43
2.4.1	<b>Índices de Malmquist</b> .....	<b>43</b>
2.4.2	<b>Abordagem de regressão robusta estocástica não linear</b> .....	<b>45</b>
2.5	ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	46
2.5.1	<b>Dados</b> .....	<b>46</b>
2.5.2	<b>Resultados</b> .....	<b>47</b>
2.6	CONCLUSÕES.....	54
2.7	REFERÊNCIAS .....	55
<b>3</b>	<b>2° ARTIGO: “AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA INTERSETORIAL DE FINANCIAMENTOS DE BANCO DE DESENVOLVIMENTO: UM JOGO HIERÁRQUICO COM ABORDAGEM MALMQUIST DE DOIS ESTÁGIOS”</b> .....	<b>60</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	61
3.2	POLÍTICAS PÚBLICAS IMPLEMENTADAS PELO BNDES .....	63
3.3	REVISÃO DE LITERATURA.....	66
3.4	MODELO TEÓRICO .....	70
3.5	DADOS E METODOLOGIA DO MODELO DEA .....	74
3.5.1	<b>Índices de Malmquist</b> .....	<b>79</b>

3.5.2	<b>Regressão estocástica não linear robusta</b> .....	<b>80</b>
3.6	RESULTADOS .....	82
3.7	CONCLUSÕES.....	91
3.8	REFERÊNCIAS .....	93
<b>4</b>	<b>3° ARTIGO: “REVELANDO ENDOGENEIDADES ENTRE BEM-ESTAR SOCIAL E PRODUTIVIDADE DO TRABALHO: UMA ABORDAGEM DE CADEIA DE REDES NEURAIS DE DOIS ESTÁGIOS”</b> .....	<b>102</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	104
4.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	106
4.3	CONTEXTO.....	114
4.4	MODELO TEÓRICO.....	115
4.5	DADOS E METODOLOGIA EMPÍRICA.....	118
4.5.1	<b>Modelo Network-DEA</b> .....	<b>119</b>
4.5.2	<b>Endogeneidade – abordagem do algoritmo de multicamadas (MLP) e modelo oculto de Markov (HMM)</b> .....	<b>124</b>
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	126
4.7	CONCLUSÕES.....	133
4.8	REFERÊNCIAS .....	135
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>143</b>
5.1	O FINANCIAMENTO PÚBLICO DO BNDES E O RESPECTIVO IMPACTO SOBRE A EFICIÊNCIA PRODUTIVA.....	143
5.2	IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS .....	144
5.2.1	<b>Algoritmo de decisão para operações indiretas de financiamento do BNDES</b> .....	<b>145</b>
5.4	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISA FUTURA .....	150
5.5	REFERÊNCIAS .....	153
5.6	ARTIGOS RESULTANTES.....	154
	<b>APÊNCICE A</b> .....	<b>155</b>
	<b>APÊNCICE B</b> .....	<b>159</b>
	<b>APÊNCICE C</b> .....	<b>163</b>
	<b>APÊNCICE D</b> .....	<b>165</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O debate sobre o papel e os impactos da intervenção do Estado na economia tem sido tão complexo e duradouro quanto o histórico dessas intervenções. Da complexidade relativa ao problema de se conciliar eficiência, bem-estar e equidade, observa-se que as distintas posições, seja com viés favorável ou crítico, podem ser localizadas em dois enfoques, miscíveis no processo de pesquisa: (i) normativo e (ii) descritivo.

O enfoque normativo, usualmente focalizado na política econômica, trata a intervenção do Estado enquanto elemento determinante para o nível de eficiência, bem-estar e equidade da sociedade. Particularmente quanto à eficiência, o debate entre advogados e críticos da intervenção estatal, por meio de regulação econômica e políticas públicas, pode ser resumido em torno de uma percepção antagônica quanto à natureza da interação entre o setor público e o setor privado, resumida na contraposição complementariedade X substituição. Para os primeiros, em razão de falhas de mercado (STIGLITZ, 2000; POSNER, 1974) e incerteza radical (DAVIDSON, 1999), as políticas públicas seriam complementares na medida em que sejam os únicos ofertantes de determinados produtos/serviços demandados pelo sistema econômico. Para os segundos, as políticas públicas seriam substitutas ineficientes do setor privado, na medida em que impliquem incentivos a alocações de recursos que não estariam orientadas pelo equilíbrio de maximização de utilidades e minimização de custos, não conformando resultados Pareto eficientes, impactando negativamente o bem-estar e provocando desperdício de recursos econômicos (STIGLER, 1971; HICKS, 1937).

Por sua vez, o enfoque descritivo evita o debate sobre a adequação de mais ou menos intervenção estatal, restringindo-se a constatação de sua existência enquanto ator político e econômico. Partindo dessa constatação/premissa, busca identificar os fatores determinantes da existência e do grau das políticas públicas. Segundo esse enfoque, o setor público é percebido como único provedor de um bem demandado pelos agentes do mercado, que utilizam seus recursos disponíveis de forma a adquirir esse bem (STIGLER, 1971). Tal bem tanto pode ser identificado como o poder coercitivo

do Estado, quanto o complemento necessário para equilibrar a taxa interna de retorno do investimento privado.

Dado esse contexto de debate teórico, nos últimos anos, observa-se um processo de evolução e experimentação de políticas industriais, face ao esgotamento histórico que sucessivamente têm sofrido. No caso brasileiro, houve um período de política industrial ativa, que buscava a transformação da matriz produtiva nacional, e respectivas vantagens comparativas da economia brasileira, em um processo acelerado de industrialização. Esse processo esgotou-se nos anos 80 do século passado, frente às restrições de financiamento do investimento e da balança de pagamentos, deflagrando um processo de deterioração das contas públicas e do sistema de preços (CARNEIRO, 1991).

Nos anos 90 daquele século, em um momento de recuperação da liquidez e do crescimento internacional, implementou-se um novo processo de política econômica, fundamentado nas vantagens comparativas existentes, implicando uma posição menos ativa da política industrial, que seria alicerçada sobre a privatização, liberalização comercial, concorrência e inserção nas cadeias produtivas internacionais (IEDI, 2000).

Neste século, em resposta às instabilidades nas contas públicas e na oferta de serviços de infraestrutura, exemplificadas pelo evento do “apagão” no setor elétrico, bem como pela crise financeira internacional deflagrada em 2008, a política pública voltou a adotar uma postura mais ativa. Essa postura seria coerente com as diretrizes do Partido dos Trabalhadores – PT, localizado a esquerda do espectro político, historicamente identificado com pautas de intervenção econômica com foco no desenvolvimento produtivo e social. Entre o período 2003 e 2016, a administração pública federal foi governada por esse partido político, sucessivamente pelos presidentes Lula da Silva e Dilma Roussef.

A queda da competitividade de diversos segmentos da indústria brasileira frente a novos atores globais, como os países asiáticos, destacando-se China e Índia (DELGADO, 2015), foi agravada por um contexto de excesso de capacidade produtiva e oferta de produtos em diversos setores, em que se

observaram estratégias agressivas de desova de estoques no mercado internacional.

Nesse contexto, a nova política industrial brasileira buscava incrementar a competitividade da indústria nacional por meio de diversas ações, podendo ser identificados dois grupos principais. Solução dos gargalos logísticos históricos, por meio do Programa de Investimentos em Logística, e um conjunto de apoio creditício, desonerações tributárias e defesa comercial para o estímulo ao investimento privado na indústria, por meio do Plano Brasil Maior - PBM. Nesses dois grupos de ações, destaca-se a magnitude dos investimentos demandados, cabendo ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, um papel central na provisão de financiamento adequado a viabilidade econômico-financeira dos diversos projetos de investimento.

Atualmente, a sociedade brasileira está imersa em um contexto de retração econômica, deterioração acelerada das contas públicas e instabilidade política. Tal contexto tem sido interpretado como sinal do esgotamento ou, em termos mais extremos, fracasso, da estratégia de políticas públicas implementadas como resposta à crise internacional de 2008.

Como resposta, impõem-se questões quanto ao reequilíbrio fiscal, reativação da dinâmica de investimentos da economia brasileira, sustentabilidade das políticas sociais, da previdência, perda de competitividade internacional da economia brasileira, com intensa desindustrialização e necessidade de incremento da produtividade global da economia.

Considerando-se o custo de capital na economia brasileira, bem como a restrição orçamentária do setor público, a efetividade e a eficiência das políticas de incentivo ao investimento produtivo assumem importância central para a sustentabilidade dos programas e planos, em particular, e da economia brasileira, em última instância.

Os conceitos de eficácia, eficiência e efetividade assumem papel relevante na avaliação de desempenho de ações e atividades do setor público (SANO, MONTENEGRO FILHO, 2013). O conceito de eficácia está vinculado ao grau de cumprimento de metas propostas para determinada política pública, tendo por foco o alcance dos objetivos previamente determinados (TORRES, 2004; CHIAVENATO, 1994). Por sua vez, eficiência diz respeito ao processo de

execução das políticas públicas, referindo-se ao grau de utilização de insumos ou instrumentos disponíveis para a obtenção dos produtos para os quais foram estipuladas as metas, cujo foco está na racionalização da utilização de recursos (TORRES, 2004; CHIAVENATO, 1994). Finalmente, efetividade relaciona-se com o impacto decorrente dos resultados de implementação da política pública, tendo por objeto de interesse transformações no público-alvo da política pública (SANO, MONTENEGRO FILHO, 2013).

Em razão de carências estruturais históricas da economia brasileira, o debate referente ao ativismo do Estado, em particular por meio de políticas industriais, tem estado presente nas últimas décadas, seja na academia, seja na sociedade e no próprio setor público. Se, por um lado, os gargalos e deficiências crônicas que representam obstáculos a dinâmica econômica e ao desenvolvimento social justificariam a provisão de políticas públicas voltadas a sua superação, de outro, a escassez de recursos econômicos e o impacto sobre as decisões de investimento dos agentes, bem como da valorização de seus ativos, representam limites e restrições a essa intervenção, impondo preocupações quanto à qualidade do gasto público.

Dado um cenário externo caracterizado por crise econômica internacional e emergência de novo padrão produtivo fundamentado em tecnologia de informação – a indústria 4.0, somado a um cenário interno de depressão econômica e deterioração da capacidade de financiamento do setor público, essa questão de qualidade do gasto público assume maior relevância temática. A qualidade do gasto pode ser aferida em termos da eficiência da utilização de recursos econômicos, por meio de melhor governança e alocação de responsabilidades entre os agentes econômicos, mitigando ou prevenindo a substituição entre o gasto público e privado. Complementarmente, essa qualidade pode ser aferida em termos da efetividade da política pública, em sua capacidade de solução dos gargalos estruturais identificados, impactando na alavancagem dos investimentos privados e geração de maior valor agregado. Na política pública industrial equivaleria a financiamentos que resultassem em um maior volume de inovações, com elevação nas taxas de crescimento do PIB, bem como em incremento da produtividade sistêmica, resultando em redução de custos e utilização de recursos ociosos. No caso da economia brasileira, no

entanto, seja a política industrial, em termos gerais, ou o financiamento público via banco de desenvolvimento, em particular, não se observa significativa análise quantitativa da qualidade do gasto público, com foco na efetividade e eficácia desses instrumentos de política pública, indicando uma lacuna teórica com implicações práticas sobre a gestão de políticas públicas pelo setor público, bem como seu acompanhamento pela sociedade.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Pode-se identificar os primórdios de intervenção do setor público no sentido de políticas industriais a partir da segunda metade do século XIX em países de capitalismo tardio, Alemanha unificada e Japão da era Meiji (NELSON, 1993) como forma de reduzir a lacuna em relação às nações capitalistas pioneiras, Reino Unido e França. Com o final da segunda guerra mundial e as implicações de reconstrução e internacionalização da nova ordem econômica mundial, fundamentada no dólar e mecanismos multilaterais como o Fundo Monetário Internacional – FMI e o Banco Mundial – BIRD, observa-se a emergência de uma era de intervencionismo público com foco na promoção do desenvolvimento e convergência de economias capitalistas, por meio de políticas industriais. Para a execução dessas políticas, papel significativo foi concedido ao financiamento público, viabilizado por novas instituições, os bancos de desenvolvimento. Adicionalmente aos bancos multilaterais, como o BIRD e o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, atuação significativa foi implementada em nações de capitalismo tardio, por meio de bancos nacionais de desenvolvimento, como o alemão Kreditanstalt für Wiederaufbau – KfW, o japonês Development Bank of Japan – DBJ, o sul-coreano Korea Development Bank – KDB. Esses bancos contribuíram para processos acelerados de reconstrução e *catching up* tecnológico, principalmente no setor industrial, possibilitando modernização produtiva e constituição de grandes conglomerados industriais, por exemplo, nos setores metalmeccânico, veículos, eletrônicos e informática. Atualmente, esses bancos têm por prioridade a recuperação financeira de empresas, em decorrência da crise de 2008, bem como a promoção de energia limpa e eficiência energética (KfW, 2019), inovação

tecnológica e modernização produtiva compatível com a indústria 4.0 (DBJ, 2020) e constituição de cadeias internacionais de valor gerenciadas pelos grandes conglomerados nacionais (KDB, 2018).

Nas últimas décadas, no cenário mundial, destaca-se a emergência das economias indiana e chinesa, observando-se ativismo do setor público na promoção da industrialização acelerada dessas economias, por meio dos bancos de desenvolvimento Industrial Development Bank of India – IDBI e China Development Bank - CDB. Pode-se identificar um caminho similar de evolução da atuação desses bancos públicos, passando da industrialização, adensamento da malha produtiva industrial, promoção de exportações para a incorporação e geração de tecnologia, constituição de grandes conglomerados multinacionais gestores de cadeias globais de valor até a incorporação de temas ambientais por meio da busca por energia renovável e eficiência energética, especificamente, no caso chinês (CDB, 2019).

### **1.1.1 Experiência brasileira com bancos de desenvolvimento**

A partir da segunda metade do século XX, seguindo o padrão internacional, a economia brasileira entrou em um processo de políticas públicas de promoção do desenvolvimento, segundo um modelo de substituição de importações, em que o financiamento público de longo prazo constituiu papel relevante. Nesse contexto, foram criados o BNDES e uma série de bancos de desenvolvimento regional, como o Banco do Nordeste – BNB, o Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais – BDMG, o Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo – BANDES e o Banco de Desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Sul – BADESUL. Dentre esses, o BNDES tem sido o principal agente financiador do setor produtivo, adaptando suas atividades as diretrizes de política industrial vigente em cada período.

Tendo por fonte de recursos aportes do Tesouro Nacional e do Fundo do Amparo ao Trabalhador – FAT, projetos de modernização, ampliação e criação de capacidade produtiva, bem como consolidação de empresas e operações no exterior tem sido objeto de financiamento. Parte significativa dos projetos, que contempla aquisição de bens de capital como automação, máquinas e

equipamentos na indústria brasileira, têm sido contemplados por meio da linha especial Financiamento de Máquinas e Equipamentos – FINAME.

Nos últimos anos, o volume de financiamentos do BNDES apresentou um crescimento significativo, seguindo diretrizes de incremento na provisão de serviços de infraestrutura, modernização tecnológica e aumento do fluxo de comércio exterior, contemplando cadeias produtivas metalmeccânica, química e farmacologia, material de transporte, petróleo e gás, conforme definidas pelo PBM. Entre 2002 e 2019, os setores indústria de transformação (material de transporte, química e petroquímica, alimento e bebidas) e serviços de infraestrutura (energia elétrica, transporte rodoviário) concentraram a maior parte dos financiamentos aprovados e concedidos. Nesse período, em média, cerca de 82% das consultas de financiamento foram aprovadas, destacando-se: transporte rodoviário (93%), indústria mecânica (90%), têxtil e vestuário (89%). Os menores percentuais correspondem a indústria extrativa (49%), outros transportes (68%) e atividades auxiliares do transporte (69%) – (BNDES, 2020).

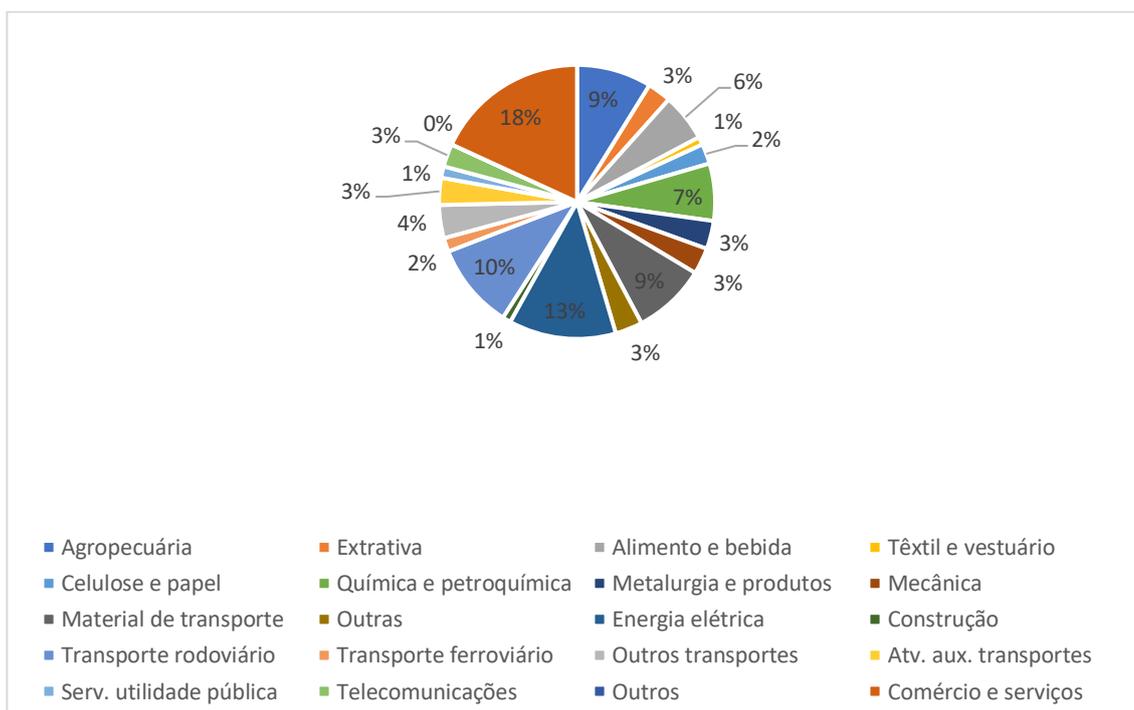


Figura 1.1: Distribuição setorial de financiamentos aprovados pelo BNDES- 2002-2019

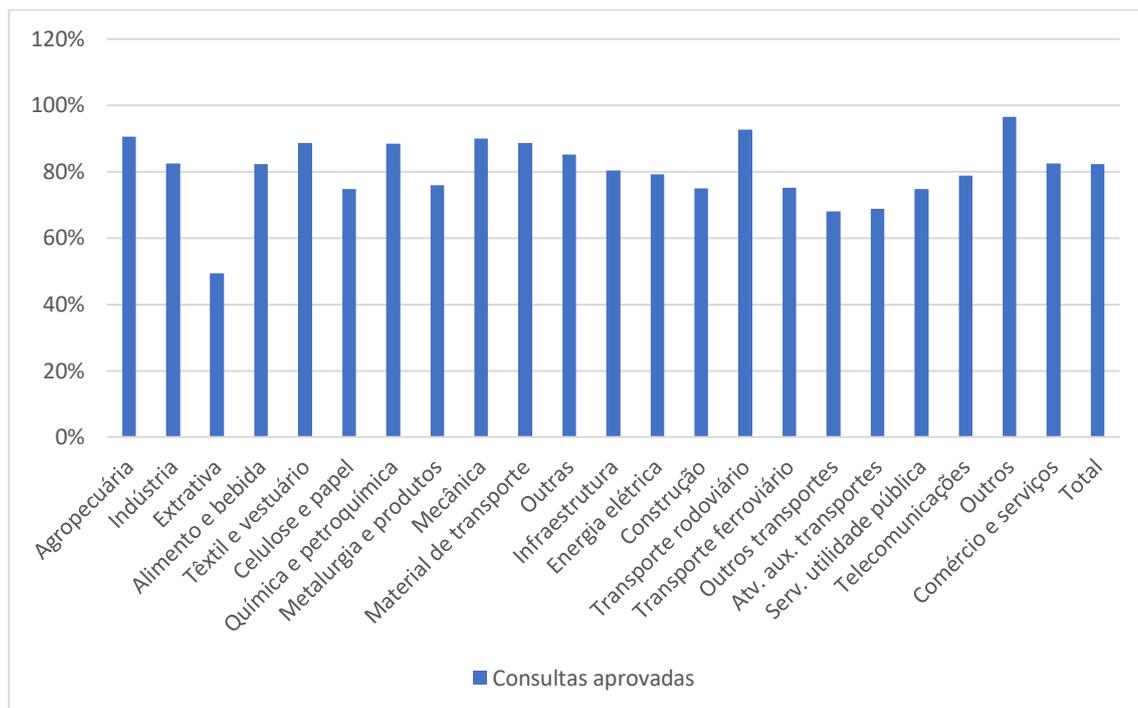


Figura 1.2: Distribuição setorial de aprovação de financiamentos pelo BNDES – 2002-2019

Os processos de concessão de financiamentos compreendem operações diretas e indiretas, automáticas e não-automáticas. A presente pesquisa concentra-se nas operações não-automáticas, que correspondem ao maior volume de financiamentos concedidos pelo BNDES. Essas operações contemplam desembolsos a partir de 10 milhões de reais, atendendo grandes projetos produtivos.

Nas operações não-automáticas, o processo de seleção e aprovação dos projetos pressupõe a análise de uma série de informações econômico-financeiras, legais e jurídicas, prestadas pelo interessado por meio de questionários previamente disponibilizados pelo BNDES. O conjunto de informações apresenta detalhamento do projeto em itens financiáveis, cronograma de desembolso, expectativa de rentabilidade, mercados contemplados, partes relacionadas, eventuais garantias de crédito, bem como ausência de restrições legais a contratação com o setor público. Com base nessas informações, possibilita-se o enquadramento da proposta bem como avaliação de risco de crédito do proponente.

O tema desta pesquisa é a relação entre eficiência produtiva e política industrial. No presente cenário de reestruturação produtiva global, com a emergência da indústria 4.0 e crise fiscal da econômica brasileira, esse tema é estudado com foco no problema de avaliação da qualidade do gasto público em suas dimensões de eficiência e efetividade. Seguindo essa orientação, a pesquisa tem por objetivo responder as seguintes questões: qual a eficiência produtiva de cada setor da economia brasileira? Quais os fatores determinantes para essa eficiência produtiva? Qual o impacto da política industrial implementada pelo BNDES sobre a eficiência de firmas e setores receptores de financiamentos?

Para tanto, três artigos científicos independentes foram desenvolvidos utilizando diferentes bases de dados e metodologias de análise que, em seu conjunto, possibilitam aos leitores extrair elementos que respondam essas questões de pesquisa.

O primeiro artigo, intitulado “*Impacto do BNDES na Eficiência da Indústria Siderúrgica: Aplicação do Modelo Malmquist de Dois Estágios*”, utiliza o modelo Malmquist de análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA) de dois estágios para avaliar como o financiamento concedido pelo BNDES impacta o desempenho da indústria siderúrgica. Para tanto, são conduzidas a decomposição do índice de Malmquist e a regressão não linear robusta para testar o impacto das variáveis contextuais consideradas. A hipótese da pesquisa de impacto positivo sobre a indústria siderúrgica não é suportada pelos resultados do modelo, indicando um coeficiente negativo sobre o efeito *catching up* – de aproximação da fronteira eficiente.

O segundo artigo, “*Avaliação de Eficiência Intersetorial de Financiamentos de Banco de Desenvolvimento: um Jogo Hierárquico com Abordagem Malmquist de dois estágios*”, apresenta uma abordagem diferente para o exame da efetividade da política industrial implementada pelo BNDES, tendo por foco o impacto de financiamentos concedidos sobre a eficiência da estrutura produtiva brasileira, desagregada em setores econômicos segundo classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Foi desenvolvido um modelo hierárquico dinâmico entre o BNDES e as firmas demandantes de investimento como função do crédito subsidiado, da estrutura

competitiva e do nível de abertura econômica do setor produtivo. Adicionalmente, estimou-se um modelo DEA de dois estágios, multisetorial, que fornece a base para avaliação da efetividade dessa política industrial de financiamento produtivo. Para o período sob análise, a política industrial brasileira estabeleceu como função objetivo um conjunto de variáveis agregadas como o Produto Interno Bruto – PIB, nível de emprego e saldo comercial. Os resultados indicam que os principais setores receptores de financiamento não foram efetivos na geração desse conjunto de variáveis. Complementarmente, a importância do grau de abertura econômica e o nível de concorrência setorial seria um indicativo que o desenho de uma política industrial mais efetiva deveria incorporar esses fatores.

Por fim, o terceiro artigo, *“Revelando endogeneidades entre bem-estar social e produtividade do trabalho: uma abordagem de cadeia de redes neurais de dois estágios”*, estima eficiências do trabalho e suas covariâncias para os diversos setores produtivos da economia brasileira entre 2003 e 2016, utilizando um modelo de redes neurais em dois estágios. Em particular, investiga-se possível relação positiva entre variáveis sociais - capital humano, e a produtividade intersetorial. No primeiro estágio, uma regressão em cadeia de Markov fornece índices de eficiência física (volume) e de valor adicionado. No segundo estágio, aplica-se modelo de regressão dinâmica entre essas estimativas de eficiência e variáveis sociais contextuais para revelar endogeneidades advindas de covariâncias entre esse conjunto de variáveis. Foram encontradas covariâncias fortes apenas entre as eficiências e o índice de fertilidade, sugerindo a ocorrência de uma lacuna significativa entre o setor produtivo e a qualificação do trabalho, o que resultaria em tendência de baixos níveis de eficiência. A economia brasileira tem sido incapaz de alocar o estoque de trabalhadores qualificados de forma eficiente.

A principal contribuição da tese consiste na utilização de abordagem quantitativa DEA para responder as perguntas de pesquisa. Adicionalmente, por meio dessa abordagem, propor algoritmo de seleção de projetos com o sentido de contribuir para o aperfeiçoamento da política industrial executada pelo BNDES.

Em conjunto com a presente introdução, que contextualiza o problema, apresenta o tema sob análise, a lacuna de pesquisa e as questões orientadoras da tese, essa contempla adicionalmente as seguintes divisões: (i) capítulos 2 a 4 que desenvolvem a pesquisa, por meio de três artigos submetidos a periódicos científicos; (ii) conclusões, incluindo proposta de algoritmo de seleção de projetos financiáveis, limitações e indicativos de caminhos para pesquisa futura.

## 1.2 REFERÊNCIAS

**BNDES. Operações contratadas na forma direta e indireta não automática.** <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/>. Acesso em 10/06/2020.

**CARNEIRO, R. M. Crise, estagnação e hiperinflação (A economia brasileira dos anos 80).** Tese de doutorado, Campinas, 1991.

CDB Annual Report 2019. [http://www.cdb.com.cn/English/gykh\\_512/khjj/](http://www.cdb.com.cn/English/gykh_512/khjj/). Acesso em 02/12/2020.

**CHIAVENATO, Idalberto. Recursos humanos na Empresa: pessoas, organizações e sistemas.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 1994.

DAVIDSON, P. "Keynes' Principle of Effective Demand versus the Bedlam of the New Keynesians," **Journal of Post Keynesian Economics**, Taylor & Francis Journals, vol. 21(4), pages 571-588, July, 1999.

DBJ Integrated Report 2020. [https://www.dbj.jp/en/pdf/CSR\\_disclo/2020/01.pdf](https://www.dbj.jp/en/pdf/CSR_disclo/2020/01.pdf). Acesso em 02/12/2020.

**DELGADO, I. G. Política Industrial na China, na Índia e no Brasil: legados, dilemas de coordenação e perspectivas.** Texto para Discussão 2059, Brasília, IPEA. Março, 2015.

HICKS, J. Mr. Keynes and the "Classics"; A Suggested Interpretation. **Econometrica**, vol. 5, n° 2, pp. 147-149, April, 1937.

IDBI. <https://www.idbibank.in/idbi-bank-history.asp>. Acesso em 02/12/2020.

**IEDI. Indústria e Desenvolvimento. Uma Análise dos anos 90 e Uma Agenda de Política de Desenvolvimento Industrial Para a Nova Década. O**

**financiamento do desenvolvimento industrial.** Novembro, 2000. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/17382>. Acesso em 01/12/2020.

KDB Annual Report 2018. [https://www.kdbbank.eu/docs/kdb\\_bank\\_eves\\_jelentes\\_2018\\_A4\\_v2.pdf](https://www.kdbbank.eu/docs/kdb_bank_eves_jelentes_2018_A4_v2.pdf). Acesso em 028/12/2020

KfW Annual Report 2019. <https://www.kfw.de/KfW-Group/About-KfW/Reporting-Portal/Annual-Report/Inland/> Acesso em 02/12/2020

NELSON, R. R. **National Innovation Systems: A Comparative Analysis.** Oxford University Press, 1<sup>st</sup> ed., 1993.

POSNER, R. Theories of Economic Regulation. **The Bell Journal of Economics and Management Science**, Vol. 5, No. 2. (Autumn), pp. 335-358, 1974.

SANO, H.; MONTENEGRO FILHO, M. J. F. As técnicas de avaliação da eficiência, eficácia e efetividade na gestão pública e sua relevância para o desenvolvimento social e das ações públicas. **Desenvolvimento em Questão**, v. 11, n. 22, p. 35-61, 2013.

STIGLER, George J. The theory of economic regulation. **Bell Journal of Economic and Management Science**, New York, v. 2, n. 1, p. 1-21, Spring, 1971.

STIGLITZ, J. E. **Economics of the Public Sector.** 3<sup>rd</sup> edition, pp. 77-85. New York, W.W. Norton, 2000.

TORRES, M.D. F. **Estado, democracia e administração pública no Brasil.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2004.

**2 1º artigo: “IMPACTO DO BNDES NA EFICIÊNCIA DA INDÚSTRIA  
SIDERÚRGICA: APLICAÇÃO DO MODELO MALMQUIST DE DOIS  
ESTÁGIOS”**

## “IMPACTO DO BNDES NA EFICIÊNCIA DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: APLICAÇÃO DO MODELO MALMQUIST DE DOIS ESTÁGIOS”

Utilizando o modelo Malmquist de análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA) de dois estágios, este artigo busca avaliar como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) impacta o desempenho da indústria siderúrgica. Para tanto, são conduzidas a decomposição do índice de Malmquist e a regressão não linear robusta para testar o impacto das variáveis contextuais consideradas. A hipótese da pesquisa de impacto positivo sobre a indústria siderúrgica não é suportada pelos resultados do modelo, indicando um coeficiente negativo sobre o efeito *catching up*. Pode-se destacar poucos exemplos de pesquisa quantitativa sobre o tema, a maioria com foco teórico ou qualitativo. Este artigo contribui com o campo de pesquisa ao adotar uma metodologia estabelecida para a identificação e a mensuração do desempenho de eficiência das firmas. Entretanto, em razão de limitações da amostra selecionada e da metodologia aplicada, há necessidade de novas pesquisas, principalmente para avaliar os resultados sociais desse tipo de política pública.

**Palavras-chave:** BNDES; índice de Malmquist; eficiência; indústria siderúrgica.

### 2.1 INTRODUÇÃO

Este artigo estuda os possíveis impactos sobre a eficiência das firmas decorrentes de financiamento ofertado por bancos públicos de desenvolvimento econômico (bancos de desenvolvimento). Essa questão se insere em um âmbito mais amplo de relação público-privada, no qual o Estado atua por meio de regulamentação institucional ou de forma mais ativa, seja por gastos públicos, seja por oferta de financiamento público. Em economias em desenvolvimento, em particular por meio de bancos de desenvolvimento, esse tipo de atuação do Estado na promoção da industrialização e da infraestrutura produtiva tem por objetivo a modernização produtiva e o desenvolvimento econômico (LAZZARINI et al., 2015; AGHION, 1999). Até recentemente, parte significativa do crédito de longo prazo foi provido por esses bancos, destacando-se o Banco Nacional de

Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), como um dos maiores bancos em termos de número e volume de operações (TORRES; ZEIDAN, 2016).

Entretanto, a maior parte dos estudos quantitativos recentes tem-se concentrado na avaliação dos efeitos dos gastos públicos sobre o investimento privado (SONAGLIO; BRAGA; CAMPOS, 2010; MELO; RODRIGUES JÚNIOR, 1998; TADEU; SILVA, 2013; SHANMUGAN, 2017). Alternativamente, no que se refere aos bancos de desenvolvimento, observa-se uma lacuna de estudos quantitativos, concentrando-se a maior parte da pesquisa em bancos públicos em geral (LA PORTA; LÓPEZ-DE-SILANES; SHLEIFER, 2002; CARVALHO, 2014, YEYATI; MICCO; PANIZZA, 2007; ANDRIANOVA; DEMETRIADES; SHORTLAND, 2008), ou seguindo escopos teórico e qualitativo (BOND, 2013; BRUCK, 1998; GUTIERREZ et al., 2011; HOCHSTETLER; MONTERO, 2013; TORRES; ZEIDAN, 2016).

Um dos poucos estudos quantitativos sobre bancos de desenvolvimento enfoca o impacto no nível de investimentos (LAZZARINI et al., 2015). No entanto, ainda persiste uma lacuna de pesquisa no que se refere ao impacto da atuação de bancos de desenvolvimento na eficiência das firmas receptoras de financiamento.

A partir de abordagens paramétricas e não paramétricas, uma extensa pesquisa sobre eficiência setorial tem sido conduzida ao longo dos últimos anos. Destacam-se os setores bancário (FUKUYAMA; MATOUSEK, 2017; AZAD et al., 2016; BAHRINI, 2015; BARROS; WANKE, 2014; LEE; KIM, 2013; REZVANIAN; RAO; MEHDIAN, 2008), de seguros (WANKE; BARROS, 2016; BARROS; DUMBO; WANKE, 2014), infraestrutura (MARCHETTI; WANKE, 2017; ESTACHE; DE LA FÉ; TRUJILLO, 2004; SARKIS, 2000) e industrial (LI; LIN, 2015; HE et al., 2013; MA et al., 2002).

O objetivo deste artigo é complementar a linha de pesquisa sobre bancos públicos abordando o impacto sobre a eficiência das firmas, a partir de modelagem não paramétrica de análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA). Em particular, o modelo Malmquist de DEA, e posterior regressão não linear para testar os efeitos das variáveis contextuais sobre os índices de eficiência de Malmquist para empresas do setor siderúrgico. Justifica-se o estudo desse setor de atividade econômica em função de sua relevância tanto para o crescimento econômico quanto para o incremento da

industrialização, a partir de efeitos indutores (*spillover*) (HUH, 2011). Adicionalmente, no Brasil, o setor siderúrgico constitui um dos principais destinatários de financiamento do BNDES no período considerado. Além desta introdução, o artigo se organiza assim: a seção 2 apresenta o contexto de atuação do BNDES e do setor siderúrgico; a seção 3 apresenta a revisão de literatura, cobrindo os estudos sobre bancos públicos de desenvolvimento, bem como a literatura recente aplicando modelagem de eficiência, com destaque para os modelos Malmquist; a seção 4 apresenta os dados e a metodologia aplicada; a seção 5 analisa e discute os resultados, destacando a significância das variáveis contextuais. Por fim, as conclusões apontam implicações das políticas públicas, limitações do estudo e possibilidades para futuras pesquisas.

## 2.2 CONTEXTO

### 2.2.1 Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

O BNDES é um dos maiores bancos de desenvolvimento do mundo e assumiu papel significativo na oferta de crédito de longo prazo no Brasil nos últimos anos (TORRES; ZEIDAN, 2016). De acordo com Colby (2012), os três principais eixos de atuação do banco podem ser identificados como: a) complemento à oferta de crédito; b) reestruturação econômica; e c) políticas anticíclicas. Enquanto a primeira e a terceira teriam uma natureza horizontal, a segunda seria de natureza vertical, visando à estruturação produtiva por meio da reorientação ou criação de novas vantagens competitivas.

Desde a crise financeira global de 2008, elevou-se a magnitude de sua participação na economia brasileira em três vertentes: a) financiamento de investimento produtivo; b) concessão de garantias; e c) consolidações setoriais por meio de processos de fusão e aquisições de empresas. Adicionalmente, o banco assumiu papel-chave na viabilização dos principais projetos de infraestrutura no setor de petróleo e gás, energia e logística. Conseqüentemente, esse conjunto de projetos intensivos em capital passou a ter um peso crescente no portfólio de ativos do banco. A esse crescimento da atuação do banco correspondeu um incremento do aporte de recursos por parte do Tesouro

Nacional e de fundos específicos, como o Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT).

Atualmente, o banco se encontra em uma situação de mudança de paradigma, em razão da conjugação temporal de três fatores: a) retração da economia brasileira; b) processo de *impeachment*; e c) trajetória ascendente de déficit público. Tal situação reflete em redução da atividade produtiva e consequente demanda por financiamento ao investimento produtivo, bem como nova rodada de alienação de ativos e concessão de serviços públicos de infraestrutura, que demandam diferentes instrumentos de atuação institucional por parte do BNDES.

Em paralelo, inicia-se debate sobre o tamanho do Estado brasileiro e, conseqüentemente, sobre o padrão de atuação recente do BNDES. Alguns dos principais temas que surgem nesse debate se referem à seleção de projetos – estratégia dos “campeões nacionais”, devolução de recursos ao Tesouro Nacional e redimensionamento da taxa de juros de longo prazo (TJLP).

### **2.2.2 Setor siderúrgico**

Ao longo do século XX, o padrão de produção industrial em massa se estruturou em torno de indústrias intensivas em capital e escala voltadas à produção de bens de consumo duráveis e bens de capital. Dentre as indústrias intermediárias fornecedoras de insumos, destacou-se a indústria siderúrgica, relacionada à construção civil por meio da produção de produtos longos (cabos, vergalhões) e ao complexo metalmeccânico, por meio dos produtos planos (placas, bobinas). O desenvolvimento econômico era interpretado como a incorporação crescente dessas indústrias na matriz produtiva, daí a relevância do setor siderúrgico para a formação de matrizes produtivas mais complexas e dinâmicas. (HUH, 2011).

Foram observadas ondas de desenvolvimento e industrialização forçada por parte de diferentes grupos de países em desenvolvimento, com a aplicação de políticas industriais voltadas à constituição de parques siderúrgicos integrados às suas respectivas economias. Em ordem cronológica, destacam-se o Japão; posteriormente, a Coreia do Sul; e, nas últimas décadas, a China e a Índia, principalmente (LEE; KI, 2017; HUH, 2011; DEBNATH; SEBASTIAN,

2014; WU, 2000). Especificamente quanto às empresas sul-coreanas e chinesas, observam-se especificidades locais que têm sido interpretadas como relevantes para seu desempenho produtivo e econômico. Enquanto a primeira apresenta integração econômica com a cadeia metalmeccânica voltada à exportação, destacando-se a indústria automobilística, de eletrodomésticos e naval (HUH, 2011), a segunda estaria vinculada ao crescimento da demanda doméstica, articulando tanto a indústria metalmeccânica como a construção civil e o incremento da oferta de serviços de infraestrutura (WU, 2000; SUN; DONG; ZHAO, 2017).

No Brasil, a incorporação da indústria siderúrgica esteve diretamente vinculada à política industrial, por meio da constituição de um conjunto de estatais. A partir dos anos 1990 ocorreram processos simultâneos de abertura econômica, desregulamentação de mercados e privatização, resultando na formação de três grandes grupos econômicos privados: Companhia Siderúrgica Nacional (CSN); Usiminas; e Gerdau (MONTERO, 1998). Posteriormente, a multinacional Arcelor Mittal entrou no mercado, por meio de aquisição e consolidação de capacidade produtiva de antigas estatais (Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST) e empresas privadas (Mendes Júnior). O setor siderúrgico brasileiro também apresenta especificidades relevantes para seu desempenho, como a integração produtiva com o principal insumo, minério de ferro, bem como com a infraestrutura logística para a distribuição de produtos de aço para o mercado doméstico e de minério de ferro para o exterior.

## 2.3 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.3.1 Bancos de desenvolvimento

O debate sobre a interação do Estado e do mercado implica argumentos que contrapõem complementariedade – correção de falhas de mercado e concorrência pelos recursos econômicos (HICKS, 1937). Pesquisas quantitativas sobre o efeito do gasto público no setor privado, realizadas, principalmente, em economias em desenvolvimento, obtêm resultados diferenciados, dependendo da amostra de países e do espaço temporal considerado. Há um conjunto de pesquisas indicativas de *crowding out* do gasto

público sobre o gasto privado (SONAGLIO; BRAGA; CAMPOS, 2010; MELO; RODRIGUES JÚNIOR, 1998) e outro indicando *crowding in*, especificamente em relação ao setor de infraestrutura (TADEU; SILVA, 2013; SHANMUGAN, 2017).

Quanto aos bancos de desenvolvimento, observa-se evolução tanto em sua forma de atuação quanto na linha de pesquisa. Após um período inicial de política pública ativa voltada à industrialização, caracterizada por financiamento de longo prazo, passou-se por uma fase de financiamento a privatização de infraestrutura, bem como atuação anticíclica diante da crise financeira internacional, adotando novas formas de intervenção, como participação acionária minoritária e oferta de garantias (TORRES; ZEIDAN, 2016; HOCHSTETLER; MONTERO, 2013). Por sua vez, a pesquisa recente sobre o papel dos bancos de desenvolvimento considera uma série de riscos e custos como um efeito que distorce as decisões de investimento, bem como *crowding out* sobre o setor bancário privado, resultando em impacto negativo sobre o crescimento econômico, esperando-se estímulo a um comportamento *rent-seeking* por parte do mercado (LAZZARINI et al., 2015). No que se refere à pesquisa quantitativa (LAZZARINI et al., 2015), entretanto, não se encontrou significância do BNDES sobre o investimento privado, nem do comportamento *rent-seeking* dos agentes econômicos, no que se refere ao financiamento eleitoral.

A despeito dos riscos e custos relacionados aos bancos de desenvolvimento, sua presença em muitos países indica uma função de provisão de crédito de longo prazo que seria relevante para viabilizar projetos de valor social, na medida em que mitiga o efeito de falhas de mercado e externalidades (YEYATI; MICCO; PANIZZA, 2007) e soluciona problemas relacionados à insuficiência de demanda efetiva em função de incerteza radical (FERRAZ; ALÉM; MADERA, 2013). De acordo com a abordagem pós-keynesiana, a presença de incerteza radical seria relevante para a formação das decisões de investimento do agente privado, correspondendo a um impacto negativo sobre o nível de demanda efetiva. Nesse sentido, por meio da oferta de *funding* de longo prazo, os bancos de desenvolvimento desempenhariam papel fundamental para a viabilização e sustentação do nível de investimentos, principalmente em atividades mais sujeitas ao impacto negativo da incerteza, correspondentes a elevados dispêndios de capital, longos prazos de maturação do investimento e

significativos impactos sociais, como externalidades advindas de inovações. Dos papéis atribuídos a esses bancos de correção de falhas de mercado, sustentação do nível de investimentos e promoção do desenvolvimento, interpreta-se este último como sendo o uso mais eficiente dos recursos econômicos. Nesse sentido, extrai-se a hipótese a ser testada neste artigo:

- H1: Crédito do BNDES promove a eficiência da firma receptora.

### **2.3.2 Setor siderúrgico**

A pesquisa recente sobre o setor siderúrgico indica uso intensivo de energia e capital (DEBNATH; SEBASTIAN, 2014; NIELSEN, 2017), bem como correlação com a dinâmica de crescimento do produto interno bruto (PIB) e a competitividade industrial por meio da constituição de cadeias produtivas integradas (HUH, 2011). Essa dinâmica impactaria positivamente o setor siderúrgico, por meio de estímulo ao investimento e viabilidade de maiores escalas de produção. Nesse sentido, economias de escala teriam papel relevante no desempenho e na eficiência do setor siderúrgico (DEBNATH; SEBASTIAN, 2014; NIELSEN, 2017; HUH, 2011; WU, 2000; KIM et al., 2006). Entretanto, essa dinâmica de crescimento induziria um mecanismo assimétrico de aumento de capacidade, resultando em alocações ineficientes de recursos no longo prazo (SUN; DONG; ZHAO, 2017).

Adicionalmente, o investimento teria um impacto positivo sobre a eficiência, na medida em que representa modernização produtiva, por meio de incorporação de equipamentos e plantas mais novos (KIM et al., 2006). Especificamente, tal efeito de modernização estaria inserido em contextos de janelas de oportunidade, que explicariam o *catching up*, por exemplo, das empresas japonesas e sul-coreanas (LEE; KI, 2017).

### **2.3.3 Análise de eficiência**

Desde o estabelecimento da metodologia DEA (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), tem-se observado um crescimento significativo na pesquisa relativa à eficiência das firmas em diversos setores de atividade econômica. Parte significativa dos artigos tem por foco os setores de infraestrutura e serviços

financeiros, sujeitos a regulamentação por parte do Estado e, portanto, potencialmente indicativa de direção para políticas públicas. Adicionalmente, no que se refere aos setores industriais, observa-se tendência de pesquisa com foco em questões ambientais ou eficiência energética (LI; LIN, 2015; HE et al., 2013). Especificamente quanto ao setor siderúrgico, a pesquisa tem-se concentrado em indicadores financeiros, consumo de energia e emissão de poluentes (DEBNATH; SEBASTIAN, 2014; NIELSEN, 2017; KIM et al., 2006). A Tabela 2.1 apresenta a revisão de literatura sobre análise de eficiência.

Tradicionalmente, a pesquisa tem-se concentrado na estimação das fronteiras de eficiência e na identificação do posicionamento das firmas em relação à fronteira (BARROS; DUMBO; WANKE, 2014; LI; LIN, 2015; HE et al., 2013; ESTACHE; DE LA FÉ; TRUJILLO, 2004; MA et al., 2002; SARKIS, 2000). Em geral, utilizam o modelo de índice de produtividade de Malmquist (Malmquist productivity index – MPI) para avaliação do desempenho interfirmas, destacando-os dos efeitos dinâmicos de deslocamento da fronteira de eficiência.

Mais recentemente, em especial no setor bancário, tem-se utilizado a metodologia DEA de estimação de eficiência em dois estágios, associada a métodos econométricos como modelos lineares generalizados, dados em painel e regressão *bootstrapping* truncada. Assim, identificam-se relações entre os índices de eficiência e variáveis contextuais explicativas (MARCHETTI; WANKE, 2017; AZAD et al., 2016; BAHRINI, 2015; LEE; KIM, 2013). Essa maior complexidade da pesquisa possibilita implicações para a formulação de políticas públicas e para processos de tomada de decisão.

De modo específico, Bahrini (2015) e Lee e Kim (2013), respectivamente, aplicaram modelos MPI de dois estágios, para identificar as variáveis contextuais explicativas do desempenho dos bancos islâmicos e coreanos. Enquanto o desempenho do sistema islâmico está relacionado a variáveis bancárias (capitalização, tamanho, rentabilidade, risco de crédito), o desempenho do setor bancário coreano estaria mais relacionado ao tipo de propriedade do banco – internacional ou público.

Em função da crescente aplicação dos modelos de estimação de eficiência de dois estágios, em particular no setor bancário, no qual constam variáveis contábeis, a escolha metodológica desta pesquisa utiliza esse tipo de procedimento de modo a preencher a lacuna de estudos quantitativos quanto ao

impacto do financiamento de bancos de desenvolvimento no desempenho das firmas.

Tabela 2.1:  
Revisão de literatura – análise de eficiência

Autor e ano	Proposta de pesquisa	de DMU	Método	País	Insumos	Produtos	Variáveis de contexto
Sarkis (2000)	Avaliação de eficiência operacional de aeroportos	220	DEA	EUA	OPEX, emprego, portões, partidas	Receitas operacionais, movimento de aeronaves, aviação geral, passageiros, frete	-
Ma, Evans, Fuller et al. (2002)	Eficiência operacional do setor siderúrgico	711	MPI	China	Emprego, capital fixo, energia, idade, capital de giro	produção	-
Estache, De La Fé e Trujillo (2004)	Decomposição das fontes de ganho de eficiência no setor portuário	44	MPI	México	Área das docas, emprego	Volume de mercadorias transacionadas	-
Kim, Lee, Kim et al. (2006)	Fontes de eficiência produtiva	22	SFA	Diversos países	Emprego, capacidade produtiva, matéria-prima	Produção de aço bruto	Propriedade (privada ou pública), idade da planta, escala
Rezvanian, Rao e Mehdian (2008)	Avaliação do efeito da propriedade sobre a eficiência do setor bancário	540	MPI	Índia	Fundos emprestados, emprego, ativos fixos	Empréstimos, securities, outras receitas	-

Feng He et al (2013)	Eficiência energética e variação de produtividade no setor siderúrgico	400	MPI e MPLI	China	Ativos líquidos, emprego, energia	fixos	Valor adicionado, resíduos gasosos, resíduos líquidos, resíduos sólidos	-
Lee et Kim (2013)	Determinantes do desempenho bancário. Comparação com ROE e ROA.	136	MPI. Análise de dados em painel - efeitos fixos	Coreia do Sul. Estendido para China e Japão	Despesas de juros, despesas operacionais, provisão para perdas	de despesas de tarifas,	Receita de juros, receita de tarifas	Ativos, ativos <sup>2</sup> , risco, crescimento do PIB e <i>dummy</i> (público, estrangeiro, fusão)
Barros e Wanke (2014)	Análise da eficiência bancária	-	Fronteira bayesiana dinâmica	Brasil	-	-	Preço do trabalho, preço do capital, preço dos depósitos, total de empréstimos, total de <i>securities</i> , variáveis <i>dummy</i> (público, estrangeiro, fusão, grande, desregulamentação, <i>stressed banks</i> )	
Barros , Dumbo e Wanke (2014)	Análise de eficiência de seguradoras	70	Análise de componentes principais, <i>Bootstrapping</i> DEA e redes neurais	Angola	OPEX, emprego, salários, capital		Seguros pagos, lucros pagos, prêmios pagos, resseguros cedidos	-
Debnath e Sebastian (2014)	Eficiência no setor siderúrgico	22	Modelo BCC	Índia	Emprego, fixos, correntes energia	ativos ativos e	Renda, resultados antes e após impostos, vendas	-

Bahrini (2015)	Análise do fator total de produtividade (TFP) no setor bancário islâmico	198	<i>Bootstrapping ped</i> MPI	Países MENA (Oriente Médio e Norte da África)	do Emprego, ativos fixos, depósitos	Empréstimos totais, investimento de portfólio, receitas não operacionais	Bancárias, macroeconômicas, <i>dummies</i> temporais e <i>dummy</i> para a crise financeira global
Li e Lin (2015)	Método para medição do crescimento da produtividade verde	504	MLPI	China	Estoque de capital, emprego, energia	Produto industrial - bruto, emissão de CO2	
Azad, Musimamy, Masum et al. (2016)	Eficiência bancária	215	DEA dois estágios. Modelo Simar de regressão dupla <i>bootstrapping</i>	Malásia	Despesa com juros, salários, OPEX, depósitos	Renda com juros, renda líquida, depósitos, empréstimos	Bancárias, macroeconômicas, propriedade e natureza do banco
Da Silva, Martins-Filho e Ribeiro (2016)	Eficiência bancária	1840	DEA, DEAC, FDH, FDHC, modelo quântico condicionado ordem m e $\alpha$	Brasil	Emprego, capital fixo, outros ativos de capital, recursos de terceiros	Linhas de crédito líquidas, investimentos financeiros, outras linhas de crédito	<i>Dummies</i> (propriedade - público, privado, estrangeiro; tamanho - grande, médio, pequeno, micro)
Marchetti e Wanke (2017)	Eficiência do setor ferroviário	60	DEA. Regressão <i>bootstrapping</i> truncada.	Brasil	Vagões, emprego	volume transportado (TKU)	<i>Dummies</i> ( <i>commodities</i> minerais, <i>commodities</i> agrícolas, conexão, tipo de regulação)
Nielsen (2017)	Eficiência energética do setor siderúrgico	21	DEA CRS e VRS	Economias de mercado e planificadas	Energia e matéria-prima (carvão, ferro e sucata)	Produção de aço bruto e ferro-gusa	

---

DEA = data envelopment analysis; DEAC = bias corrected DEA, FDH = free disposal hull; FDHC = bias corrected FDH; MPI = Malmquist productivity index; MPLI = Malmquist-Luenberger productivity index.

## 2.4 METODOLOGIA

Esta pesquisa aplica um modelo de dois estágios para estimar a função de eficiência. O método de índice de crescimento de produtividade de Malmquist orientado a produto será utilizado para a obtenção dos índices de produtividade (Índice de Malmquist), bem como das parcelas correspondentes ao efeito de aproximação da fronteira (Mudança Técnica) e de deslocamento da fronteira (Mudança da Fronteira). Em seguida, aplica-se uma abordagem de regressão robusta não linear para testar o impacto das variáveis contextuais sobre os índices de Malmquist. Todas as estimativas foram realizadas no R, utilizando os seguintes pacotes: `citation("nonparaeff")` (índices de Malmquist); `citation("mgcv")`, `citation("gamlss")`, `citation("MCMCpack")`, `citation("MCMCglmm")` e `citation("DEoptim")` (regressão robusta).

### 2.4.1 Índices de Malmquist

O índice de produtividade de Malmquist pode ser decomposto em dois componentes relativos ao ganho de eficiência interfirmas (efeito *catching up*) e deslocamento da curva de eficiência (variação tecnológica) entre o período  $t$  e  $t+1$  (FÄRE et al., 1994), conforme a equação (1):

$$\text{PRODch} = \text{EFFch} \times \text{TECHch} \quad (1)$$

com,

$$\text{PRODch} = \left( \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{EFFch} = D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_0^t(x^t, y^t) \quad (3)$$

$$\text{TECHch} = \left( \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (4)$$

sendo,

$D_0$  – função maximizadora de distância relativa (FARE, GROSSKOPF, NORRIS et al., 1994).

$x$  – insumo;

$y$  – produto.

Os índices de Malquist são calculados para a função maximizadora de produto que vincula o conjunto de insumos  $x_i$  (custos totais, despesas operacionais – OPEX, salários, ativos totais e dispêndios de capital – CAPEX) ao conjunto de produtos  $y_i$  (receita total, lucro bruto e dividendos pagos).

Esses índices são alocados à seguinte função, sobre a qual se aplica a regressão robusta

$$Y_{jz} = \beta_0 + \beta_1 \sum X_i + \beta_2 BNDES + \beta_3 Brasil + \beta_4 China + \beta_5 Coreia + \beta_i \sum Z_i + \varepsilon_j \quad (5)$$

sendo,

$j$  – DMU

$z$  – PRODch, EFFch, TECHch

$X_i$  – variáveis contextuais contábeis-financeiras específicas às firmas (preço do trabalho, preço do capital, razão EBITDA/ativos, razão CAPEX/ativos, alavancagem)

$Z_i$  – variáveis contextuais socioeconômicas (crescimento do PIB, PIB por paridade de poder de compra – PIB PPP, inflação, Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, Índice de Gini, Investimento Externo Direto – IED, uso de energia, expectativa de vida, mortalidade infantil, inovação global e desempenho logístico)

BNDES – variável *dummy* (financiamento concedido pelo banco no ano  $t$ )

Brasil – variável *dummy* para empresa brasileira

China – variável *dummy* para empresa chinesa

Coreia – variável *dummy* para empresa sul-coreana

Enquanto a *dummy* BNDES representa a hipótese a testar pelo modelo, as *dummies* para Brasil, China e Coreia foram aplicadas em razão das especificidades mencionadas na seção Contexto. Nos anos em que foram aprovados financiamentos, a *dummy* BNDES equivale a 1 para a empresa financiada. As *dummies* Brasil China e Coreia equivalem a 1 para empresas brasileiras (CSN, GERDAU, Usiminas), chinesas (Baosteel) e coreanas (POSCO). Às empresas não financiadas ou de outra nacionalidade, foram atribuídos o valor 0 para essas *dummies*. Por sua vez, as variáveis contextuais

socioeconômicas estariam relacionadas a maiores desenvolvimento e competitividade econômicas, como mencionado na seção Contexto quanto à relevância do nível de atividade econômica.

#### 2.4.2 Abordagem de regressão robusta estocástica não linear

Nessa abordagem, os seguintes métodos de regressão foram combinados para a aplicação de técnica de *bootstrapping* e programação estocástica não linear: mínimos quadrados ordinários (OLS), modelo linear generalizado (GLM), modelo aditivo generalizado (GAM), GAMLSS (modelo aditivo generalizado para localização, escala e tipo)(GAMLSS), modelo misto cadeia de Markov-Monte Carlo e linear generalizado (MCMC-GLMM) e modelo cadeia de Markov-Monte Carlo linear gaussiano (MCMC-Gaussian Linear) - Faraway (2006). Essa combinação se justifica porque a maioria das abordagens de regressão geram resultados enviesados na análise DEA em dois estágios. Isso pode ser mitigado pela técnica de *bootstrapping* (SIMAR; WILSON, 2007, 2011) e pela combinação de previsões para retornar uma menor variância dos erros (JAMES et al., 2013; LEDOLTER, 2013).

O problema de otimização estocástica não linear para a combinação das regressões após a aplicação do *bootstrapping* está apresentado no modelo (6), onde  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  and  $w_6$  representam os pesos entre 0 e 1 atribuídos aos vetores dos resíduos das regressões. Esse modelo otimiza os valores de  $w$ , tal que a variância ( $Var$ ) dos resíduos combinados ( $R_i$ ) seja mínima. Sobre todas as regressões se aplicou *bootstrapping* e foram recombinaadas 100 vezes, permitindo uma distribuição do perfil de  $w$  a ser coletado para a melhor previsão dos escores de eficiência e do modelo de divisão dos pesos. As variâncias residuais foram coletadas assumindo o modelo linear para cada uma dessas regressões vinculando as estimativas de eficiência/divisão de pesos e variáveis contextuais.

$$\min Var(w_1R1 + w_2R2 + w_3R3 + w_4R4 + w_5R5 + w_5R6)$$

S.T.

$$\sum_{i=1}^6 w_i = 1$$

$$\begin{aligned}
0 &\leq w_1 \leq 1 \\
0 &\leq w_2 \leq 1 \\
0 &\leq w_3 \leq 1 \\
0 &\leq w_4 \leq 1 \\
0 &\leq w_5 \leq 1 \\
0 &\leq w_6 \leq 1
\end{aligned}
\tag{6}$$

O modelo (6) foi resolvido por meio da técnica de evolução diferencial (DE) (THANGARAJ et al., 2010; MULLEN et al., 2011). Referências adicionais podem ser encontradas em ARDIA et al. (2011).

## 2.5 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 2.5.1 Dados

Nos últimos anos, projetos do setor siderúrgico constituíram alguns dos principais receptores de financiamento público (BNDES, 2020). Assim, as empresas desse setor foram selecionadas como objeto de análise desta pesquisa. Considerando o reduzido número de firmas brasileiras, optou-se por amostra que incluísse algumas das maiores concorrentes internacionais. A amostra selecionada de 34 empresas foi obtida a partir de amostra pré-selecionada pela Bloomberg<sup>1,2</sup>. Adicionalmente, em função da disponibilidade de dados referentes às variáveis consideradas, restringiu-se a análise ao período 2010-2015.

O conjunto de dados brutos foi trabalhado para possibilitar adequação ao modelo MPI, especificamente quanto à restrição a valores não nulos para insumos e produtos. Adicionalmente, a aplicação do modelo aos logaritmos naturais das variáveis exigiu tratamento para valores negativos e nulos. O procedimento adotado foi a transformação dos dados para escala 0-1, adicionando-se 2 a cada observação para posterior transformação logarítmica.

---

<sup>1</sup> Anyang, Arcelor, Azovstal, Baosteel, Beijing, China, CSN, Eregli, Gerdau, Guangri, Hesteel, Hunan, Hyundai, JFE, Kobe, Liuzhou, Maanshan, Magnito, Mechel, Nippon, Novolipetsk, Nucor, Pangang, Posco, SAAB, Severstal, Shandong, Steel Dynamics, Ternium, TSK, US Steel, Usiminas, Voestalpine e Xinyu.

<sup>2</sup> Dados coletados junto à Bloomberg, complementados com as informações prestadas nos Relatórios Anuais e Formulários Financeiros, disponibilizados nos *sites* das firmas.

## 2.5.2 Resultados

No que se refere ao encaixe das distribuições para os MPIs, a Figura 2.1 descreve os ajustes das regressões OLS, GLM, GAM, GAMLSS, MCMC-GLMM, e MCMC-Gaussian Linear por suas distribuições acumuladas inversas não condicionais. Contudo, não é possível afirmar, a princípio, se uma distribuição específica é preferida em detrimento da outra. Isso sugere que uma combinação dos resultados dessas regressões seria uma abordagem mais apropriada. De fato, os resultados para o teste de divergência de Kullback-Leibler (KL), apresentado na Tabela 2.2 – para distribuições condicionais de MPIs – indica que as diferenças entre os ajustes são mínimas para a maioria das distribuições presumidas, algumas vezes favorecendo uma distribuição – ou seja, um tipo específico de regressão – em detrimento de outro.

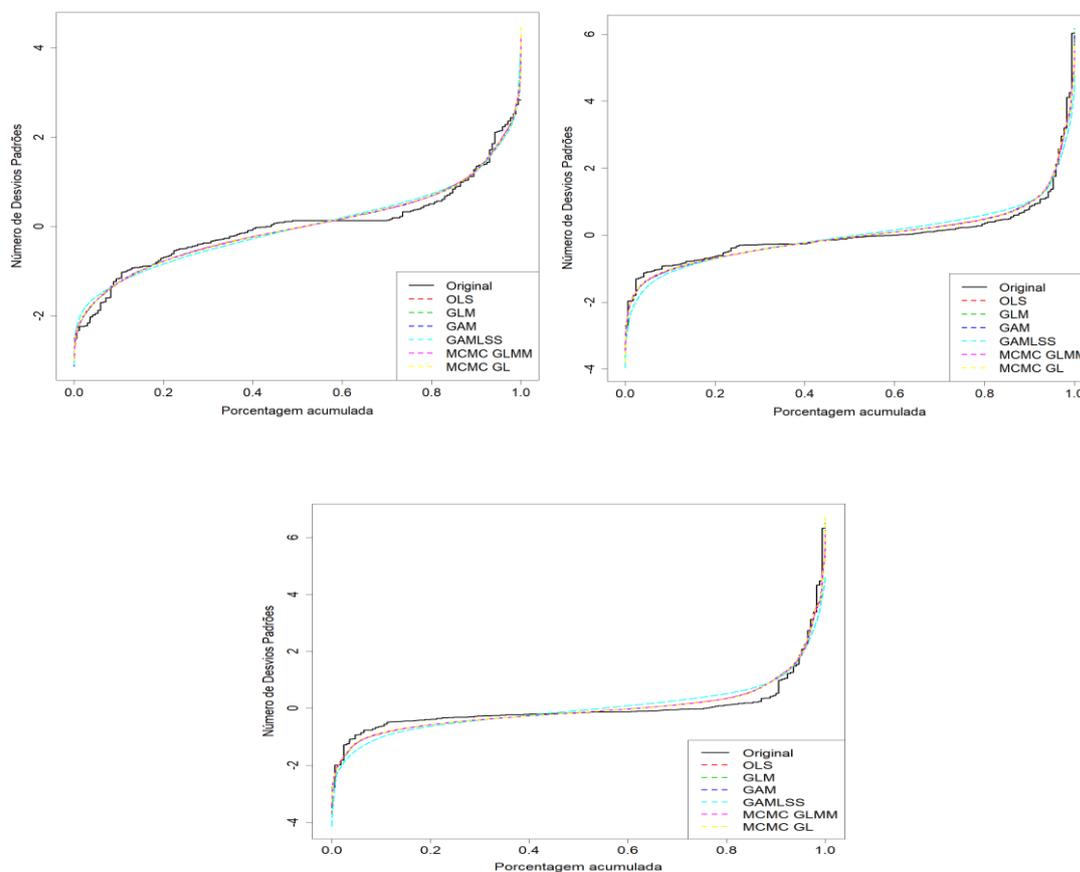


Figura 2.1: Divergência KL para Mudança Técnica (alto), Mudança da Fronteira (meio) e Índice de Malmquist (baixo)

Tabela 2.2:  
Resultados da Divergência KL

	OLS	GLM	GAM	GAMLSS	MCMC GLMM	MCMC GL
Mudança Técnica	0.1791	0.1675	0.1773	0.1863	0.1780	0.1696
Mudança da Fronteira	0.0472	0.0469	0.0471	0.1110	0.0449	0.0430
Índice de Malmquist	0.1325	0.1325	0.1301	0.2694	0.1321	0.1241

Os resultados para a otimização estocástica não linear sobre os resíduos das 100 regressões com *bootstrapping* segundo os métodos OLS, GLM, GAM, GAMLSS, MCMC-GLMM e MCMC-Gaussian Linear estão presentes na Figura 2.2 para os MPIs das diferentes siderúrgicas em torno do mundo. Os resultados sugerem – com exceção da regressão GAMLSS – quase a mesma dispersão entre os pesos designados para as outras 5 regressões. Adicionalmente, é interessante notar os melhores desempenhos dos modelos OLS e GAM para o deslocamento da fronteira e a mudança de produtividade. Esses resultados sugerem a importância da combinação de diferentes métodos, não apenas em termos de remoção de viés, mas também em termos de captura dos benefícios de misturar diferentes formatos de distribuição para a previsão de eficiência.

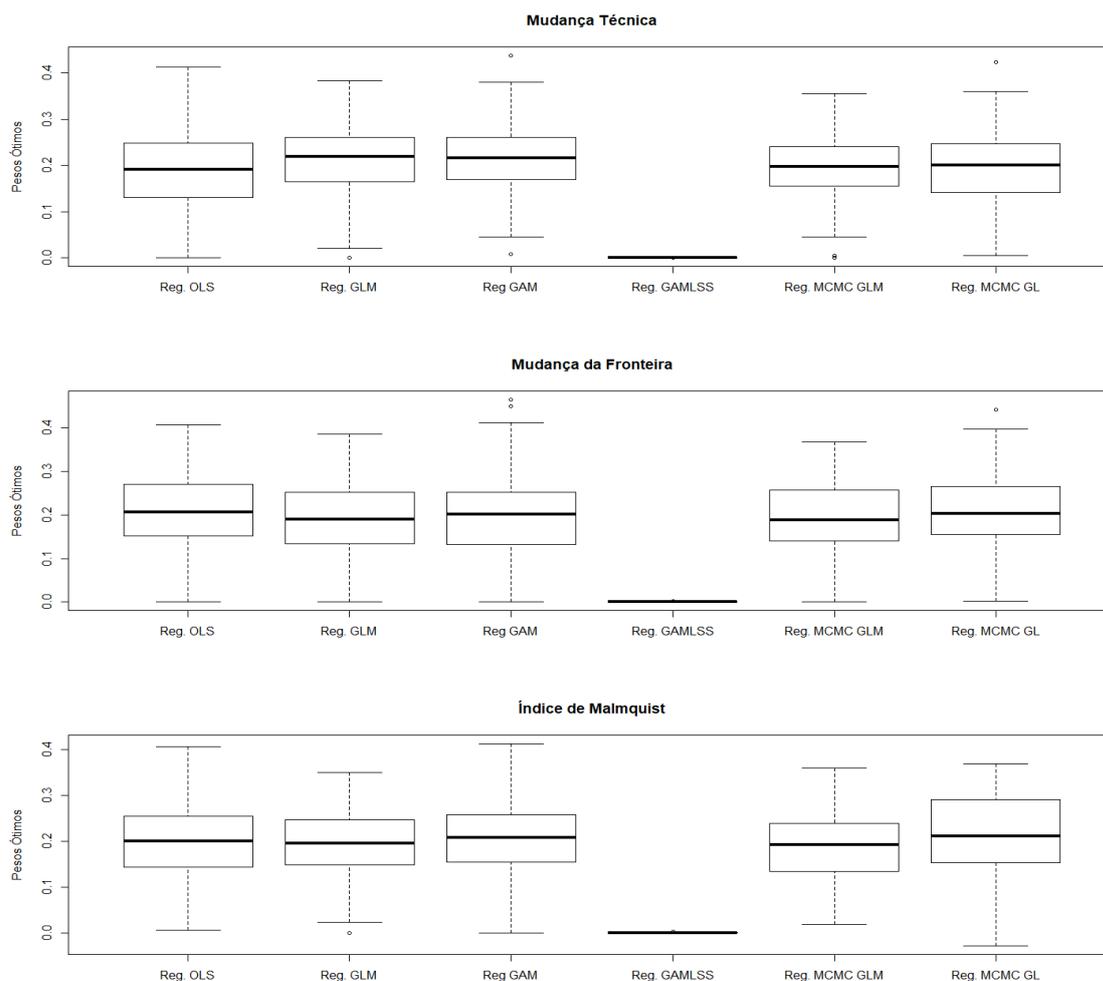


Figura 2.2: Distribuição ótima dos pesos

Os resultados da regressão combinada *bootstrapping* para os coeficientes das variáveis contextuais – usados para prever os MPIs – estão presentes na Figura 2.3. Os leitores devem notar que, se a distribuição dos coeficientes *bootstrapping* cruza a linha sólida que marca o zero em cada gráfico da Figura 3, a variável deve ser interpretada como não significativa. Esse é o caso para algumas variáveis contextuais analisadas no âmbito dos três modelos, implicando que a produtividade nas siderúrgicas é dirigida pela economia de diferentes fatores, tais como a mudança na produtividade total e os efeitos Mudança Técnica e Mudança da Fronteira. Os resultados quanto à significância (5%) e ao sentido do impacto sobre os índices são resumidos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3:  
Resultados dos coeficientes das variáveis contextuais

Variável	Mudança Técnica		Mudança da Fronteira		Índice de Malmquist	
	Sinal	Significativa	Sinal	Significativa	Sinal	Significativa
Preço do trabalho (LN)	-		+	*	+	*
Preço do capital (LN)	+		-	*	-	*
EBITDA/ativos	+	*	-	*	-	*
CAPEX/ativos	+	*	-		+	
Alavancagem	+		-	*	-	
Tendência	+	*	-	*	-	
Tendência^2	-	*	-		-	
BNDES	-	*	-		-	*
Brasil	-		+	*	+	*
China	+		+	*	+	*
Coreia	-		+	*	+	*
inflação (%)	-	*	+	*	+	*
Índice de Gini	+	*	+		+	
IDH	-		+		+	
Crescimento do PIB (%)	-	*	+	*	+	
PIB PPP (\$)	-		+	*	+	*
IED (\$)	-	*	-		-	*
Uso de energia (kg eq. óleo <i>per capita</i> )	+		-	*	-	
Mortalidade infantil (1.000 nascimentos)	+		-	*	-	*
Expectativa de vida (anos)	-		+	*	+	*
Índice de inovação global	+		+	*	+	*
Índice de desempenho logístico	+		-	*	-	*

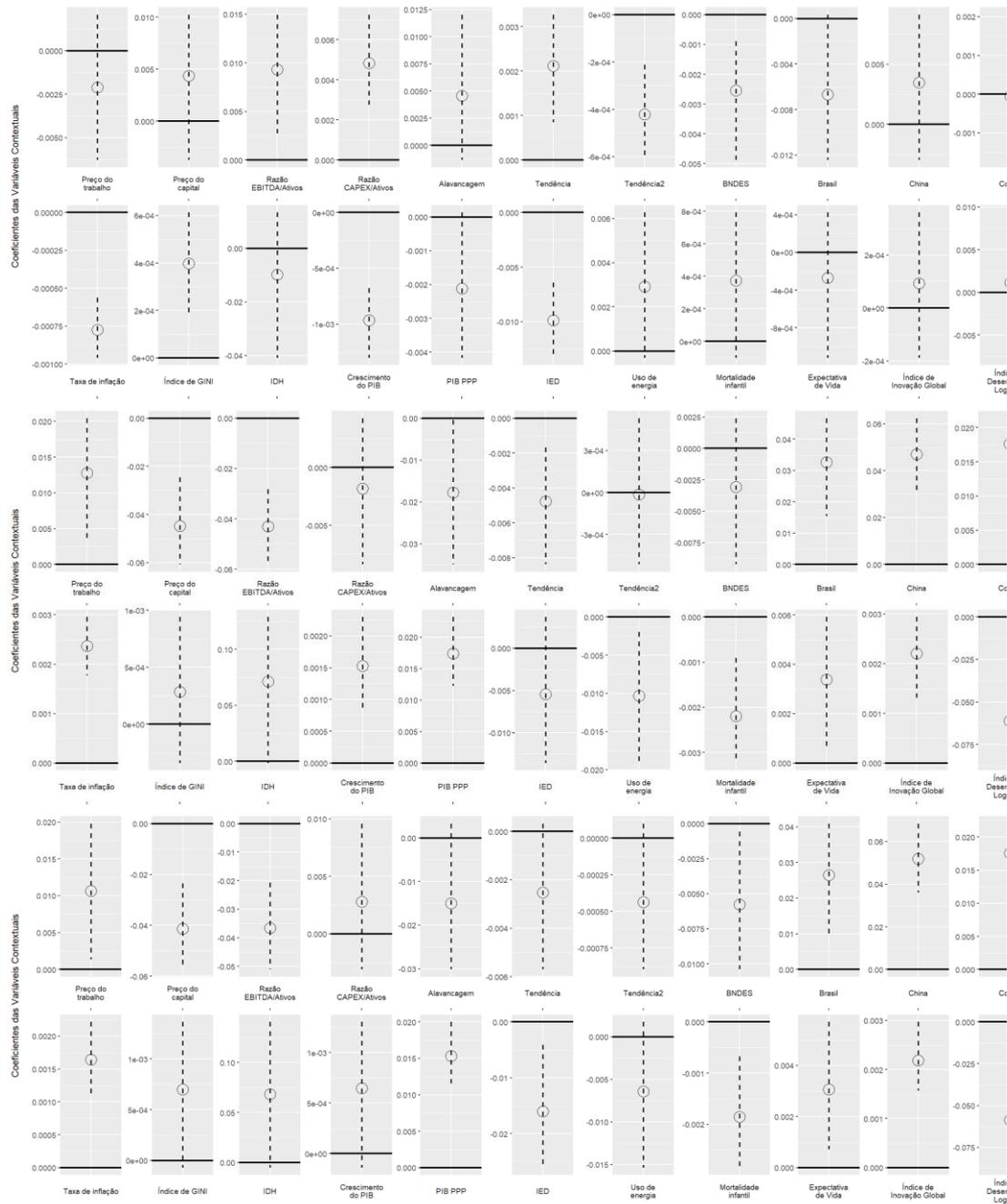


Figura 2.3: Resultados dos coeficientes para Mudança Técnica (alto), Mudança da Fronteira (meio) e Índice de Malmquist (baixo)

Observa-se maior relevância do efeito Mudança da Fronteira na definição do índice de Malmquist, na medida em que os respectivos coeficientes apresentam os mesmos sinais para a maior parte das variáveis contextuais. Adicionalmente, em relação à maioria das variáveis contextuais, a significância para o índice Malmquist advém da significância para a respectiva Mudança da Fronteira. Os dois efeitos se reforçariam em resposta às variáveis contextuais BNDES, China, Gini, IED e índice de inovação global.

Em relação ao efeito Mudança Técnica, apenas 9 variáveis contextuais foram consideradas significativas. O impacto positivo decorreria das razões EBITDA/ativos (geração de caixa) e CAPEX/ativos (investimento), a tendência de curto prazo e o índice de Gini. Segundo a revisão de literatura, os resultados corroboram a expectativa quanto ao impacto positivo, na medida em que, no curto prazo, um maior volume de investimento possibilitaria modernização produtiva e maiores escalas de produção, por um lado, enquanto o crescimento do índice de Gini, representando uma melhora na distribuição de renda, reforça o poder indutor representado pelo PIB – por meio da incorporação do consumo de aço *per capita*. Adicionalmente, no curto prazo, a maior geração de caixa pode representar maior eficiência operacional, provendo recursos que contribuiriam com o cronograma de investimentos.

Quanto às variáveis de impacto negativo, a tendência de longo prazo corroboraria a alocação ineficiente de recursos (SUN; DONG; ZHAO, 2017). O efeito inflacionário pode ser interpretado como simétrico do efeito do índice de Gini, de fato, esse efeito tem sido considerado negativo para a distribuição de renda. A princípio, o efeito negativo do crescimento do PIB e do investimento externo direto (IED) seria contrário às expectativas quanto ao papel indutor do PIB e do investimento. Entretanto, deve-se considerar que o primeiro, se por um lado teria um efeito indutor, por outro representa um incremento do nível de atividade que afetaria a economia como um todo, abrindo espaço para maior concorrência pela alocação de recursos e conseqüente pressão de custos, representada pelo impacto inflacionário. A interpretação do segundo seguiria essa mesma linha de concorrência para alocação de recursos em outras atividades produtivas. Adicionalmente, ao contrário da razão CAPEX/ativos, tal índice não se traduz totalmente em investimento em ampliação e modernização de capacidade, em geral, parcelas desse investimento têm sido destinadas à aquisição de ativos existentes e portfólio de investimentos (ações em bolsa de valores).

No que se refere à hipótese de pesquisa, entretanto, esta não pode ser corroborada pelos resultados, na medida em que o financiamento do BNDES apresenta impacto negativo sobre o efeito Mudança Técnica. Ressalte-se que a expectativa desse instrumento de política industrial seria justamente

promover o incremento da competitividade das empresas, reduzindo o hiato em relação à fronteira eficiente.

Por sua vez, para o efeito Mudança da Fronteira, 14 variáveis se apresentaram como significativas. O impacto positivo adviria do preço do trabalho, das *dummies* dos países, taxa de inflação, crescimento do PIB, PIB por paridade de poder de compra (PIB PPP), expectativa de vida e índice global de inovação. Isso corrobora as expectativas quanto às especificidades dos países e aos indicadores de desenvolvimento, com reflexos sobre a modernização e incorporação de tecnologia. Especificamente, o impacto positivo do preço do trabalho, em um setor intensivo em capital, pode representar um incentivo ao empenho de trabalhadores mais qualificados (WANKE et al., 2016). Adicionalmente, o crescimento e o nível de atividade econômica proporcionariam novas escalas produtivas, possibilitando o deslocamento da fronteira de eficiência.

O impacto negativo referente às variáveis preço do capital, geração de caixa, alavancagem, tendência, uso de energia, mortalidade infantil e índice de desempenho logístico corrobora algumas das expectativas abordadas na revisão de literatura. Considerando o caráter capital intensivo do setor siderúrgico, o sinal negativo do custo de capital corrobora a hipótese teórica de impacto negativo desse custo sobre a eficiência da firma, bem como o impacto negativo da alavancagem sobre os indicadores de fronteira tecnológica pode indicar que o custo financeiro do endividamento de parte das empresas da amostra estaria relacionado a pior desempenho na geração de resultados financeiros, impactando os produtos lucro e dividendos. Tratando-se de setor intensivo em energia, em que diversos estudos ressaltam a relevância da eficiência energética, o impacto negativo da intensidade do uso de energia estaria condizente com a representação de um ambiente de alto consumo de energia, concorrendo com o setor siderúrgico. O impacto negativo da mortalidade infantil é coerente com um maior desenvolvimento social. Por sua vez, o impacto negativo do índice de desempenho logístico parece estar representando a relação entre uso da logística e nível de atividade. Quanto maior este último, mantendo-se constante a infraestrutura disponível, haveria uma piora no índice. Nesse sentido, destacando-se o impacto positivo do nível de atividade sobre o efeito Mudança da Fronteira – representado pelos

coeficientes da taxa de inflação, crescimento do PIB e PIB PPP, o impacto negativo do índice de desempenho logístico seria consistente.

Quanta à variável contextual BNDES, esta não seria significativa para o deslocamento da fronteira. Tal resultado seria coerente com a expectativa desse instrumento de política pública, que seria voltado à redução do hiato tecnológico existente e não para o deslocamento da fronteira.

Especificamente, o impacto do BNDES também pode ser compreendido à luz do comportamento da *dummy* Brasil. Destacando-se que no período analisado, nem para todas as empresas brasileiras (CSN) nem em todos os anos houve desembolsos do BNDES para o setor siderúrgico. A relevância da *dummy* Brasil para a definição da fronteira de eficiência seria um indicativo de que, em seu conjunto, as empresas brasileiras têm contribuído mais para o deslocamento da fronteira de eficiência do que para o efeito Mudança Técnica. Assim, para o Brasil, o efeito Mudança da Fronteira seria mais significativo, indicando que os financiamentos do BNDES não seriam relativamente significativos para esse setor produtivo.

O modelo de regressão traz implícita a premissa de que os demais países não executam política industrial no período considerado. Como teste de robustez, relaxou-se essa premissa, fazendo-se a regressão das variáveis Coréia e China com a tendência, por meio da criação de *dummies* anuais, conforme disposto no Apêndice. Os resultados indicam que não se alterou o impacto do BNDES sobre a eficiência das empresas tomadoras de empréstimos, no período considerado.

## 2.6 CONCLUSÕES

A ampla utilização de modelos DEA de dois estágios para estimação de fronteiras de eficiência e identificação de variáveis contextuais que explicam o desempenho das firmas, em especial no que se refere aos diversos estudos sobre o setor bancário, mostra-se promissora para avaliação do impacto de bancos de desenvolvimento sobre o desempenho produtivo das indústrias. As implicações de políticas públicas podem indicar reorientação das operações de empréstimo desses bancos, implicando, por exemplo, na sistematização de

instrumentos institucionais que focalizem os recursos segundo objetivos pré-definidos.

Neste estudo, não se identificou impacto positivo dos empréstimos do BNDES na eficiência das firmas no período recente, especificamente quanto à redução do hiato de eficiência por meio de eventual efeito Mudança Técnica. Pelo contrário, observou-se impacto negativo dessa variável. Entretanto, este estudo tem limitações, por representar uma amostra setorial específica, o setor siderúrgico. Pesquisas complementares, com foco nos demais setores industriais receptores de financiamento por parte do BNDES, podem contribuir para a avaliação da hipótese proposta.

Adicionalmente, deve-se recordar que a atuação do BNDES, e dos demais bancos de desenvolvimento, teria impacto sobre outros objetivos sociais (YEYATI; MICCO; PANIZZA, 2007) que escapam ao escopo deste artigo. Para ampliar esse escopo, futuras pesquisas devem considerar os projetos financiados pelo BNDES e seus respectivos impactos sociais.

## 2.7 REFERÊNCIAS

AGHION, B. A. Development banking. **Journal of Development Economics**, v. 58, n. 1, p. 83-100, 1999.

ANDRIANOVA, S.; DEMETRIADES, P.; SHORTLAND, A. Government ownership of banks, institutions, and financial development. **Journal of Development Economics**, v. 85, n. 1, p. 218-252, 2008.

ARDIA, D.; BOUDT, K.; CARL, P.; MULLEN, K.; PETERSON, B. Differential Evolution with DEoptim: An Application to Non-Convex Portfolio Optimization. **The R Journal**, vol. 3, p. 27-34, 2011.

AZAD, A. K. et al. Bank efficiency in Malaysia: a use of malmquist meta-frontier analysis. **Eurasian Business Review**, v. 7, n. 2, p. 287-311, 2016.

BAHRINI, R. Productivity of MENA Islamic banks: a bootstrappingped Malmquist index approach. **International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management**, v. 8, n. 4, p. 508-528, 2015.

BARROS, C.; DUMBO, S.; WANKE, P. Efficiency determinants and capacity issues in Angolan insurance companies. **South African Journal of Economics**, v. 82, n. 3, p. 455-467, 2014.

BARROS, C.; WANKE, P. Banking efficiency in Brazil. **Journal of International Financial Markets, Institutions & Money**, n. 28, p. 54-65, 2014.

BNDES. **Operações contratadas na forma direta e indireta não automática**. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/>. Acesso em 10/06/2020.

BOND, P. The BRICS bank and shifts in multilateral finance: a view from South Africa. In: SOUTHGOVNET CONFERENCE PANEL: INSTITUTIONS OF SOUTH-SOUTH COOPERATION, 2013, Shanghai. [s.n.]. Shanghai: Fudan University Institute of International Relations, 2013.

BRUCK, N. The role of development banks in the twenty-first century. **Journal of Emerging Markets**, n. 3, p. 39-68, 1998.

CARVALHO, D. The real effects of government-owned banks: evidence from an emerging market. **Journal of Finance**, v. 69, n. 2, p. 577-609, 2014.

CHARNES, A.; COOPER, W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

COLBY, S. Explaining the BNDES: what it is, what it does and how it works. **CEBRI Artigos**, v. 8, n. 3, p. 3-31, 2012.

DA SILVA, T.; MARTINS-FILHO, C.; RIBEIRO, E. A comparison of nonparametric efficiency estimators: DEA, FDC, DEAC, FDCH, order-m and quantile. **Economic Bulletin**, v. 36, n. 1, p. 118-131, 2016.

DEBNATH, R. M.; SEBASTIAN, V. J. Efficiency in the Indian iron and steel industry: an application of data envelopment analysis. **Journal of Advances in Management Research**, v. 11, n. 1, p. 4-19, 2014.

ESTACHE, A.; DE LA FÉ, B.; TRUJILLO, L. Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of Malmquist TFP index for Mexico. **Utilities Policy**, n. 12, p. 221-230, 2004.

FARE, R. et al. Productivity growth, technical progress and efficiency changes in industrial countries. **American Economic Review**, n. 84, p. 66-83, 1994.

FARAWAY, J. **Extending the linear model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models**. Taylor and Francis, 2006.

FERRAZ, J. C.; ALÉM, A. C.; MADEIRA, R. F. A contribuição dos bancos de desenvolvimento para o financiamento de longo prazo. **Revista do BNDES**, n. 40, p. 5-42, 2013.

FUKUYAMA, H.; MATOUSEK, R. Modelling bank performance: a network DEA approach. **European Journal of Operational Research**, n. 259, p. 721-732, 2017.

GUTIERREZ, E. et al. **Development banks: role and mechanisms to increase their efficiency**. Washington, DC: World Bank, 2011. (World Bank Policy Research Working Paper Series n. 5729).

HE, F. et al. Energy efficiency and productivity change of China's iron and steel industry: accounting for undesirable outputs. **Energy Policy**, n. 54, p. 204-213, 2013.

HICKS, J. Mr. Keynes and the "Classics"; a suggested interpretation. **Econometrica**, v. 5, n. 2, p. 147-149, 1937.

HOCHSTETLER, K.; MONTERO, A. P. The renewed developmental state: the National Development Bank and the Brazil Model. **Journal of Development Studies**, v. 49, n. 11, 1484-1499, 2013.

HUH, K. Steel consumption and economic growth in Korea: long-term and short-term evidence. **Resources Policy**, n. 36, p. 107-113, 2011.

JAMES, G., WITTEN, D., HASTIE, T., & TIBSHIRANI, R. **An introduction to statistical learning: with application in R**. Springer, 2013.

KIM, J. W. et al. Sources of productive efficiency: international comparison of iron and steel firms. **Resources Policy**, n. 31, p. 239-246, 2006.

LA PORTA, R.; LÓPEZ-DE-SILANES, F.; SHLEIFER, A. Government ownership of banks. **Journal of Finance**, v. 57, n. 2, p. 265-301, 2002.

LAZZARINI, S. et al. What do State-owned development banks do? Evidence from BNDES, 2002-09. **World Development**, n. 66, p. 237-253, 2015.

LEDOLTER, J. **Data mining and business analytics with R**. Wiley, 2013.

LEE, K.; KI, J. Rise of latecomers and catch-up cycles in the world steel industry. **Research Policy**, n. 46, p. 365-375, 2017.

LEE, J. K.; KIM, D. Bank performance and its determinance in Korea. **Japan and the World Economy**, n. 27, p. 83-94, 2013.

LI, K.; LIN, B. Measuring green productivity growth of Chinese industrial sectors during 1998-2011. **China Economic Review**, n. 36, p. 279-295, 2015.

MA, J. et al. Technical efficiency and productivity change of China's iron and steel industry. **International Journal of Production Economics**, n. 76, p. 293-312, 2002.

MARCHETTI, D.; WANKE, P. Brazil's rail freight transport: efficiency analysis using two-stage DEA and cluster-driven public policies. **Socio-Economic Planning Sciences**, n. 59, p. 26-42, 2017.

MELO, G. M.; RODRIGUES JÚNIOR, W. **Determinantes do investimento privado no Brasil: 1970-1995**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1998. (Texto para Discussão Ipea n. 605).

MONTERO, A. P. State interests and the new industrial policy in Brazil: the privatization of steel, 1990-1994. **Journal of Interamerican Studies and World Affairs**, v. 40, n. 3, p. 27-62, 1998.

MULLEN, K.; ARDIA, D.; GIL, D.; WINDOVER, D.; CLINE, J. DEoptim: An R Package for Global Optimization by Differential Evolution. **Journal of Statistical Software**, vol. 40, issue 6, p. 1-26, 2011.

NIELSEN, H. Productive efficiency in the iron and steel sector under State planning: the case of China and former Czechoslovakia in a comparative perspective. **Applied Energy**, n. 85, p. 1732-1743, 2017.

REZVANIAN, R.; RAO, N.; MEHDIAN, S. Efficiency change, technological progress and productivity growth of private, public and foreign banks in India: evidence from the pos-liberalization era. **Applied Financial Economics**, n. 18, p. 701-713, 2008.

SARKIS, J. An analysis of the operational efficiency of major airports in the United States. **Journal of Operations Management**, n. 18, p. 335-351, 2000.

SHANMUGAN, M. Does public investment crowd-out private investment in India? **Journal of Financial Economic Policy**, v. 9, n. 1, p. 1-23, 2017.

SIMAR, L, WILSON, P. Two-stage DEA: *caveat emptor*. **Journal of Productivity Analysis**, vol. 36, issue 2, 205-218, 2011.

SIMAR, L, WILSON, P. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. **Journal of Econometrics**, 136, p. 31-64, 2007.

SONAGLIO, C. M.; BRAGA, M. J.; CAMPOS, A. C. Investimento público e privado no brasil: evidências dos efeitos *crowding in* e *crowding out* no período 1995-2006. **Revista de Economia**, v. 11, n. 2, p. 383-404, 2010.

SUN, W.; DONG, K.; ZHAO, T. Market demand dynamic induced mechanism in China's steel industry. **Resources Policy**, n. 51, p. 13-21, 2017.

TADEU, H.; SILVA, J. The determinants of the long term private investment in Brazil: an empirical analysis using cross-section and a Monte Carlo simulation. **Journal of Economics, Finance and Administrative Science**, n. 18, p. 11-17, 2013. Special issue.

THANGARAJ, R.; PANT, M.; BOUVRY, P.; ABRAHAM, A. Solving Multi Objective Stochastic Programming Problems Using Differential Evolution. In: Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing: First International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, SEMCCO 2010, Chennai, India, December 16-18. **Proceedings**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. p. 54-61, 2010.

TORRES, E.; ZEIDAN, R. The life-cycle of national development banks: the experience of Brazil's BNDES. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, n. 62, p. 97-104, 2016.

WANKE, P.; BARROS, C. P. Efficiency drivers in Brazilian insurance: a two-stage DEA meta frontier-data mining approach. **Economic Modelling**, n. 53, p. 8-22, 2016.

WANKE, P. et al. Predicting efficiency in Islamic banks: an integrated multi-criteria decision making (MCDM) approach. **Journal of International Financial Markets, Institutions & Money**, n. 45, p. 126-141, 2016.

WU, Y. The Chinese steel industry: recent developments and prospects. **Resources Policy**, n. 26, p. 171-178, 2000.

YEYATI, E.; MICCO, A.; PANIZZA, U. A reappraisal of State-owned banks. **Economía**, v. 7, n. 2, p. 209-247, 2007.

**3 2º artigo: “AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA INTERSETORIAL DE FINANCIAMENTOS DE BANCO DE DESENVOLVIMENTO: UM JOGO HIERÁRQUICO COM ABORDAGEM MALMQUIST DE DOIS ESTÁGIOS.”**

“AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA INTERSETORIAL DE FINANCIAMENTOS DE BANCO DE DESENVOLVIMENTO: UM JOGO HIERÁRQUICO COM ABORDAGEM MALMQUIST DE DOIS ESTÁGIOS.”

## **Resumo**

Este artigo examina mudanças na eficiência da estrutura produtiva brasileira relativa ao financiamento público ofertado pelo BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Desenvolvemos um modelo de jogo hierárquico dinâmico entre o banco público e firmas gerando investimento como função de crédito subsidiado, competição industrial e abertura econômica. Adicionalmente, estimamos um modelo DEA (análise de dados de envoltória) em dois estágios, multisetorial, que fornece a base para análise da efetividade da política industrial de financiamento público. Para o período estudado, a política industrial brasileira estabeleceu um conjunto de objetivos agregados, tais como produto interno bruto – PIB, emprego e saldo comercial. Os principais setores receptores de financiamento não foram efetivos na geração conjunta desses objetivos agregados. Finalmente, a importância do grau de abertura econômica e do nível de concorrência nesses setores indicam que esses fatores seriam relevantes para uma política industrial mais efetiva.

Palavras-chave: Malmquist-DEA em dois estágios, abertura econômica, concorrência, produtividade e competitividade, jogos dinâmicos

## **3.1 INTRODUÇÃO**

Nos países em desenvolvimento, que, em geral, convivem com restrições fiscais, por meio do financiamento público, os bancos de desenvolvimento executam políticas industriais voltadas a modernização, reestruturação e ampliação da escala produtiva (LAZZARINI et al., 2015; AGHION, 1999). No caso brasileiro, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, destaca-se como o maior provedor de

financiamento de longo prazo (TORRES; ZEIDAN, 2016; FERRAZ; COUTINHO, 2019). De fato, em 2014, os desembolsos do BNDES totalizaram 80 bilhões de dólares, mais que o montante ofertado pelo Banco Mundial.

A despeito da magnitude e relevância do BNDES como instrumento de política industrial na economia brasileira, não se observa um número significativo de estudos sobre a efetividade de seu impacto. O presente artigo objetiva examinar mudanças na eficiência da estrutura produtiva brasileira como resultado de política de financiamento público provida pelo BNDES. Esse artigo contribui para a literatura ao prover um arcabouço para avaliação quantitativa de políticas industriais conduzidas por bancos de desenvolvimento. Em particular, desenvolveu-se modelo teórico de um banco público que oferta crédito subsidiado às firmas para incrementar sua eficiência produtiva. Adicionalmente, na construção do modelo teórico, estimou-se um modelo multisetorial de análise de dados de envoltória - DEA em dois estágios que fornece a base para a avaliação da efetividade da política industrial de financiamento público. A originalidade deste artigo consiste em propor arcabouço para avaliação quantitativa da efetividade de programas implementados por bancos de desenvolvimento para alcançar objetivos sociais estabelecidos pelo setor público.

Aplicando esse arcabouço ao BNDES, observa-se que os principais receptores de financiamento público não foram efetivos na geração conjunta de PIB, emprego e saldo comercial positivo. Adicionalmente, a implementação da política industrial utilizando esse tipo de financiamento não foi suficiente para alavancar incremento na eficiência da estrutura produtiva doméstica, resultando em um processo lento e gradual de aproximação da fronteira de eficiência determinado por fatores externos a economia brasileira. Finalmente, a importância do grau de abertura comercial e nível de concorrência nos setores produtivos indicam que esses fatores seriam essenciais para a formulação de política industrial mais efetiva.

O restante deste artigo está organizado como se segue. A seção 2 apresenta panorama histórico das atividades de financiamento do BNDES, destacando as políticas industriais recentes que guiaram suas decisões. A seção 3 traz a revisão da literatura sobre desenvolvimento econômico e modelagem de eficiência com ênfase nos modelos de dois estágios. O modelo

teórico aparece na seção 4. A seção 5 descreve os dados e a metodologia de pesquisa, enquanto a seção 6 apresenta e analisa os resultados. A seção 7 mostra conclusões e discute implicações para as políticas públicas. Nessa seção, detalham-se as limitações do estudo, bem como sugestões para pesquisa futura.

### 3.2 POLÍTICAS PÚBLICAS IMPLEMENTADAS PELO BNDES

Historicamente, o BNDES tem sido instrumento relevante para a implementação de política industrial no Brasil, na medida em que se constituiu no principal provedor de financiamento de longo prazo. Por meio de complemento a oferta de crédito, promoção de reestruturação produtiva e implementação de políticas anticíclicas (COLBY, 2012), a atuação do banco mitigaria falhas de mercado, externalidades e insuficiência da demanda efetiva, devida a incerteza dos agentes econômicos (FERRAZ; ALÉM; MADEIRA, 2013; YEYATI; MICCO; PANIZZA, 2007).

Como um dos maiores bancos de desenvolvimento do mundo, em termos de montante de empréstimos concedidos, suas linhas de financiamento atendem a uma ampla gama de projetos, como ampliação de capacidade produtiva, modernização, provisão de infraestrutura, apoio às exportações, inovação e capital de (TORRES; ZEIDAN, 2016). Dentre suas principais linhas de atuação, destacam-se concessão de crédito, constituição de garantias, estruturação de projetos e participação em sociedades para viabilizar a implementação de projetos específicos.

No período coberto por este estudo (2003-2015), o setor público brasileiro, sob o governo do Partido dos Trabalhadores, assumiu uma postura de intervenção ativa, por meio da formulação de um conjunto de políticas desenvolvimentistas. Sucessivamente, três planos de políticas industriais foram implementados: (1) a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE, de 2003 a 2007 (SALERNO; DAHER, 2006; MANTEGA, 2005), (2) a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP, de 2008 a 2010 (DIEESE, 2008) e o Plano Brasil Maior - PBM (BRASIL, 2011), de 2011 a 2014 (BRASIL, 2011).

A PITCE apoiava políticas transversais, de inovação e modernização produtiva que atendiam muitos objetivos concorrentemente, não apenas produtividade industrial. O PDP tinha foco no mercado interno, como resposta à crise econômica internacional de 2008. Em conjunto com o PBM, essas políticas reforçavam a predominância do mercado interno, propondo o adensamento de elos da cadeia produtiva com foco na balança comercial. Apesar da evolução observada nas formulações dessas políticas industriais, podem-se identificar agregados macroeconômicos comuns que guiariam suas diretrizes: a produção e o emprego doméstico (representativos do *drive* do mercado interno) e o saldo comercial (representativo do *drive* do mercado externo).

Como agente executor dessas políticas industriais, ao longo do período, a carteira de concessão de empréstimos do BNDES apresentou maior predominância de projetos intensivos em capital nos setores mais relacionados a essas diretrizes, como indústria de transformação; eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos; transporte, armazenagem e correios. Empréstimos a esses setores totalizaram aproximadamente 73% do total de financiamentos do BNDES entre 2003 e 2015. Serviços privados receberam aproximadamente 14% dos empréstimos, enquanto administração, defesa, saúde e educação públicas e seguridade social contabilizaram em torno de 6%. Indústria extrativa e agropecuária receberam 3% e 1%, respectivamente. A tabela 3.1, abaixo, apresenta os principais receptores de financiamento no período, complementada pela distribuição dessa concessão setorial de empréstimos, exposta nas figuras 3.1 e 3.2. Duas tendências se destacam nesse período. Empréstimos concedidos a firmas privadas na indústria de transformação cresceram até 2008, quando se iniciou seu declínio. Por outro lado, empréstimos concedidos a eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos, principalmente a empresas públicas, iniciaram mais tarde, atingindo um máximo em 2013, quando o Brasil começou a enfrentar constrangimentos políticos e fiscais.

Tabela 3.1:

Montante de empréstimos BNDES por setor - 2003-15 (bilhões de reais)

Indústria de transformação	113,85
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	100,55
Transporte, armazenagem e correios	60,53
Administração, defesa, saúde e educação públicas e seguridade social	32,13
Informação e comunicação	23,63
Indústria extrativa	11,74
Comércio	8,89
Construção	8,61
Outros serviços	5,48
Agricultura	4,47
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados*	4,39
Atividades imobiliárias	3,70

\* - (repasso de crédito a pessoas físicas e pequenas empresas de atividade rural e urbana)

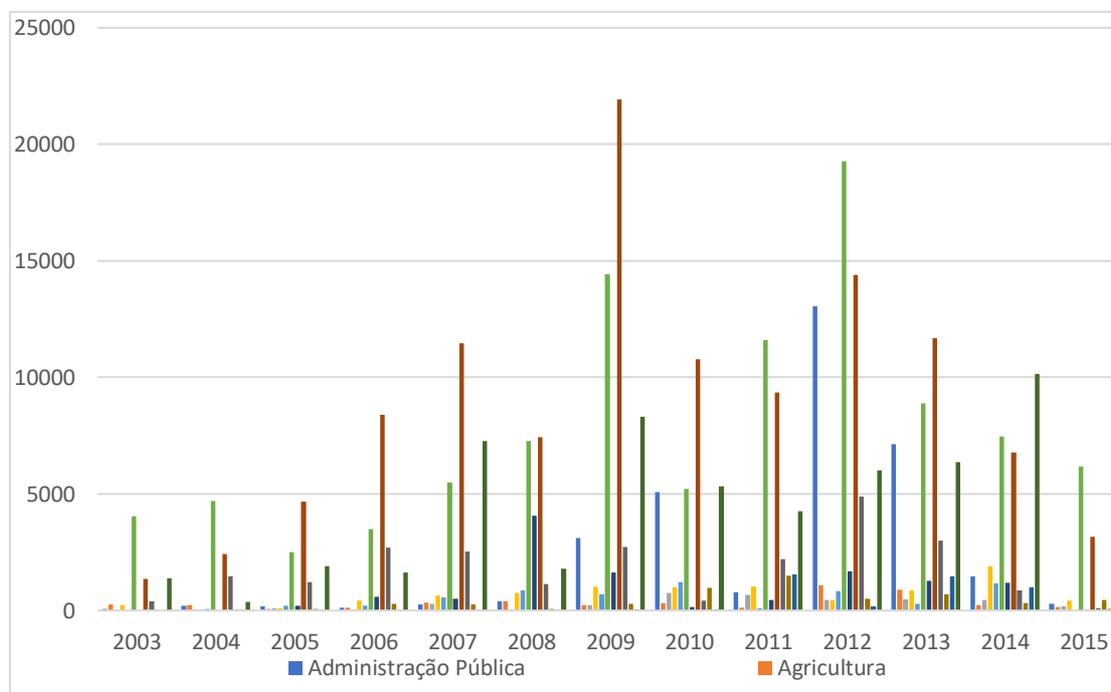


Figura 3.1: Distribuição setorial dos empréstimos BNDES – 2003-15 (milhões de reais).

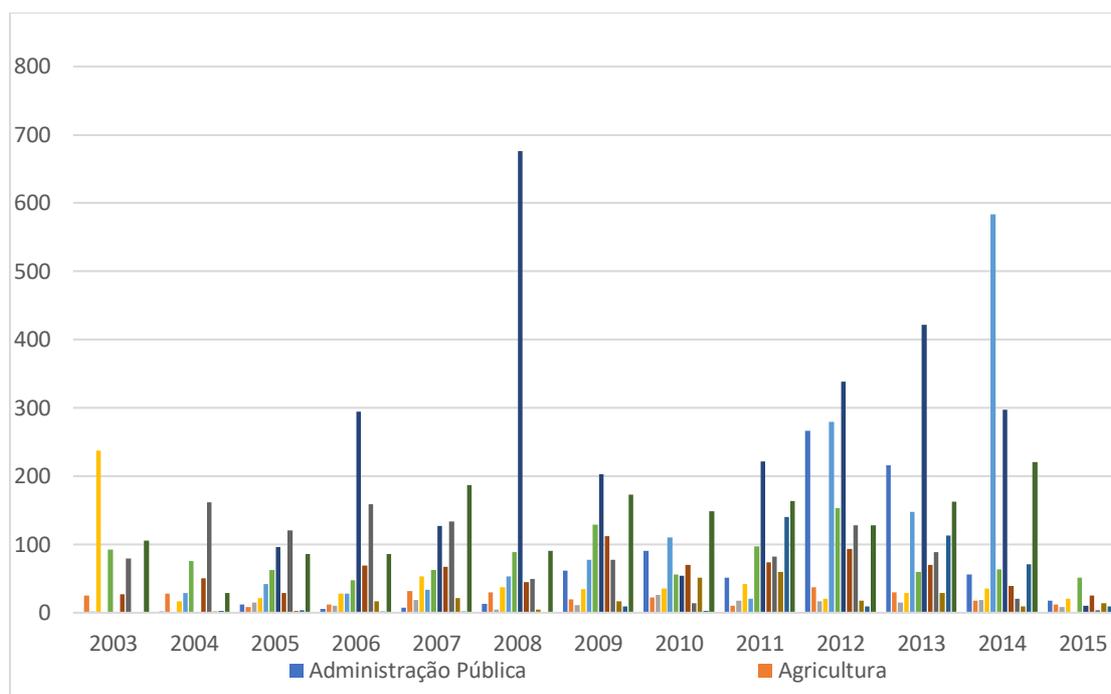


Figura 3.2: Distribuição setorial dos empréstimos BNDES, por projeto – 2003-15 (milhões de reais).

### 3.3 REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa recente sobre impactos de políticas públicas sobre a produtividade interindustrial tem se concentrado nos temas liberalização econômica, (LINARELLO, 2018; TURNBULL; SUN; ANWAR, 2016; NATARAJ, 2011; GUSTAFSSON; SEGERSTROM, 2010; KATZ, 2000; EDWARDS, 1998; HARRISON, 1996), e política industrial, (YANG; FUKUYAMA; SONG, 2019; BORGHI, 2017), principalmente. Enquanto a primeira está associada a processos recentes de abertura comercial e flexibilização financeira em economias emergentes, a pesquisa sobre política industrial tem por objeto casos específicos de desenvolvimento acelerado ou políticas anticíclicas, caso de China e Brasil, respectivamente.

Desde as formulações teóricas das vantagens comparativas, por David Ricardo, e do modelo Heckscher-Ohlin de comércio internacional, a liberalização do comércio internacional tem se constituído em tema de destaque na pesquisa acadêmica (BATRA; CASAS, 1976). Por meio da liberdade de fluxo de bens e investimentos, dadas as especificidades de dotações de recursos de cada região ou país, a alocação de recursos seria

guiada por um padrão de especialização produtiva que conduziria a uma maior eficiência econômica. Em complemento, a internacionalização produtiva possibilitaria o ajuste às escalas produtivas mais eficientes. Essas escalas mais produtivas seriam uns dos fatores que indicariam uma maior produtividade do setor exportador e sua consequente externalidade para o restante da economia (FEDER, 1982), bem como por um maior desempenho inovador (ROMER, 1990).

Em geral, a abertura comercial tem resultado em impacto global positivo sobre a produtividade das empresas (LINARELLO, 2018; TURNBULL; SUN; ANWAR, 2016; NATARAJ, 2011; GUSTAFSSON; SEGERSTROM, 2010; KATZ, 2000; EDWARDS, 1998; HARRISON, 1996). Analisando esse impacto global positivo, identificaram-se especificidades quanto ao nível inicial de produtividade, que determinaria um maior efeito de aproximação a fronteira tecnológica – *catching up* (EDWARDS, 1998), bem como a sentidos contrários para esses efeitos, decorrentes da exposição a concorrência e eliminação de firmas ineficientes, em geral, positivo, e de inovação, negativos em razão do aumento do custo de capital para investimento em P&D (GUSTAFSSON; SEGERSTROM, 2010). Nesse sentido, a abertura comercial seria mais significativa para o posicionamento da fronteira de eficiência global que para a performance tecnológica interindustrial (KATZ, 2000).

O impacto da abertura comercial para o incremento da concorrência seria determinante para o comportamento das firmas locais, a despeito de sua quantidade e grau de concentração produtiva. Mais que a pressão competitiva em um mercado de concorrência perfeita (VARIAN, 1992), a contestabilidade dos mercados, seja por importações ou potenciais entradas, seria o fator relevante para o equilíbrio competitivo e as decisões econômicas relativas à quantidade ofertada e ao estabelecimento de preços (BAUMOL; PANZAR; WILLIG, 1982).

Seguindo o modelo de Melitz e Ottaviano (MELITZ; OTTAVIANO, 2008), pesquisa recente mostra que abertura comercial tem impacto positivo sobre o crescimento econômico e da produtividade por meio de dois canais: tamanho do mercado e concorrência das importações. Mercados maiores comportam mais firmas, que ampliam a concorrência e, conseqüentemente, a produtividade média. A concorrência das importações retira firmas ineficientes

do mercado. No curto prazo, a produtividade aumenta a partir da eliminação de firmas menos eficientes e do crescimento das firmas mais produtivas. No longo prazo, facilitado pelo mecanismo de entrada e saída, a produtividade deveria convergir nos mercados externo e doméstico. Evidências para esse efeito pode ser encontrada em Amin (2015), para o varejo indiano e Schmitz (2005), para a mineração de ferro estadunidense e canadense.

Vários estudos encontraram relação positiva entre abertura comercial e crescimento devido a combinação de *spillovers* tecnológicos – difusão de ganhos de produtividade aos demais setores da economia, economias de escala e escopo ou pressão competitiva sobre custos deslocando o comportamento *rent-seeking* (HENRY; KNELLER; MILNER, 2009; CHEN, 2019; DRIFFIELD; MICKIEWICZ; TEMOURI, 2013; WONG, 2009; CHANDRAN; MUNUSAMY, 2009; MAKHLOUF; KELLARD; VINOGRADOV, 2015; MISRA et al., 2015; TAHIR; AZID, 2015; OLPER; PACCA; CURZI, 2014; MILLER; UPADHYAY, 2000; BRIDGMAN, 2015; DING; NIU, 2019; REENEN, 2011; KOUNETAS; NAPOLITANO, 2018; CHRISTOPOULOS, 2007; NASREEN; ANWAR, 2014). De particular interesse para a presente proposta são os estudos de Kounetas e Napolitano (2018) e Christopoulos (2007), que usam o modelo DEA para demonstrar que a abertura comercial impacta positivamente o crescimento econômico e a produtividade.

Outros estudos nesse campo encontraram diferenças entre o curto e o longo prazo. Por exemplo, Samargandi, Fidrmuc e Ghosh. (SAMARGANDI; FIDRMUC; GHOSH, 2015), encontrou uma curva em U invertida que representa a relação entre desenvolvimento financeiro e crescimento econômico. Xuefeng e Yasar (XUEFENG; YASAR, 2016) encontraram curva em U representando a relação entre abertura comercial e produtividade. No curto prazo, até determinado ponto, abertura comercial tem efeito negativo sobre a produtividade, após o qual ocorre efeito positivo devido ao aprendizado e economias de escopo (SHAHBAZ, 2012). Cavalcanti e Vaz (CAVALCANTI; VAZ, 2017) encontrou que o crédito subsidiado amplia a taxa de investimento relativa e a produtividade de pequenas e médias firmas, mas esses resultados são robustos apenas para ampliação permanente do acesso ao crédito, e não temporária. Trejos e Barboza (TREJOS; BARBOZA, 2015) mostra importância do capital humano para o crescimento econômico e produtividade.

As pesquisas recentes sobre resultado de políticas industriais implementadas na China (YANG; FUKUYAMA; SONG, 2019), e no Brasil (BORGHI, 2017), utilizaram métodos quantitativos, modelo DEA com regressão no segundo estágio e estimação de índices de Rasmussen a partir de matrizes de insumo-produto, respectivamente. A partir da construção de indicadores de utilização de capacidade (UC) e sua posterior aplicação no cálculo de índices de produtividade de Luenberger, composto por mudança tecnológica e ineficiência, computando a poluição como produto indesejável, Yang, Fukuyama e Song (YANG; FUKUYAMA; SONG, 2019) mostraram que baixas taxas de juros e política industrial ativa seriam relevantes para a redução da ociosidade produtiva. Para o caso brasileiro, Borghi (BORGHI, 2017) chegou a resultados que indicam que os setores que mais contribuíram para o incremento no nível de atividade da economia brasileira não foram objeto do pacote de benefícios econômicos pós 2008 (isenções fiscais setoriais). Nesse sentido, a política industrial teria sido ineficiente, na medida em que a maior parte dos setores receptores estariam isolados em relação a matriz produtiva brasileira.

No que se refere a utilização de métodos quantitativos para a avaliação da performance industrial e, em particular, de políticas públicas, a abordagem DEA tem sido bastante utilizada ao longo dos últimos anos. O amplo campo de estudos agrega setores industriais, com foco em economia de energia e poluição (ZHENG; LIN, 2017; LI; LIN, 2015.; HE et al., 2013; WANG; ZHOU, 2013; LIU; WANG, 2008; CHEN, 2003), inovações (HONG et al., 2016; CHEN; KOU; FU, 2018; WANG et al., 2016; ZHONG et al., 2011), infraestrutura e políticas regulatórias (MARCHETTI; WANKE, 2017; BACHILLER, 2009; LINS et al., 2007), serviços e políticas de abertura econômica (AZAD et al., 2016; BAHRINI, 2015; BARROT; CALDERÓN; SEVÉN, 2018); desempenho na execução de políticas sociais nas áreas de educação, saúde e segurança (PORTELA; CAMANHO; BORGES, 2012; AMADO; DYSON, 2009; GREASLEY, 2005). Apesar dessa larga utilização de uma abordagem consagrada, a pesquisa referente as políticas industriais ainda se mostra restrita aos temas ambientais e inovações, com poucos trabalhos sobre escopo multisetorial, como Yang, Fukuyama e Song (YANG; FUKUYAMA; SONGS, 2019) e Hosseini, Noura e Rashidi (HOSSEINI; NOURA; RASHIDI,

2018), que utilizou um modelo DEA para análise multicritério de setores industriais no Irã, considerando os critérios econômico (PIB), social (empregos) e ambiental (emissão de 3 tipos de poluentes). Em função do nível de desagregação do fator ambiental, foram observadas diferenças na classificação dos setores eficientes.

Neste artigo, utiliza-se a abordagem DEA para analisar a política industrial brasileira conduzida pelo financiamento do BNDES, por meio de modelo de jogo teórico que trata o BNDES e os setores industriais como jogadores – líder e seguidores, respectivamente. Executa-se uma regressão DEA *bootstrapped* em dois estágios, o primeiro para obtenção dos índices de Malmquist e o segundo a regressão robusta desses índices contra variáveis contextuais que representam heterogeneidade setorial, abertura comercial e concorrência, com o serviço público como variável *dummy* setorial. Os índices de Malmquist serão desagregados em seus componentes mudança técnica – de forma a captar ganhos de eficiência no sentido de aproximação a fronteira tecnológica (efeito *catching up*), e deslocamento da fronteira (efeito *frontier shift*). Um teste de Li-Racine foi realizado para avaliar a heterogeneidade estrutural entre os setores.

### 3.4 MODELO TEÓRICO

A literatura econômica apresenta modelos da função investimento seguindo diferentes abordagens, destacando-se os modelos keynesiano, neoclássico e q de Tobin (BRITO, 2010). Inicialmente alicerçado sobre o papel relevante do investimento autônomo, a modelagem keynesiana evoluiu para o modelo do acelerador, que depende do nível da produção nacional e da relação capital/produto. A abordagem neoclássica relaciona o estoque de capital a maximização dos lucros da firma, a partir da incorporação de variáveis como preço dos bens de capital, taxa de juros e taxa de depreciação (JORGENSEN, 1963). No modelo q de Tobin (TOBIN, 1969), a taxa de investimento depende da relação entre o valor do estoque de capital e o custo marginal para sua substituição.

Na presente seção, tomando por base a abordagem neoclássica e q de Tobin, buscamos contribuir para a literatura econômica relativa a política

industrial, por meio de proposta de modelagem econômica de determinação da função de investimento agregado decorrente da interação entre o setor público e o setor privado.

Nosso modelo representa um jogo dinâmico hierárquico entre um banco público, como o BNDES, e uma firma representativa (uma unidade decisória – DMU). O BNDES é o líder que estabelece a política de crédito que objetiva estimular investimento e formação de capital pela DMU, que é o seguidor. Após agregação, as decisões de investimento das DMUs resultam em maior produtividade, emprego e produção para a economia como um todo.

Inicialmente, analisamos o problema da firma representativa, assumindo o pressuposto neoclássico de concorrência perfeita. Considere um setor industrial com  $N$  firmas idênticas. Ao tempo  $t$ , o lucro líquido real da firma representativa é proporcional a seu estoque de capital  $k$ , e, refletindo a concorrência, lucros seriam decrescentes na medida em que a malha industrial amplia o estoque de capital agregado  $K$ . Naturalmente, lucros são crescentes com o emprego agregado  $L$ . O lucro líquido real toma a forma  $G(K,L)k$  (ROMER, 2012), onde  $G_K(K_t, L_t) < 0, G_L(K_t, L_t) > 0$ .

A taxa de mudança no estoque de capital da DMU é dada por:

$$k_{t+1} - k_t = I_t - \delta k_t \quad (1)$$

Onde  $I$  é o investimento bruto e  $\delta$  é a taxa de depreciação.

O preço de aquisição dos bens de capital é constante e igual a 1. Os lucros das DMUs a um ponto no tempo são  $(K_t, L_t)k_t - I_t - w_t L_t - C(I_t, M_t)$ , em que  $w_t$  é o custo do fator trabalho  $L$  e  $C$  é o custo do fator capital, como função do investimento  $I$  e do crédito  $M$ . A firma maximiza o valor presente desses lucros,

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} [G(K_t, L_t)k_t - I_t - w_t L_t - C(I_t, M_t)] \quad (2)$$

onde  $r$  é a taxa de juros.

A DMU escolhe o nível de investimento ao longo do tempo que maximiza (2) sujeito a (1), dado o estoque de capital na malha industrial como dado. O Lagrangeano  $J$  para o problema de maximização da DMU é:

$$J = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} [G(K_t, L_t)k_t - I_t - w_t L_t - C(I_t, M_t) + q_t(I_t + (1 - \delta)k_t - k_{t+1})] \quad (3)$$

onde  $q$  é o valor para a DMU de uma unidade adicional de capital ao tempo  $t$ .

As condições de primeira ordem para o investimento da firma, trabalho e capital são, respectivamente:

$$q_t = 1 + C_I(I_t, M_t) \rightarrow I = I(q_t, M_t) \quad (4)$$

$$G_L(K_t, L_t)k_t = w_t \rightarrow L = L(K_t, w_t, k_t) \quad (5)$$

$$q_{t+1} = (1 + r)[G(K_t, L_t) + (1 - \delta) q_t] \quad (6)$$

onde eq. (4) é o  $q$  de Tobin. No estado estacionário, o valor de  $q$  corresponde ao custo de adquirir uma unidade de capital (que é fixado em 1) mais o custo marginal do ajuste. Eq. (5) iguala o custo marginal do trabalho a receita marginal e eq. (6) é a equação de Euler para a formação de capital, em que o valor presente de uma unidade adicional de capital ao tempo  $t+1$  iguala o produto marginal do capital mais o valor líquido de depreciação  $\delta$  de uma unidade adicional de capital ao tempo  $t$ .

Como líder do jogo, o BNDES é responsável por ofertar crédito subsidiado às firmas. O banco busca maximizar a função objetivo definida na Eq. (7):

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} [V(K_t, M_t) - \varphi(M_t)] \quad (7)$$

enquanto leva em consideração as melhores funções resposta da DMU, dadas pelas Eqs. (4)-(6), e as restrições dinâmicas dadas pelas Eqs. (1) e (6). O modelo é um jogo hierárquico [a la Stackelberg] em que o BNDES é líder e a firma representativa é o seguidor, logo as Eqs. (4)-(6) são as reações ótimas da firma que o líder leva em consideração para resolver o seu problema.

O banco escolhe a oferta de crédito,  $M$ , como variável de controle. A função de utilidade  $V$  do banco é côncava e crescente em relação ao crédito  $M$ , e ao estoque de capital  $K$ . O banco incorre em custos  $\varphi(M_t)$ , que são crescentes em  $M$ , para obter recursos para disponibilizar crédito barato às DMUs<sup>3</sup>. Note-se a ausência de restrição orçamentária explícita, mas a função custo  $\varphi(M_t)$  do banco indica que esse está sujeito a leve restrição

---

<sup>3</sup> O modelo pode ser ampliado para agregar tanto moeda interna quanto externa (OHKUSA, 1993; FARIA; ANDRADE, 1998; NOVAK, 2000); contudo isso está além do escopo deste artigo.

orçamentária. No caso específico do BNDES, o banco tem acesso direto ao dinheiro público por meio do tesouro brasileiro<sup>4</sup>.

O Lagrangeano,  $Z$ , para o problema de maximização do banco público é:

$$Z = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r)^t} [V(K_t, M_t) - \varphi(M_t) + \mu_t((1+r)[G(K_t, L(K_t, w_t, k_t)) + (1-\delta)q_t] - q_{t+1}) + \theta_t(I(q_t, M_t) + (1-\delta)k_t - k_{t+1})] \quad (8)$$

onde  $\mu$  (preço sombra da Eq, (6)) é o valor para o BNDES da formação de uma unidade adicional de capital ao tempo  $t$ , e  $\Omega$  (preço sombra do investimento da firma) é o valor para o BNDES de uma unidade adicional de formação de capital pelas firmas receptoras de crédito.

As condições de primeira ordem para o problema de maximização do banco, com respeito a  $K$ ,  $M$ ,  $q$  e  $k$  são, respectivamente:

$$V_K(K_t, M_t) + \mu_t \left( (1+r)[G_K(K_t, L(K_t, w_t, k_t)) + G_L(K_t, L(K_t, w_t, k_t))L_K] \right) = 0 \quad (9)$$

$$V_M(K_t, M_t) - \varphi'(M_t) + \Omega_t I_M(q_t, M_t) = 0 \quad (10)$$

$$\mu_{t+1} = (1+r)[(1-\delta)(1+r)\mu_t + \Omega_t I_q(q_t, M_t)] \quad (11)$$

$$\Omega_{t+1} = (1+r)[(1-\delta)\Omega_t + \mu_t(1+r)G_L(K_t, L(K_t, w_t, k_t))L_k] \quad (12)$$

Sendo  $L_k$ , quantidade de trabalho dado emprego de capital pela DMU, e  $\Omega_t$ ; onde (9) e (10) iguala o custo marginal ao benefício marginal para  $K$  e  $M$ , respectivamente. Equações (11) e (12) são as equações de Euler para  $q$  e  $k$ .

Repare que, no estado estacionário,  $x_{t+1} = x_t = x^*$ . Tomando o sistema formado pelas Equações (1), (4)-(6) e (9)-(12), temos 8 equações que determinam os valores de equilíbrio de 8 variáveis endógenas:  $M$ ,  $K$ ,  $k$ ,  $L$ ,  $l$ ,  $q$ ,  $\Omega$  e  $\mu$ .

Para resolver o estado estacionário, note-se que o Sistema é bloco recursivo, ou seja, em seu conjunto, as equações podem ser utilizadas para se reescrever cada variável. Eqs. (4) e (6) podem ser usadas para eliminar  $q$ . Utilizando Equação (1), onde  $l = \delta k$ ,  $k$  pode ser reescrito como função de  $L$ ,  $K$

<sup>4</sup> Antunes, Cavalcanti e Villamil (ANTUNES; CAVALCANTI; VILLAMIL, 2015) mostra que a política de crédito subsidiado é largamente uma transferência das famílias para um pequeno grupo de empresários.

e  $M$ . Pela Equação (5), podem-se reescrever  $k=k(K,M)$  e  $L=L(K,M)$ . Substituindo-os nas equações (9)-(12), encontramos os valores agregados ótimos de equilíbrio do estoque de capital  $K^*$ , que captura a competição industrial e a política de crédito ótima do BNDES,  $M^*$ .

Determinando-se a política ótima de crédito do BNDES, o modelo pode ser resolvido recursivamente para encontrar os valores ótimos do estoque de capital  $k^*$ , investimento  $I^*$  e emprego  $L^*$  para cada DMU. Além disso, dado  $K^*$  e  $L^*$ , pode-se determinar o produto total  $Y^*=F(K^*, L^*)$ .

O modelo é facilmente expandido para uma economia aberta, onde exportações  $X$  entram na função lucro líquido real da DMU,  $G(K, L, X)k$ . Da mesma forma, já que um dos principais papéis do BNDES consiste na promoção da expansão da capacidade produtiva e sua modernização, o banco deveria facilitar a importação de insumos  $\psi$ , dado que importações apresentam-se na função utilidade do banco,  $V(K, M, \psi)$ . Seguindo os passos anteriores, as exportações da DMU serão produtos do modelo adicionais ao emprego, estoque de capital, investimento e produção, enquanto as importações serão insumos do modelo. Nesse sentido as funções  $G$  e  $V$ , passam a contar com exportações e importações, sendo substituídas nas condições de primeira ordem derivadas nas soluções ótimas da firma representativa e nas do BNDES, conforme equações Eqs. (13) a (17):

$$G_L(K_t, L_t, X_t)k_t = w_t \rightarrow L = L(K_t, w_t, k_t, X_t) \quad (13)$$

$$q_{t+1} = (1 + r)[G(K_t, L_t, X_t) + (1 - \delta) q_t] \quad (14)$$

$$V_K(K_t, M_t, \psi_t) + \mu_t \left( (1 + r)[G_K(K_t, L(K_t, w_t, k_t, X_t))] + G_L(K_t, L(K_t, w_t, k_t, X_t))L_K \right) = 0 \quad (15)$$

$$V_M(K_t, M_t, \psi_t) - \varphi'(M_t) + \Omega_t I_M(q_t, M_t) = 0 \quad (16)$$

$$\Omega_{t+1} = (1 + r)[(1 - \delta)\Omega_t + \mu_t(1 + r)G_L(K_t, L(K_t, w_t, k_t, X_t))L_K] \quad (17)$$

A supracitada identificação do modelo permite sua testagem, que será realizada na próxima seção.

### 3.5 DADOS E METODOLOGIA DO MODELO DEA

A amostra concentrou-se no período entre 2003-2015, correspondente ao período em que a administração pública federal estava sob gestão do

Partido dos Trabalhadores – PT. A escolha desse período deve-se a especificidade de suas políticas industriais implementadas, de caráter desenvolvimentista, conforme descrito na seção contexto. Os dados de produto, PIB, emprego e exportações, bem como as importações são originárias das tabelas de contas nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados de insumo BNDES provêm dessa instituição, conforme disponibilizada em planilhas de operações de concessão de empréstimos (IBGE. 2020; BNDES; 2020). O índice de preços ao consumidor (IPCA/IBGE) foi utilizado para obter dados a preços constantes

Quanto às variáveis contextuais comércio internacional e índice de concentração de mercado Herfindahl-Hirschman - HHI, criado por Alfred Hirschman Orris Herfindalh, foram elaboradas pelos autores, conforme descrição a seguir. No caso da primeira, o grau de abertura econômica foi obtido como a razão entre o fluxo de comércio exterior (exportações e importações) dividido pelo PIB. Quanto ao HHI, esse índice mede a concentração de mercado ajustando-o a uma escala de 0 a 10.000, em que o limite inferior equivale a concorrência perfeita e o limite superior ao monopólio. Para sua obtenção, aplicou-se a metodologia utilizada pelos órgãos de defesa da concorrência, que corresponde ao somatório dos quadrados das participações de mercado das firmas em um mercado (CADE, 2016). Foram utilizados dados de faturamento das empresas com ações dotadas na Bolsa de Valores de São Paulo – BOVESPA.<sup>5</sup> Especificamente para o setor financeiro, foram utilizadas as receitas de intermediação financeira, disponibilizadas pelo Banco Central do Brasil – BACEN. Para o setor de construção, foram utilizados dados disponibilizados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (CBIC, 2020).<sup>6</sup>

A tabela 3.2, apresenta as estatísticas descritivas média e desvio padrão – dp, referentes aos produtos, insumos e variáveis contextuais, por setor. A partir do modelo teórico, abertura comercial e competição industrial

---

<sup>5</sup> O índice HHI de concentração de mercado é utilizado como referência nos órgãos antitruste como a Federal Trade Commission – FTC e no Conselho Administrativo de Defesa Econômica – CADE. No presente trabalho, como proxy, está sendo utilizado em agregados setoriais que englobam uma série de mercados. Por exemplo, o setor de indústria de transformação engloba mercados como o de automóveis, papel e celulose e siderurgia.

<sup>6</sup> A série de dados do CBIC tinha uma lacuna para o ano de 2004, preenchida pelo valor médio entre os anos de 2003 e 2005.

afetam positivamente a produtividade. A seguir, adotamos abordagem para analisar a produtividade de cada setor econômico (DMU) na conversão de financiamento do BNDES (insumo) em objetivos de política industrial (PIB, emprego, saldo comercial líquido – produtos), segundo variáveis contextuais como abertura comercial, concorrência e heterogeneidade setorial.

Tabela 3.2:

Estatísticas descritivas dos produtos, insumos e variáveis contextuais por setor

Nota: PIB, exportações, importações e BNDES (bilhões de reais); emprego (milhões)

Setores	Produtos						Insumos				Variáveis contextuais			
	PIB		Emprego		Exportações		Importações		BNDES		Comércio internacional		HHI	
	média	dp	média	dp	média	dp	média	dp	média	dp	média	dp	média	dp
Agropecuária	85.49	12.63	15,618.42	1,753.64	24.86	9.56	4.45	0.82	0.34	0.30	0.34	0.07	0.66	0.62
Construção	88.89	30.78	7,349.90	1,231.84	1.15	0.39	0.50	0.25	0.66	0.67	0.02	0.00	109.39	47.24
Indústria extrativa	53.90	21.76	257.82	36.57	34.63	13.17	21.36	3.81	0.90	1.13	1.10	0.18	2,816.70	412.50
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	107.51	18.98	1,062.99	88.16	3.07	1.05	6.74	1.43	0.34	0.58	0.09	0.02	983.15	205.07
Informação e comunicação	62.98	7.65	1,136.55	174.14	1.37	0.63	5.39	1.43	1.82	1.35	0.11	0.04	417.99	151.96
Outras atividades de serviços	258.76	65.96	27,026.22	2,596.03	16.96	3.59	30.21	12.35	0.42	0.42	0.18	0.02	2.92	1.97
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	42.86	3.88	657.87	62.40	0.18	0.32	1.64	0.29	7.73	4.80	0.04	0.01	624.09	78.17
Administração, defesa, saúde e educação públicas e seguridade social	262.44	57.57	10,107.14	1,064.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.47	3.88	0.00	0.00	10,000.00	0.00
Atividades imobiliárias	144.35	30.15	347.49	37.89	1.83	0.33	1.34	0.44	0.28	0.26	0.02	0.00	0.08	0.07
Comércio	198.23	60.78	17,476.16	1,255.09	1.39	0.55	1.07	0.21	0.68	0.50	0.01	0.01	53.40	28.99
Indústria de transformação	234.31	21.47	10,945.54	998.87	156.15	30.96	164.10	43.07	8.76	5.59	1.37	0.17	33.37	13.29
Transporte, armazenagem e correios	65.55	20.58	4,223.44	376.14	6.03	1.51	3.93	2.02	4.66	3.04	0.15	0.04	21.78	8.30

As seguintes hipóteses de pesquisa foram formuladas a partir da revisão de literatura e do modelo teórico para análise de eficiência setorial, bem como do papel exercido pela abertura comercial e concorrência no desempenho produtivo e desenvolvimento econômico:

H1 - heterogeneidade da performance produtiva dos setores em razão da abertura comercial e do nível de concorrência;

H2 - o grau de abertura econômica seria mais determinante que o nível de concorrência para a performance dos setores tanto no que se refere ao efeito *catching up* quanto ao *frontier shift*;

H3 – abertura comercial aumenta a produtividade de forma não linear, saindo de impacto negativo no curto prazo para impacto positivo no longo prazo.

Utilizamos um modelo de dois estágios para estimar o papel da eficiência. Por ser um modelo orientado a produto, os índices de Malmquist foram calculados e desagregados nos elementos de movimento de aproximação da fronteira de eficiência (*catching up*) e deslocamento da fronteira (*frontier shift*). Utilizou-se abordagem não radial para corrigir as folgas e obter uma fronteira gráfica eficiente por meio do modelo aumentado de Russell (ERM). Em seguida, aplicou-se regressão não linear robusta para obter a metafronteira e mensuração do impacto das variáveis contextuais<sup>7</sup>. Os índices não radiais de Malmquist já foram utilizados para estimar a produtividade na indústria de semicondutores taiwanesa e têxtil chinesa, bem como indústrias química e metalúrgica (LIU; WANG, 2008; CHEN, 2003).

A função de eficiência a ser maximizada, segundo orientação a produto e retornos variáveis de escala (VRS), correlaciona os seguintes conjuntos de produtos e insumos:

$$(PIB_{ij} + N_{ij} + X_{ij}) \sim (M_{ij}, BNDES_{ij})$$

onde,  $PIB_{ij}$  = produto interno bruto do setor  $i$  no ano  $j$ ;  $N_{ij}$  = emprego no setor  $i$  no ano  $j$ ;  $X_{ij}$  = exportações pelo setor  $i$  no ano  $j$ ;  $M_{ij}$  = importações pelo setor  $i$  no ano  $j$ ;  $BNDES_{ij}$  = montante de financiamento por setor  $i$  no ano  $j$ .

---

<sup>7</sup> Todas as estimativas foram realizadas no R utilizando os seguintes pacotes: `citation("nonparaeff")`, `citation("np")`, `citation("mgev")`, `citation("gamlss")`, `citation("MCMCpack")`, `citation("MCMCglmm")`, `citation("DEoptim")`.

O pacote de produtos a serem maximizados corresponderiam aos objetivos de política pública do BNDES, crescimento do PIB, do emprego agregado e saldo crescente da balança comercial. Nesse sentido, o saldo comercial é decomposto em suas parcelas de exportações e importações, correspondendo essa a um produto indesejável e, portanto, contabilizada como insumo na função de produção, a semelhança do tratamento dado a poluição nos modelos DEA (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007).

Em princípio, não se identificaram restrições do BNDES quanto ao peso mínimo dado a cada um dos produtos. Assim, assume-se que as DMUs teriam liberdade para gestão desses produtos, segundo suas especificidades.

### 3.5.1 Índices de Malmquist

Seguindo a formulação de Färe et al. (FÄRE et al., 1994), o índice de produtividade de Malmquist pode ser dividido em suas parcelas de *catching up* e *frontier shift* conforme a equação (18):

$$\text{PRODch} = \text{EFFch} \times \text{TECHch} \quad (18)$$

$$\text{PRODch} = \left( \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (19)$$

$$\text{EFFch} = D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_0^t(x^t, y^t) \quad (20)$$

$$\text{TECHch} = \left( \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (21)$$

onde  $D_0$  é a função maximizadora da distância relativa,  $x$  são os inputs e  $y$  os outputs.

Os índices de Malmquist obtidos serão corrigidos segundo a abordagem não-radial de Russel (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007), de acordo com as equações (22) a (24):

$$\text{Russel} = (\sum \theta_i / m) / (\sum \theta_r / s) \quad (22)$$

$$(\theta_i = \sum x_{ij} \lambda_j / x_{io}) \quad (23)$$

$$(\theta_r = \sum y_r \lambda_j / y_{ro}) \quad (24)$$

onde,  $m$  – n° de insumos;  $s$  – n° de produtos;  $x_i$  – insumo;  $y_r$  – produto;  $\lambda_j$  – peso da DMU de referência;  $x_{io}$  – insumo da DMU observada;  $y_{ro}$  – produto da DMU observada.

Em complemento, foram calculados índices Technology Gap Ratio – TGR, que medem a razão entre o produto de cada grupo da amostra (um setor econômico) e o produto potencial definido pela metafronteira de eficiência (BATTESE et al., 2004). Esse índice é definido pela equação (25):

$$TGRit = \frac{exit\beta(j)}{exit\beta^*} \quad (25)$$

Sendo  $xit$  o vetor de valores dos insumos,  $\beta(j)$  o vetor paramétrico associado a fronteira estocástica do grupo  $j$  e  $\beta^*$  o vetor paramétrico associado a metafronteira.

Esses índices serão alocados à seguinte função, sobre a qual será aplicada a regressão robusta para eficiência relativa, tendo por base o setor serviço público:<sup>8</sup>

$$Y_{jz} = \beta_0 + \beta_1 Trend + \beta_2 Trend2 + \beta_i \sum X_i + \beta_i \sum Z_i + \varepsilon_j \quad (26)$$

onde,  $j = DMU$ ;  $z = PRODch, EFFch, TECHch, TGR$  (índices de eficiência);  $X_i =$  variáveis contextuais setoriais (cada um dos setores);  $Z_i =$  variáveis contextuais (comércio internacional e HHI). Para cada DMU, cada uma de suas variáveis dependentes (os índices de eficiência) é função das variáveis independentes contextual setorial, comércio internacional, HHI e tendências de curto e longo prazo.

### 3.5.2 Regressão estocástica não linear robusta

A maior parte das abordagens de regressão pode incorrer em problemas de viés na análise DEA em dois estágios<sup>9</sup>. Alternativas para esse problema podem ser endereçadas por meio da técnica de *bootstrapping* (SIMAR; WILSON, 2007, 2011), bem como pela combinação de diferentes métodos de regressão com o objetivo de se minimizar a variância dos erros (JAMES et al., 2013; LEDOLTER, 2013). Foram combinados os seguintes métodos de regressão, tradicionalmente utilizados na pesquisa acadêmica

<sup>8</sup> A escolha desse setor como referência assume que os recursos públicos poderiam ser alternativamente alocados como gasto no próprio serviço público, mantendo-se o orçamento público inalterado.

<sup>9</sup> As estimativas DEA são viesadas para cima, na medida em que a amostra tecnológica é parte do verdadeiro conjunto tecnológico.

(FARAWAY, 2006): mínimos quadrados ordinários (OLS), modelo linear generalizado (GLM), modelo aditivo generalizado (GAM), modelo aditivo generalizado para localização, escala e tipo (GAMLSS), modelo misto cadeia de Markov-Monte Carlo e linear generalizado (MCMC-GLMM) e modelo cadeia de Markov-Monte Carlo linear gaussiano (MCMC-Gaussian Linear).

O problema de otimização estocástica não linear para a combinação das regressões após a aplicação do *bootstrapping* está apresentado no modelo (27), onde  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  and  $w_6$  representam os pesos entre 0 e 1 atribuídos aos vetores dos resíduos das regressões. Esse modelo otimiza os valores de  $w$ , tal que a variância ( $Var$ ) dos resíduos combinados ( $R\hat{i}$ ) seja mínima. Sobre todas as regressões aplicou-se *bootstrapping* e foram recombinadas 100 vezes, permitindo uma distribuição do perfil de  $w$  a ser coletado para a melhor previsão dos escores de eficiência e do modelo de divisão dos pesos. As variâncias residuais foram coletadas assumindo o modelo linear para cada uma dessas regressões vinculando as estimativas de eficiência/divisão de pesos e variáveis contextuais.

$$\min Var(w_1R1 + w_2R2 + w_3R3 + w_4R4 + w_5R5 + w_6R6) \quad (27)$$

$$S.T. \sum_{i=1}^6 w_i = 1 \quad 0 \leq w_i \leq 1 \quad i = 1, 6$$

A técnica de evolução diferencial (DE) foi utilizada para se obter as estimativas de pesos no modelo (27) (THANGARAJ et al. 2010; MULLEN et al. 2011; ARDIA et al. 2011). Esse procedimento foi repetido para cada um dos 12 setores e para cada uma das quatro variáveis dependentes.

Em seguida, por meio do teste de Li Racine (SIMAR; ZELENYUK, 2006) foram realizados testes quanto a igualdade das densidades das distribuições dos escores de eficiência dos doze setores produtivos. A utilização desse teste constitui-se em etapa para identificar especificidades de cada setor que explicariam sua performance de eficiência.

### 3.6 RESULTADOS

A figura 3.3 apresenta o resultado da distribuição ótima dos pesos, a partir das regressões OLS, GLM, GAM, GAMLSS, MCMC-GLMM, e MCMC-Gaussian Linear. A predominância da regressão GAMLSS para os índices de Malmquist e de *catching up* indica forte dependência temporal, pois o modelo GAMLSS permite livre distribuição de parâmetros locais e formas, portanto, respondendo a heterocedasticidade, mas seria falho para lidar com autocorrelação. Devido a essa dependência, um fator inercial tem sido determinante para a promoção desses índices. Adicionalmente, observa-se que esse fator inercial seria menos significativo para o deslocamento da fronteira e para o índice TGR, na medida em que os pesos ótimos estariam distribuídos entre os demais métodos de regressão.

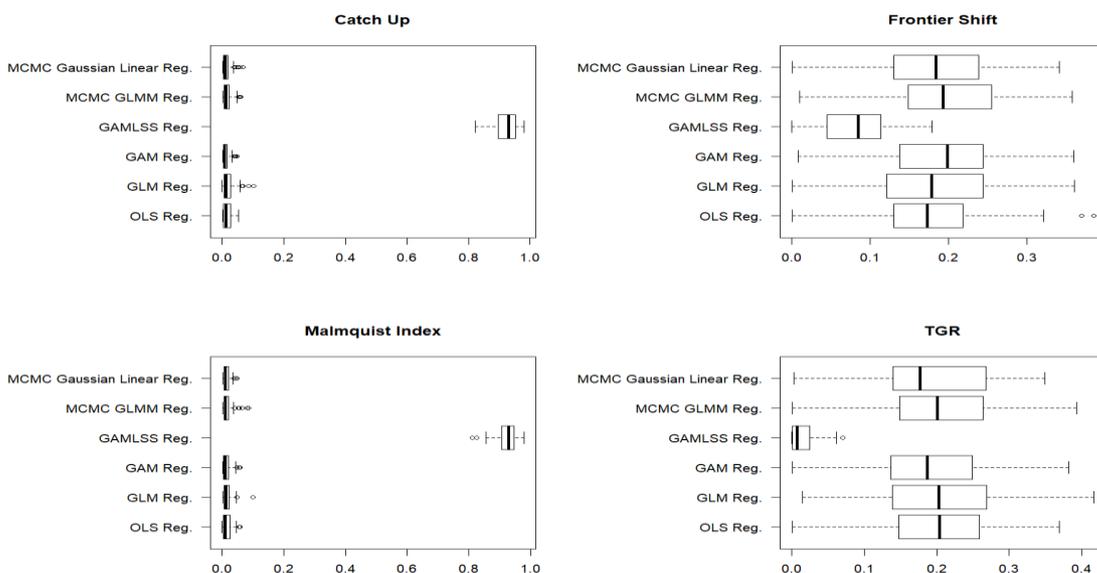


Figura 3.3: Distribuição ótima dos pesos

Por definição, há uma dependência do índice de Malmquist em função dos efeitos *catching up* e *frontier shift*. Entretanto, o resultado de otimização da regressão dos pesos indica uma forte dependência entre os índices Malmquist e de *catching up*, apenas, que seria evidenciado na tabela 3.3, indicativo que esse efeito seria determinante para o índice de Malmquist. Essa dependência indica que o deslocamento da fronteira seria obtido a partir de

fatores externos a economia brasileira; por definição, os efeitos *frontier shift* e *catching up* são negativamente correlacionados, e ambos seriam agregados para se obter os índices de Malmquist (que seriam o efeito total). Nesse correlograma, observa-se uma forte relação negativa entre o TGR e o efeito de deslocamento da fronteira, o que seria um indicativo que os setores produtivos estariam longe da fronteira eficiente. Portanto, na medida em que a metafronteira se desloca, a lacuna tecnológica para todos os setores cresce, e o lento efeito *catching up*, conduzido pelo fator inercial, seria um sinal de dificuldades estruturais que esses setores enfrentariam para ampliar sua eficiência.

Tabela 3.3:  
Correlograma entre os índices de eficiência e o TGR

	<i>Catching up</i>	<i>Frontier Shift</i>	Índice de Malmquist	TGR
<i>Catching up</i>	1	-0,06125257	0,97046913	0,13702230
<i>Frontier shift</i>	-0,06125257	1	0,06263450	-0,43535690
Índice de Malmquist	,97046913	0,06263450	1	0,08045419
TGR	0,13702230	-0,43535690	0,08045419	1

A figura 3.4 apresenta os coeficientes Malmquist por setor produtivo. Para cada setor (DMU), os índices de Malmquist apresentam a distância geométrica em relação a metafronteira. Os dois coeficientes, mudança técnica (*catching up*) e *frontier shift*, mostram os principais vetores que causam o crescimento de eficiência. O primeiro significa que a eficiência do setor se aproxima da fronteira. O segundo indica que a eficiência do setor está crescendo assim como a metafronteira. O efeito de mudança técnica é relevante para a competitividade relativa de cada setor da economia brasileira em relação a metafronteira. Por outro lado, o *frontier shift* indica o caminho da mudança técnica da metafronteira, seja estagnada ou crescente. Para a maioria dos setores, a mudança técnica foi predominante, com exceção do setor financeiro. Isso significa que, ao seguir a trilha de desenvolvimento tecnológico, esses setores não estariam sendo capazes de se mover próximo à fronteira. Considerando a dependência temporal supramencionada, os resultados indicam que o incremento de eficiência para a maioria dos setores

seria lento. Dada a distância entre esses setores e suas respectivas fronteiras eficientes, não se percebe uma clara trajetória de longo prazo no sentido da fronteira eficiente. Para a maioria dos setores, em que o efeito de mudança tecnológica é predominante, os resultados são insuficientes para indicar que se aproximam significativamente da metafronteira.

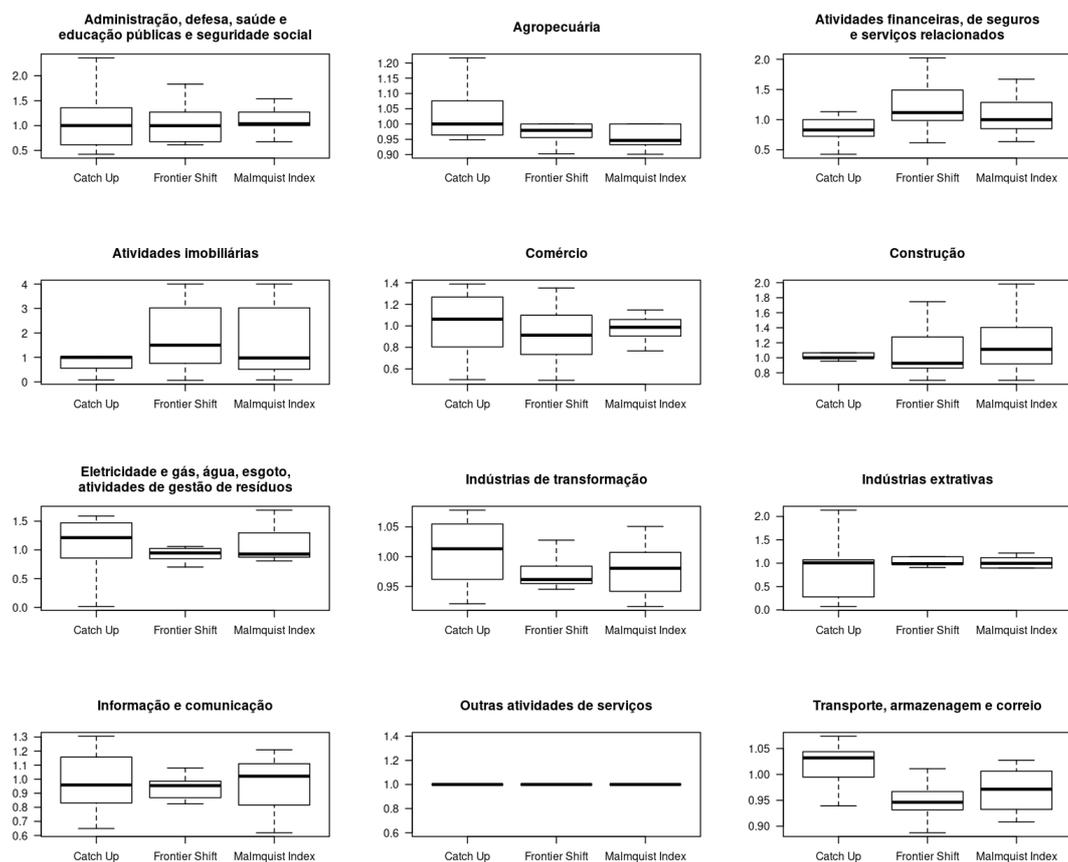


Figura 3.4: Coeficientes para mudança técnica (*catching-up*), *frontier shift* e índice de Malmquist por setor

A figura 3.5 mostra a maioria dos setores distante de suas respectivas fronteiras eficientes, como medido pelo TGR. Exceto para indústria extrativa, cujo TGR é próximo a 1, todos os setores apresentam grande lacuna tecnológica. Ambos, indústria de transformação e agricultura tem TGR de 0,8; enquanto os TGR de serviços são menores. Serviços financeiros, serviços públicos, comércio e construção mostram TGRs inferiores a 0,6; sendo serviços financeiros inferiores aos serviços públicos.

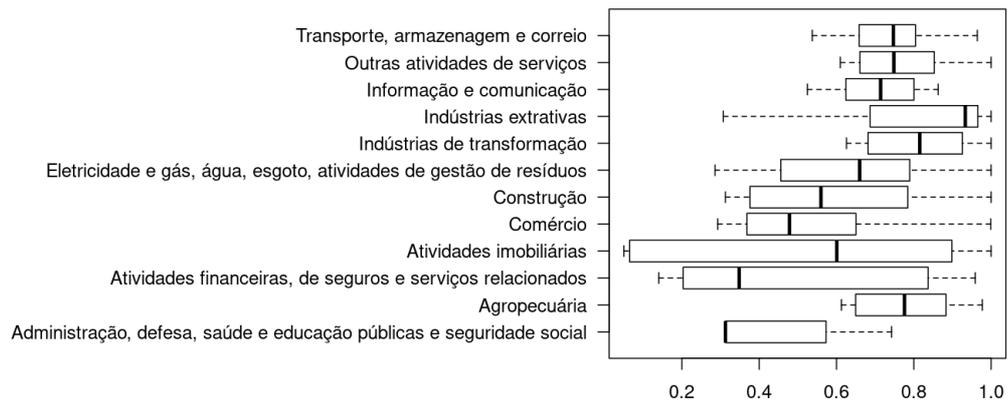


Figura 3.5: Índices TGR por setor

A tabela 3.4 resume os testes de diferenças entre as distribuições para cada setor. Os resultados indicam heterogeneidade entre as distribuições dos setores produtivos. Essa heterogeneidade assume importância, na medida em que se busca testar a influência de especificidades próprias a cada setor sobre seus respectivos índices de eficiência, conforme exposto na tabela 3.5.

Tabela 3.4  
Resultados do teste Li Racine

Setor 1	Setor 2	Catching up		Frontier Shift		Malmquist Index		TGR	
		Tn	Significância	Tn	Significância	Tn	Significância	Tn	Significância
Administração, defesa, saúde e educação públicas e seguridade social	Agropecuária	22.488	0.000	21.859	0.000	26.169	0.000	19.237	0.000
	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	18.417	0.010	27.542	0.000	26.467	0.000	20.298	0.000
	Atividades imobiliárias	14.193	0.000	23.455	0.000	22.180	0.000	18.815	0.000
	Comércio	29.696	0.000	26.975	0.000	26.628	0.000	18.575	0.000
	Construção	32.796	0.000	26.853	0.000	26.007	0.000	18.221	0.000
	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	32.628	0.000	23.739	0.000	26.335	0.000	18.304	0.000
	Indústria de transformação	22.355	0.000	20.143	0.000	23.681	0.000	19.366	0.000
	Indústria extrativa	32.636	0.000	23.386	0.000	27.981	0.000	18.387	0.000
	Informação e comunicação	33.216	0.000	23.430	0.000	18.868	0.000	18.549	0.000
	Outras atividades de serviços	47.244	0.000	52.887	0.000	45.998	0.000	18.332	0.000
Agropecuária	Transporte, armazenagem e correios	21.574	0.000	20.181	0.000	23.251	0.000	18.359	0.000
	Serviços financeiros	8.695	0.000	9.191	0.000	12.897	0.000	24.753	0.000
	Atividades imobiliárias	6.684	0.000	20.137	0.000	22.654	0.000	23.733	0.000
	Comércio	24.647	0.000	22.252	0.000	27.080	0.000	26.210	0.000
	Construção	21.777	0.000	25.775	0.000	21.975	0.000	24.960	0.000
	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	24.776	0.000	24.359	0.000	23.982	0.000	25.142	0.000
	Indústria de transformação	24.554	0.000	26.283	0.000	27.353	0.000	26.925	0.000
	Indústria extrativa	26.023	0.000	24.265	0.000	27.830	0.000	24.551	0.000
	Informação e comunicação	27.049	0.000	26.380	0.000	23.934	0.000	18.111	0.000
	Outras atividades de serviços	34.314	0.000	13.857	0.000	40.731	0.000	26.903	0.000
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	Transporte, armazenagem e correios	19.596	0.000	29.769	0.000	19.157	0.000	26.313	0.000
	Atividades imobiliárias	8.775	0.000	21.930	0.000	25.681	0.000	26.220	0.000
	Comércio	29.998	0.000	21.166	0.000	25.846	0.000	25.483	0.000
	Construção	29.524	0.000	28.371	0.000	28.110	0.000	26.359	0.000
	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	27.986	0.000	26.054	0.000	28.166	0.000	18.520	0.000
	Indústria de transformação	24.007	0.000	21.798	0.000	20.835	0.000	24.471	0.000
	Indústria extrativa	30.432	0.000	26.622	0.000	24.863	0.000	20.974	0.000
	Informação e comunicação	30.265	0.000	25.988	0.000	26.313	0.000	23.677	0.000
	Outras atividades de serviços	37.731	0.000	42.121	0.000	48.085	0.000	24.713	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	23.507	0.000	21.388	0.000	21.577	0.000	23.255	0.000
Atividades imobiliárias	Comércio	32.042	0.000	23.393	0.000	21.182	0.000	24.730	0.000
	Construção	32.090	0.000	23.658	0.000	24.447	0.000	25.449	0.000
	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	33.491	0.000	21.167	0.000	25.076	0.000	25.225	0.000

	Indústria de transformação	20.987	0.000	20.055	0.000	20.169	0.000	23.233	0.000
	Indústria extrativa	30.706	0.000	21.256	0.000	23.846	0.000	20.923	0.000
	Informação e comunicação	24.529	0.000	20.748	0.000	23.894	0.000	23.159	0.000
	Outras atividades de serviços	47.849	0.000	53.674	0.000	52.935	0.000	22.828	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	21.389	0.000	20.177	0.000	20.196	0.000	22.736	0.000
Comércio	Construção	38.025	0.000	27.987	0.000	19.287	0.000	26.491	0.000
	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	19.849	0.000	27.827	0.000	24.150	0.000	18.815	0.000
	Indústria de transformação	22.054	0.000	20.347	0.000	23.700	0.000	25.716	0.000
	Indústria extrativa	26.008	0.000	23.624	0.000	27.113	0.000	19.183	0.000
	Informação e comunicação	27.217	0.000	25.722	0.000	27.057	0.000	25.788	0.000
	Outras atividades de serviços	52.905	0.000	50.132	0.000	51.768	0.000	25.883	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	22.512	0.000	23.232	0.000	24.048	0.000	26.111	0.000
Construção	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	35.840	0.000	25.814	0.000	27.935	0.000	26.849	0.000
	Indústria de transformação	39.116	0.000	18.921	0.000	21.430	0.000	25.115	0.000
	Indústria extrativa	37.584	0.000	26.291	0.000	26.720	0.000	22.099	0.000
	Informação e comunicação	36.734	0.000	27.060	0.000	25.345	0.000	25.314	0.000
	Outras atividades de serviços	-7.650	0.040	51.696	0.000	50.368	0.000	18.547	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	43.711	0.000	21.609	0.000	21.329	0.000	25.081	0.000
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	Indústria de transformação	21.411	0.000	19.774	0.000	21.653	0.000	25.646	0.000
	Indústria extrativa	27.417	0.000	27.665	0.000	24.850	0.000	22.512	0.000
	Informação e comunicação	25.343	0.000	26.898	0.000	25.765	0.000	18.708	0.000
	Outras atividades de serviços	53.391	0.000	51.514	0.000	50.213	0.000	26.118	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	21.269	0.000	22.973	0.000	21.950	0.000	25.670	0.000
Indústria de transformação	Indústria extrativa	22.313	0.000	22.765	0.000	22.638	0.000	22.490	0.000
	Informação e comunicação	24.542	0.000	19.157	0.000	23.387	0.000	27.001	0.000
	Outras atividades de serviços	52.175	0.000	44.874	0.000	53.887	0.000	25.317	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	27.557	0.000	26.454	0.000	27.166	0.000	25.772	0.000
Indústria extrativa	Informação e comunicação	18.841	0.000	27.915	0.000	26.854	0.000	25.799	0.000
	Outras atividades de serviços	52.097	0.000	53.269	0.000	46.067	0.000	24.261	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	23.518	0.000	23.598	0.000	23.258	0.000	25.432	0.000
Informação e comunicação	Outras atividades de serviços	49.130	0.000	52.901	0.000	49.496	0.000	26.548	0.000
	Transporte, armazenagem e correios	22.701	0.000	23.805	0.000	22.703	0.000	26.051	0.000
Outras atividades de serviços	Transporte, armazenagem e correios	56.149	0.000	50.776	0.000	56.219	0.000	18.868	0.000

Utilizando as variáveis contextuais, mostramos os desempenhos de eficiência de cada setor relativamente ao setor serviço público. A tabela 3.5 apresenta a significância estatística (5%) da contribuição de cada variável para os índices *catching up*, *frontier shift*, Malmquist e TGR, respectivamente. Esses índices em seu conjunto indicam que apenas o setor agricultura teria exibido um desempenho superior ao do serviço público, enquanto se aproxima da fronteira. Enquanto a tendência de longo prazo seria positiva para mudança técnica e *frontier shift*, a abertura comercial teve impacto negativo nesses coeficientes e o índice HHI mostrou sentidos opostos para os dois coeficientes. Apesar do impacto negativo, o coeficiente de abertura comercial seria maior e estatisticamente significativo em comparação ao índice HHI. Isso significa que, exceto para o setor agropecuário, para os demais setores econômicos, mudanças nas variáveis contextuais, HHI e abertura comercial tem sido incapazes de diminuir a distância para a metafronteira, relativamente ao desempenho do setor público.

Tabela 3.5:  
Sinais e significância dos coeficientes e variáveis contextuais

Variável	Mudança técnica		Frontier Shift		Índice de Malmquist		TGR	
	Sinal	Significância	Sinal	Significância	Sinal	Significância	Sinal	Significância
Agropecuária	+	*	+	*	+	*	+	-
Construção	-	*	-	*	-	*	+	-
Indústria extrativa	-	*	-	*	-	*	+	-
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	-	*	-	*	-	*	+	-
Informação e comunicação	-	*	-	*	-	*	+	-
Outras atividades de serviços	-	*	-	*	-	*	+	-
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos	-	*	-	*	-	*	+	-
Atividades imobiliárias	-	*	-	*	-	*	+	-
Comércio	-	*	-	*	-	*	+	-
Indústria de transformação	-	*	-	*	-	*	+	-
Transporte, armazenagem e correios	-	*	-	*	-	*	+	-
Comércio internacional	-	*	-	*	-	*	+	-
HHI	-	*	+	*	-	*	+	-
Trend	-	*	-	*	-	*	-	*
Trend2	+	*	+	*	+	*	-	*

Com relação a interpretação econômica desses resultados, primeiramente deve-se ressaltar o pacote específico de produtos e, portanto, a função objetivo a ser maximizada pelos setores: PIB, emprego e saldo comercial. A tabela 3.2, acima, indica que os principais setores geradores de produção seriam a indústria de transformação, administração pública e de serviços. Quanto a geração de empregos, destacam-se outros serviços, comércio, indústria de transformação, agropecuária e administração pública. Apenas no que se refere ao saldo comercial, em que, por definição, a administração pública não gera esse produto, constam outros setores como a agropecuária, indústria de transformação e indústria extrativa. Entretanto, enquanto a primeira apresenta saldo positivo, as demais apresentam os maiores saldos negativos, o que explica o coeficiente negativo da abertura comercial sobre os indicadores de eficiência. Complementarmente, a natureza do saldo comercial positivo, concentrado em commodities agrícolas, seria um indicativo da relevância dos fatores externos para a definição da fronteira de eficiência.

Por sua vez, o impacto negativo do HHI estaria coerente com a proposição teórica da literatura econômica, de que uma menor pressão competitiva estimularia uma alocação ineficiente de recursos, por meio de fixação da quantidade ofertada aquém do nível eficiente de longo prazo.

A revisão de literatura indicou que a abertura comercial seria relevante para a modernização produtiva e alocação eficiente de recursos no longo prazo. Tal processo, contudo, ocorreria por meio de redução de oferta de plantas ineficientes e substituição do fator trabalho por capital, no curto prazo. Nesse sentido, considerando a função objetivo a ser maximizada, o processo de modernização produtiva, por meio de incremento da relação capital/trabalho e abertura comercial, a princípio, seria contraditório a geração dos produtos PIB, emprego e saldo comercial. Dada a predominância observada do fator inercial, o impacto negativo de curto prazo, por parte da variável contextual comércio internacional seria consistente com os demais resultados encontrados. Adicionalmente, esses resultados espelham as conclusões de Samargandi, Fidrmuc e Ghosh (2015), Xuefeng e Yasar (2016), e Shahbaz (2012), na medida em que mostram que o impacto das variáveis contextuais atua de forma diferente no curto e longo prazo.

O modelo de regressão tem implícita premissa limitadora de desembolso imediato do investimento, bem como ausência de defasagem temporal para a maturação do investimento. Para fins de teste de robustez, foi proposta nova regressão, incorporando variáveis *dummy* correspondentes aos períodos temporais das administrações federais dos Presidentes Lula e Dilma, conforme disposto no apêndice.

Os resultados dessa versão de modelo considerando defasagem temporal destacam efeito *frontier shift* positivo, determinado tanto pela abertura comercial, quanto pelas *dummies* temporais. Esse resultado seria um indicativo da relevância de fatores externos temporalmente localizados para o deslocamento da fronteira, por meio de maior volume de comércio exterior e abertura comercial. No que se refere ao índice HHI, manteve-se o sentido de seu impacto sobre a eficiência, corroborando a literatura econômica de que, quanto maior esse índice, menor o nível de concorrência e, conseqüentemente, menor o nível de eficiência. Quanto aos efeitos específicos da heterogeneidade setorial, esses seriam significativos para todos os setores, entretanto, com impacto negativo sobre os índices de eficiência. Tal efeito pode ser interpretado como indicativo de que especificidades estruturais de cada setor produtivo tem persistentemente conduzido a alocação ineficiente dos investimentos financiados pelo BNDES, resultando em um conjunto sub ótimo dos produtos (PIB, emprego e saldo comercial).

### 3.7 CONCLUSÕES

Este artigo oferece um arcabouço teórico e quantitativo que permite a mensuração e identificação do desempenho da política industrial. Um modelo de jogo hierárquico dinâmico que trata o BNDES (maior banco de desenvolvimento brasileiro) e os setores industriais como jogadores – líder e seguidores, respectivamente – mostra que o investimento e desempenho das firmas depende do crédito subsidiado, competição industrial e abertura econômica. Avaliou-se a política industrial brasileira conduzida por financiamentos do BNDES por meio de modelo DEA de dois estágios para a estimação de fronteiras eficientes e identificação de variáveis contextuais para a avaliação de desempenho das firmas (setores).

Conduziu-se uma regressão *bootstrapping* DEA em dois estágios, o primeiro correspondendo a obtenção de índices Malmquist e o segundo conduzindo a regressão robusta desses índices contra o conjunto de variáveis contextuais que representam a heterogeneidade, abertura comercial, concorrência, tendo serviços públicos por *dummy* setorial. Um teste Li-Racine foi realizado para avaliar a heterogeneidade estrutural entre os setores.

Por sua vez, as hipóteses de pesquisa seriam aceitas, na medida em que:

- (i) Observa-se significância tanto da heterogeneidade setorial quanto dos indicadores de abertura comercial e HHI, o que seria indicativo de aceite de H1;
- (ii) A defasagem temporal indica um efeito positivo e significativo do *frontier shift*, coincidindo com o impacto da abertura comercial, de acordo com H2;
- (iii) Apesar do efeito *catching up* negativo, o impacto positivo da abertura comercial sobre o efeito *frontier shift* seria um indicativo de potencial de incremento de eficiência no longo prazo, corroborando H3.

No presente trabalho, identificou-se que os principais receptores de financiamentos por parte do BNDES apresentam-se ineficientes na geração conjunta de PIB, emprego e saldo comercial. Adicionalmente, a implementação da política industrial por meio desses financiamentos não se mostrou suficiente para alavancar a mudança de eficiência na matriz produtiva, observando-se um processo lento e gradual em direção a uma fronteira de eficiência em deslocamento determinado por fatores externos a economia brasileira. Por fim, a relevância do grau de abertura econômica e do nível de concorrência nos setores indicam que a política industrial deve incorporá-los no âmbito de seu planejamento.

Ressaltem-se as limitações do presente estudo, seja na utilização da variável HHI, adequada a medição do nível de concentração em mercados, definidos a partir de um alto grau de substitutibilidade de produtos, seja por seu escopo se ater aos agregados setoriais de PIB, emprego e saldo comercial. Adicionalmente, destaquem-se limitações quanto as premissas implícitas quanto a defasagem intertemporal dos projetos de investimento, ressaltando que, em razão do nível de agregação adotado, assumiram-se as mesmas premissas de

defasagem temporal, a despeito do setor produtivo desagregado, bem como da natureza do projeto de investimento que pode ter diferentes cronogramas de desembolso e fase pré-operacional, correspondente a distintos objetos de inversão como ampliação, modernização, substituição de equipamentos ou novas plantas produtivas

Pesquisas futuras poderiam incorporar defasagens temporais ponderadas por setor, bem como os efeitos nos multiplicadores de produto e emprego de Leontief, a partir de informações de desembolsos de investimentos em itens de bens de capital, por projeto objeto de financiamento do BNDES.

### 3.8 REFERÊNCIAS

AGHION, B. A. (1999). Development banking. **Journal of Development Economics**, 58(1), 83-100.

AMADO, C. A. F., Dyson, R. G. (2009). Exploring the use of DEA for formative evaluation in primary diabetes care: An application to compare English practices. **Journal of the Operational Research Society**, 60(11), 1469-1482.

AMIN, M. (2015). Competition and labor productivity in India's retail stores. **Journal of Asian Economics**, 41, 57–68, 2015.

ANTUNES, A., Cavalcanti, T., Villamil, A. (2015). The effects of credit subsidies on development. **Economic Theory**, 58(1), 1-30.

ARDIA, D., BOUDT, K., CARL, P., MULLEN, K., PETERSON, B. (2011). Differential evolution with DEoptim: An application to non-convex portfolio optimization. **The R Journal**, 3(1), 27-34.

AZAD, M. A. K., MUNISAMY, S., MASUM, A. K. M., SAONA, P., WANKE, P. (2017). Bank efficiency in Malaysia: a use of Malmquist meta-frontier analysis. **Eurasian Business Review**, 7(2), 287-311.

BACHILLER, P. (2009). Effect of ownership on efficiency in Spanish companies. **Management Decision**, Vol. 47 Issue: 2, pp.289-307.

BAHRINI, R. (2015). Productivity of MENA Islamic banks: a bootstrappingped Malmquist index approach. **International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management**, 8(4), 508-528.

BARROT, L. D., CALDERÓN, C., SEVÉN, L. (2018). Openness, specialization, and the external vulnerability of developing countries. **Journal of Development Economics**, 134, 310–328.

BATRA, R. N., CASAS, F. R. (1976). A synthesis of the Heckscher-Ohlin and the neoclassical models of international trade. **Journal of International Economics**, 6(1), 21-38.

BATTESE, G. E., RAO, D. S. P., O'DONNELL, C. J. (2004). A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies. **Journal of Productivity Analysis**, 21, 91–103, 2004

BAUMOL, W. J., PANZAR, J. C., WILLIG, R. D. (1982). Contestable Markets: An Uprising in the Theory of Industry Structure: Reply. **The American Economic Review**, 73(3), 491-496.

BORGHI, R. A. Z. (2017). The Brazilian productive structure and policy responses in the face of the international economic crisis: An assessment based on input-output analysis. **Structural Change and Economic Dynamics**, 43, 62–75.

BRASIL (2011). **Brasil Maior: Inovar para competir. Competir para crescer.** Plano 2011/2014. [http://pnc.cultura.gov.br/wp-content/uploads/sites/16/2012/09/cartilha\\_brasilmaior.pdf](http://pnc.cultura.gov.br/wp-content/uploads/sites/16/2012/09/cartilha_brasilmaior.pdf). Accessed 23 november 2020.

BRIDGMAN, B. (2015). Competition, work rules and productivity. **Journal of Economic Dynamics & Control**, 52, 136–149.

BRITO, G. (2010). Determinantes do investimento das firmas industriais brasileiras: uma análise exploratória com modelos hierárquicos. **Texto para discussão**. CEDEPLAR/UFMG, Belo Horizonte.

CADE. **Guia Análise de Atos de Concentração Horizontal**. Junho, 2016. Disponível em [Análise de Atos de Concentração Horizontal \(cade.gov.br\)](http://www.cade.gov.br). Acesso em 07/11/2020.

CAVALCANTI, T., VAZ, P.H. (2017). Access to long-term credit and productivity of small and medium firms: A causal evidence. **Economics Letters**, 150, 21-25.

CBIC. **Ranking das maiores Construtoras no Brasil**. Disponível em <http://www.cbicdados.com.br/menu/empresas-de-construcao/maiores-empresas-de-construcao>. Acesso em 17/02/2021.

CHANDRAN, V.G.R, MUNUSAMY. (2009). Trade openness and manufacturing growth in Malaysia. **Journal of Policy Modeling**, 31(5), 637–647.

CHEN, C. (2019). Trade liberalization, agency problem and aggregate productivity. **European Economic Review**, 111, 421–442.

CHEN, K., KOU, M., FU, X. (2018). Evaluation of multi-period regional R&D efficiency: An application of dynamic DEA to China's regional R&D systems. **Omega**, 74, 103–114.

CHEN, Y. (2003). A non-radial Malmquist productivity index with an illustrative application to Chinese major industries. **International Journal of Production Economics**, 83, 27–35.

COLBY, S. (2012). Explaining the BNDES: what it is, what it does and how it works. **CEBRI Artigos**, 8(3), 3-31.

COOPER, W., SEIFORD, L., TONE, K. (2007). **Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software**. (2nd ed.). New York, Springer.

CHRISTOPOULOS, D.K. (2007). Explaining country's efficiency performance. **Economic Modelling**, 24(2), 224–235.

DIEESE. (2008). **Política de desenvolvimento produtivo nova política industrial do governo**. Nota Técnica nº 67. <https://www.dieese.org.br/notatecnica/2008/notaTec67PoliticaDesenvolvimento.pdf>. Accessed 23 november 2020.

DING, C., NIU, Y. (2019). Market size, competition, and firm productivity for manufacturing in China. **Regional Science and Urban Economics**, 74, 81–98.

DRIFFIELD, N.L., MICKIEWICZ, T., TEMOURI, Y. (2013). Institutional reforms, productivity and profitability: From rents to competition? **Journal of Comparative Economics**, 41(2), 583–600.

EDWARDS, S. (1998). Openness, productivity and growth: What do we really know? **The Economic Journal**, 108(4), 383-398.

FARAWAY, J. (2006). **Extending the linear model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models**. Boca Raton, Taylor & Francis.

FÄRE, R., GROSSKOPF, S., NORRIS, M., ZHANG, Z. (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. **The American Economic Review**, 84(1), 66-83.

FARIA, J., ANDRADE, J. (1998). Investment, credit and endogenous cycles. **Journal of Economics**, 67(2), 135-143.

FEDER, G. (1983). On exports and economic growth. **Journal of Development Economics**, 12(1-2), 59-73.

FERRAZ, J. C., COUTINHO, L. (2019). Investment policies, development finance and economic transformation: Lessons from BNDES. **Structural Change and Economic Dynamics**, 48, 86-102.

FERRAZ, J. C., ALÉM, A. C., MADEIRA, R. F. (2013). A contribuição dos bancos de desenvolvimento para o financiamento de longo prazo. **Revista do BNDES**, 40, 5-42.

GREASLEY, A. (2005). Using DEA and simulation in guiding operating units to improved performance. **Journal of the Operational Research Society**, 56(6), 727–731.

GUSTAFSSON, P., SEGERSTROM, P. (2010). Trade liberalization and productivity growth. **Review of International Economics**, 18(2), 207–228.

HARRISON, A. (1996). Openness and growth: A time-series, cross-country analysis for developing countries. **Journal of Development Economics**, 48(2), 419-447.

HE, F., ZHANG, Q., LEI, J., FU, W., XU, X. (2013). Energy efficiency and productivity change of China's iron and steel industry: accounting for undesirable outputs. **Energy Policy**, 54, 204-213.

HENRY, M., KNELLER, R., MILNER, C. (2009). Trade, technology transfer and national efficiency in developing countries. **European Economic Review**, 53(2), 237–254.

HONG, J., FENG, B., WU, Y., WANG, L. (2016). Do government grants promote innovation efficiency in China's high-tech industries? **Technovation**, 57-58, 4–13.

HOSSEINI, H., NOURA, A. A., RASHIDI, S. F. (2018). Applications of data envelopment analysis in development & assessment of sustainability. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, 9(7). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090722>

JAMES, G., WITTEN, D., HASTIE, T., TIBSHIRANI, R. (2013). **An introduction to statistical learning: with application in R**. New York, Springer.

JORGENSON, D. (1963). Capital Theory and Investment Behavior. **American Economic Review**, 53(2), 247-259.

KATZ, J. (2000). Structural change and labor productivity growth in Latin American manufacturing industries 1970-96. **World Development**, 28(9), 1583-1596.

KOUNETAS, K., NAPOLITANO, O. (2018). Modeling the incidence of international trade on Italian regional productive efficiency using a meta-frontier DEA approach. **Economic Modelling**, 71, 45–58.

LAZZARINI, S., MUSACCHIO, A., BANDEIRA DE MELLO, R., MARCON, R. (2015). What do state-owned development banks do? Evidence from BNDES, 2002-09. **World Development**, 66, 237-253.

LEDOLTER, J. (2013). **Data mining and business analytics with R**. Hoboken, Wiley, New Jersey.

LI, K., LIN, B. (2015). Measuring green productivity growth of Chinese industrial sectors during 1998-2011. **China Economic Review**, 36, 279-295.

LINARELLO, A. (2018). Direct and indirect effects of trade liberalization: Evidence from Chile. **Journal of Development Economics**, 134, 160–175.

LINS, M. P. E., SOLLERO, M. K. V., CALÔBA, G. M., SILVA, A. C. M. (2007). Integrating the regulatory and utility firm perspectives, when measuring the efficiency of electricity distribution. **European Journal of Operational Research**, 181(3), 1413–1424.

LIU, F-H. F., WANG, P-h. (2008). DEA Malmquist productivity measure: Taiwanese semiconductor companies. **International Journal of Production Economics**, 112, 367–379.

MAKHLOUF, Y., KELLARD, N.M., VINOGRADOV, V. (2015). Trade openness, export diversification, and political regimes. **Economics Letters**, 136, 25–27.

MANTEGA, G. (2005). O BNDES e o novo ciclo de desenvolvimento. **Revista do BNDES**, 12(23), 3-16.

MARCHETTI, D., WANKE, P. (2017). Brazil's rail freight transport: efficiency analysis using two-stage DEA and cluster-driven public policies. **Socio-Economic Planning Sciences**, 59, 26-42.

MELITZ, M., OTTAVIANO, G.I.P. (2008). Market size, trade, and productivity. **Review of Economic Studies**, 75(1), 295–316.

MILLER, S.M., UPADHYAY, M.P. (2000). The effects of openness, trade orientation, and human capital on total factor productivity. **Journal of Development Economics**, 63(2), 399-423.

MISRA, K., MEMILI, E., WELSH, D.H.B., REDDY, S., SYPE, G.E. (2015). Cross country technology gap in Latin America: Growth accounting and non-parametric approaches. **Cross Cultural Management**, 22(4), 630-648.

MULLEN, K., ARDIA, D., GIL, D. L., WINDOVER, D., CLINE, J. (2011). DEoptim: An R package for global optimization by differential evolution. **Journal of Statistical Software**, 40(6), 1-26.

NASREEN, S., ANWAR, S. (2014). Causal relationship between trade openness, economic growth and energy consumption: A panel data analysis of Asian countries. **Energy Policy**, 69, 82–91.

NATARAJ, S. (2011). The impact of trade liberalization on productivity: Evidence from India's formal and informal manufacturing sectors. **Journal of International Economics**, 85(2), 292–301.

NOVAK, A. (2000). A Note on investment, credit and endogenous cycle. In Dockner, E.J., Hartl, R.F., Luptacik, M., and Sorger, G. (Eds.), **Optimization, dynamics, and economic analysis: Essays in honor of Gustav Feichtinger** (pp. 163-169). Berlin, Springer Verlag.

OHKUSA, Y. (1993). Money creation system in the Real Business Cycle theory. **Economics Letters**, 42(3), 367-371.

OLPER, A., PACCA, L., CURZI, D. (2014). Trade, import competition and productivity growth in the food industry. **Food Policy**, 49, 71–83.

PORTELA, M. C. S., CAMANHO, A. S., BORGES, D. (2012). Performance assessment of secondary schools: the snapshot of a country taken by DEA. **Journal of the Operational Research Society**, 63(8), 1098-1115.

REENEN, J.D. (2011). Does competition raise productivity through improving management quality? **International Journal of Industrial Organization**, 29(3), 306–316.

ROMER, D. (2001). **Advanced Macroeconomics**. (2<sup>nd</sup> edition). New York, McGraw-Hill.

ROMER, P. (1990). Endogenous technological change. **Working paper n. 3210. National Bureau of Economic Research**, Cambridge, MA.

SALERNO, M. S., DAHER, T. (2006). **Política industrial, tecnológica e de comércio exterior do governo federal (PITCE): Balanço e Perspectivas**. Brasília, IPEA.

SAMARGANDI, N., FIDRMUC, J., GHOSH, S. (2015). Is the relationship between financial development and economic growth monotonic? Evidence from a sample of middle-income countries. **World Development**, 68, 66–81.

SHAHBAZ, M. (2012). Does trade openness affect long run growth? Cointegration, causality and forecast error variance decomposition tests for Pakistan. **Economic Modelling**, 29(6), 2325–2339.

SIMAR, L., WILSON, P. (2011). Two-stage DEA: caveat emptor. **Journal of Productivity Analysis**, 36(2), 205-218.

\_\_\_\_\_. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. **Journal of Econometrics**, 136(1), 31-64, 2007.

SIMAR, L., ZELEZYUK, V. (2006). On testing equality of distributions of technical efficiency scores. **Econometric Reviews**, 25(4), 497-522.

SCHMITZ, J. (2005). What determines productivity? Lessons from the dramatic recovery of the U.S. and Canadian iron-ore industries following their early 1980s crisis. **Journal of Political Economy**, 113(3), 582–625.

TAHIR, M., AZID, T. (2015). The relationship between international trade openness and economic growth in the developing economies: Some new dimensions. **Journal of Chinese Economic and Foreign Trade Studies**, 8(2), 123-139.

THANGARAJ, R., PANT, M., BOUVRY, P., ABRAHAM, A. (2010). Solving multi objective stochastic programming problems using differential evolution. **Proceedings of the International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing**. Chennai, India.

TOBIN, J. (1969). A General Equilibrium Approach to Monetary Theory. **Journal of Money, Credit and Banking**, 1(1), 15-29.

TORRES, E., ZEIDAN, R. (2016). The life-cycle of national development banks: the experience of Brazil's BNDES. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, 62, 97-104.

TREJOS, S., BARBOZA, G. (2015). Dynamic estimation of the relationship between trade openness and output growth in Asia. **Journal of Asian Economics**, 36, 110–125, 2015.

TURNBULL, C., SUN, S., ANWAR, S. (2016). Trade liberalisation, inward FDI and productivity within Australia's manufacturing sector. **Economic Analysis and Policy**, 50, 41–51.

VARIAN, H. R. (1992). **Microeconomic Analysis**. (3rd ed.). New York, W.W. Norton.

WANG, Q., HANG, Y., SUN, L., ZHAO, Z. (2016). Two-stage innovation efficiency of new energy enterprises in China: A non-radial DEA approach. **Technological Forecasting & Social Change**, 112, 254–261.

WANG, Q., ZHAO, Z., ZHOU, P., ZHOU, D. (2013). Energy efficiency and production technology heterogeneity in China: A meta-frontier DEA approach. **Economic Modelling**, 35, 283–289.

WONG, S.A. (2009). Productivity and trade openness in Ecuador's manufacturing industries. **Journal of Business Research**, 62(9), 868–875.

XUEFENG, Q., YASAR, M. (2016). Export market diversification and firm productivity: evidence from a large developing country. **World Development**, 82, 28–47.

YANG, G., FUKUYAMA, H., SONG, Y. (2019). Estimating capacity utilization of Chinese manufacturing industries. **Socio-Economic Planning Sciences**, 67, 94-110.

YEYATI, E., MICCO, A., PANIZZA, U. (2007). A reappraisal of State-owned banks. **Economía**, 7(2), 209-247.

ZHENG, Q., LIN, B. (2017). Industrial policies and improved energy efficiency in China's paper industry. **Journal of Cleaner Production**, 161, 200-210.

ZHONG, W., YUAN, W., LI, S. X., HUANG, Z. (2011). The performance evaluation of regional R&D investments in China: An application of DEA based on the first official China economic census data. **Omega**, 39(4), 447–455.

**4 3° artigo: “REVELANDO ENDOGENEIDADES ENTRE BEM-ESTAR SOCIAL E PRODUTIVIDADE DO TRABALHO: UMA ABORDAGEM DE CADEIA DE REDES NEURAIIS DE DOIS ESTÁGIOS.”**

“REVELANDO ENDOGENIDADES ENTRE BEM-ESTAR SOCIAL E PRODUTIVIDADE DO TRABALHO: UMA ABORDAGEM DE CADEIA DE REDES NEURAIIS DE DOIS ESTÁGIOS.”

Resumo

Este artigo estima as eficiências intersetoriais do trabalho e suas covariâncias no Brasil entre 2002 e 2016, por meio de um modelo de redes neurais em dois estágios. Investiga-se a existência de relação positiva entre educação e produtividade. No primeiro estágio, uma regressão estática de cadeia de Markov retorna as eficiências quantitativa (volume) e de valor do trabalho (valor adicionado). O segundo estágio executa um modelo de regressão dinâmica entre cada eficiência estimada e variáveis contextuais sociais para revelar endogeneidades advindas de covariâncias entre esse conjunto de variáveis. Covariâncias fortes foram identificadas entre as eficiências e a taxa de fertilidade, sugerindo a ocorrência de uma lacuna relevante entre o setor produtivo e a qualificação da mão de obra, conduzindo a baixos níveis de eficiência no Brasil, como mostrado no modelo teórico. A economia é incapaz de alocar eficientemente o estoque de trabalhadores qualificados.

Palavras-chave: Brasil; eficiência do trabalho, Network DEA; capital humano; taxa de fertilidade

## 4.1 INTRODUÇÃO

Os temas crescimento econômico e desenvolvimento têm sido extensivamente estudados ao longo das últimas décadas, sendo que a diversidade de padrões de crescimento e desenvolvimento entre regiões e países tem desafiado os pesquisadores. Esses tem explicado tais diferenças em razão de especificidades de cada região/país quanto a conjuntos particulares de variáveis sociais (abordagem pelo lado da oferta) e/ou por estruturas econômicas específicas (abordagem pelo lado da demanda).

O conjunto de variáveis sociais inclui o capital humano – educação e saúde (AGASISTI; BERTOLETTI, 2020; ANNABI, 2017; DELALIBERA; FERREIRA, 2019; SHEEHAN; SHI, 2019), expectativa de vida e taxa de fertilidade (ACEMOGLU; JOHNSON, 2007; HUANG; FULGINITI; PETERSON, 2010), e urbanização (DEVKOTA; UPADHYAY, 2016; KUMAR; KOBER, 2012). Entre esses, a educação tem um papel central.

O lado da demanda focaliza na estrutura econômica e mudanças estruturais tanto intersetoriais quanto intrasetoriais (baixa e alta intensidade tecnológica). Pode-se intuir sobre potencial complementariedade dinâmica entre educação e demais variáveis sociais e a estrutura economia promovendo ganhos de produtividade e crescimento econômico, que seria uma promissora linha de pesquisa (TEIXEIRA; QUEIRÓZ, 2016).

Contudo, poucos artigos têm estudado essa complementariedade na vasta literatura econômica sobre produtividade e crescimento econômico. Este artigo preenche essa lacuna ao propor um modelo econômico que estima índices de eficiência intersetorial em relação a metafronteira. Adicionalmente, a literatura nesse tema se concentra em países desenvolvidos como os membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, sendo que a pesquisa referente aos países em desenvolvimento se concentra principalmente na economia chinesa. Este artigo estudo uma economia em desenvolvimento com foco no recente desenvolvimento da economia brasileira.

A pesquisa recente estima modelos paramétricos como mínimos quadrados ordinários – OLS, regressão de dados em painel, e modelos generalizados mistos - GMM. Em geral, nível de produto agregado ou taxa de crescimento são definidas como variáveis dependentes. Essas variáveis

agregadas são não divisíveis, o que dificulta a identificação do processo pelo qual as variáveis sociais independentes impactam a produtividade seja na dimensão volume ou valor adicionado, de forma a nos concentrarmos nos principais determinantes de gargalos para a eficiência global. Para lidar com essa limitação, diversos artigos sobre provisão de serviços públicos (ENTEZAM et al., 2020; GUCCIO; MIGNOSA; RIZZO, 2018; STORTO, 2020; BARRIO-TELLADO et al., 2020) ou indústrias específicas como o setor bancário tem utilizado análise de dados de envoltória em rede de dois estágios (NDEA) com cadeias neurais de Markov (WANKE et al., 2019). Neste artigo, usamos essas metodologias para desagregar a produtividade em ambos os índices de volume e valor adicionado, revelando sua endogeneidade em relação as variáveis sociais selecionadas, respectivamente. Nesse sentido, a principal contribuição deste artigo para o campo de pesquisa seria propor um modelo que investiga em profundidade a relação entre capital humano e crescimento econômico como um processo interno iterativo entre inovação de produto (índice de valor adicionado), inovação de processo (índice de volume) e capital humano (educação), com desempenho heterogêneo entre os diferentes setores econômicos.

De acordo com o modelo teórico, existem dois setores. O setor de transformação seria mais dinâmico por ser aberto ao comércio internacional e maior concorrência, tornando-o mais eficiente. O segundo setor é *non tradable* como serviços, carecendo de abertura e concorrência. Esse setor teria um mecanismo doméstico de transmissão de eficiência associado com esforços de inovação e imitação do setor mais dinâmico de pouca eficácia. O principal problema desse mecanismo de transmissão seria decorrente da baixa qualidade do trabalho. Empiricamente, encontramos as firmas mais eficientes nos setores industriais abertos ao comércio internacional e a concorrência. No sentido oposto, os setores menos eficientes correspondem aos serviços incluindo serviço público, serviço as famílias, financeiros, educação e saúde.

Este artigo está organizado como segue: a próxima seção trata da revisão da literatura. A seção três apresenta a trajetória recente da economia brasileira. Um modelo teórico dinâmico é apresentado na seção quatro, com a seção cinco discutindo sobre os dados e a metodologia apresentado o modelo teórico dinâmico e os modelos NDEA e redes neurais de Markov utilizados para estimar

os índices de produtividade. A seção seis discute os resultados com as conclusões sendo dadas na seção sete.

#### 4.2 REVISÃO DE LITERATURA

Desde os trabalhos seminais de Solow (SOLOW, 1956), Schultz (SCHULTZ, 1960), Becker (BECKER, 1962), e Romer (ROMER, 1990), o capital humano tem sido pesquisado como essencial para o crescimento econômico e o desenvolvimento. Esse fator agrega educação e saúde, sendo acelerado por efeitos de *spillover* decorrentes da oferta de infraestrutura como urbanização e crescimento populacional decorrente de fertilidade crescente. Essa abordagem pelo lado da oferta foca na alocação dos fatores para incrementar a produção. Uma abordagem complementar refere-se aos aspectos do lado da demanda que restringem a viabilidade de maiores níveis de produção.

De Chenery e Syrquin (CHENERY; SYRQUIN, 1989) e Syrquin (SYRQUIN, 1988), a pesquisa sobre crescimento econômico e mudança estrutural leva em consideração fatos estilizados e fontes pelo lado demanda como demanda doméstica e externa, substituição de importações e encadeamentos interindustriais sugerindo padrões de desenvolvimento econômico da agricultura para a industrialização e o setor de serviços. A mudança tecnológica seria intrínseca a dinâmica produtiva caracterizada por um processo gradual de obsolescência de ativos incluindo capital fixo e capital humano. Nesse sentido, o incremento na produtividade do trabalho adviria do investimento agregado, do incremento no estoque de capital físico e da inovação (BAUMANN; KRITIKOS, 2016).

A educação tem um papel principal na composição do fator capital humano. Muitos autores têm encontrado que esse fator aumenta a produtividade tanto em países desenvolvidos (ANNABI, 2017; DELALIBERA; FERREIRA, 2019; BAUMANN; KRITIKOS, 2016) como em países em desenvolvimento (XU; LI, 2010; PELINESCU, 2015; MARIANA, 2015; FLEISHER et al., 2011; ZHANG; ZHUANG, 2011). Esse impacto positivo seria causado por mudanças no mercado de trabalho de empregos informais para empregos formais (SHEEHAN; SHI, 2019), por maiores níveis educacionais e por impactos complementares da educação formal no longo prazo e do treinamento intrafirma no curto prazo (QU;

CAI, 2011), e devido a sua relevância para o crescimento econômico e a mudança estrutural em direção a industrialização (MOUSSIR; CHATRI, 2019).

O efeito positivo da educação formal seria limitado ao ensino superior, enquanto o impacto dos níveis inferiores, fundamental e médio, seria não significativo ou negativo (BENOS; KARIAGINIS, 2016; LEBEDINSKI; VANDENBERGUE, 2014). Somente os maiores níveis educacionais possibilitariam mobilidade social, contudo, seus custos têm crescido a altas taxas (HONG; PANDEY, 2007). Aparentemente, o mercado de trabalho não tem recompensado os trabalhadores qualificados, o que seria sinal de desencontros no mercado de trabalho (KNIGHT; QUHENG; SHI, 2017; HONG; PANDEY, 2007). Esses desencontros se relacionam com ineficiências alocativas, como os subsídios. Nesse sentido, reformas econômicas e desregulações do mercado de trabalho poderiam aumentar a alocação de trabalhadores qualificados (YAO, 2019; MARELLI; SIGNORELLI, 2010; SALAS-VELASCO, 2018).

Os modelos de crescimento e desenvolvimento econômico argumentam que a educação aumenta a produtividade do trabalho por meio de dois mecanismos: inovação e imitação (VANDENBUSSCHE; AGHION; MEGHIR, 2006). Com relação a inovação, a educação pode deslocar a fronteira produtiva eficiente pelo valor adicionado decorrente de novos produtos (e novos insumos que passam a ter valor econômico) ou por novos processos produtivos que permitem mais produção com o mesmo montante de insumos. Como segundo mecanismo, a educação provê uma força de trabalho altamente qualificada que pode utilizar novos produtos e processos, sendo capaz de operar tecnologias mais produtivas.

Vandenbussche, Aghion e Meghir (VANDENBUSSCHE; AGHION; MEGHIR, 2006) estudaram o impacto do capital humano sobre a produtividade por meio de efeitos de inovação (*frontier shift*) e imitação (*catching up*). O nível de capital humano seria dividido entre trabalhadores mais qualificados (*skilled*) e menos qualificados (*unskilled*). Adicionalmente, seu impacto marginal sobre a produtividade dependeria de quão distante a unidade produtiva ou unidade decisória (DMU) estaria da fronteira de eficiência. Próximo à fronteira, o efeito inovador seria predominante, e para pontos mais distantes, o efeito imitação seria mais relevante.

Já o problema de desencontro surgiria da interação entre tecnologia e mercado de trabalho e seria mais relevante para os países em desenvolvimento (MERTZANIS; SAID, 2019). Se esses dois elementos não estão equilibrados, há perda de recursos econômicos (ZOU; YE; YIN, 2019). Esse desequilíbrio viria tanto da falta de trabalhadores qualificados quanto da falta de empregos aos trabalhadores qualificados, devido ao nível tecnológico inferior da estrutura produtiva. Na América Latina, a falta de trabalhadores qualificados seria devida a baixa qualidade dos sistemas de educação pública (HANUSHEK; WOESSMANN, 2012).

Gomes (GOMES, 2014) mostra que o problema do desencontro decorre de um problema de otimização em dois estágios em que se deve decidir quanto investir em educação. No curto prazo, uma nova tecnologia não pode ser adaptada a força de trabalho existente. No longo prazo, surge nova tecnologia, tornando os trabalhadores antigos obsoletos. Por seu turno, a qualificação dessa força de trabalho é custosa e demanda tempo.

Observa-se que a questão do desencontro seria um desequilíbrio entre oferta e demanda no mercado de trabalho. Nesse sentido, uma abordagem pelo lado da demanda seria útil para identificar os limites para o impacto da educação sobre a produtividade. Devido à falta de demanda, os trabalhadores têm dificuldade de assinar contratos de trabalho de longo prazo (ROSTI; CHELLI, 2012), ou são incapazes de encontrar empregos nos setores mais produtivos, migrando para setores menos produtivos como serviços ou serviço público (GRILICHES, 1997). Em ambos os casos, o impacto da educação sobre a produtividade seria reduzido. Outro impacto negativo sobre a produtividade adviria do estímulo a se demitir trabalhadores mais idosos, o que reduziria o treinamento intrafirma (CONEN; DALEN; HENKES, 2012).

Em suma, uma política pelo lado da oferta de aumento do custo de qualificação do trabalho ou pelo lado da demanda de investimento em infraestrutura poderia mitigar esse desencontro (AGENOR; LIM, 2018). O processo de migração de cérebros também pode mitigar o desencontro, desde que as pessoas invistam em capital humano para imigrar para países desenvolvidos (BEINE; DOCQUIER; RAPOPORT, 2001; STARK; HELMENSTEIN; PRSKAWETZ, 1998).

As variáveis sociais remanescentes afetariam indiretamente a produtividade, por meio de suas correlações parciais com a educação. Ambas saúde e expectativa de vida impactariam positivamente as decisões de investimento em educação na medida em que permitem um maior horizonte de rendimentos que pagariam maiores parcelas do gasto pessoal em educação formal (HUANG; FULGINITI; PETERSON, 2010; SILVA; SIMÕES; ANDRADE, 2018). Adicionalmente, o investimento em educação seria estimulado por reduções nos custos de transportes resultantes de maiores níveis de urbanização (DEVKOTA; UPADHYAY, 2016; KUMAR; KOBER, 2012). Com relação a variação na taxa de fertilidade, seu impacto dependeria de seu nível absoluto em uma região/país em particular (BOIKOS; BUCCI; STENGOS, 2013). Por um lado, quando maiores taxas de fertilidade prevalecem, uma redução marginal poderia significar mais poupança a ser alocada no investimento em capital humano (educação formal e qualificação do trabalhador). Por outro lado, caso o nível da taxa de fertilidade seja baixo, um incremento marginal pode influenciar positivamente a produtividade devido a potenciais economias de escala que seguiriam o crescimento populacional.

O impacto da taxa de fertilidade sobre a produtividade ainda é matéria de discussão. Para muitos autores, seu impacto é negativo. Para outros, afetaria positivamente devido a economias de escala, permitindo maior probabilidade do nascimento de gênios, o que poderia gerar inovações. Alternativamente, esse impacto poder variar ou ser menos significativo ou neutro. Boikos, Bucci e Stengos (BOIKOS; BUCCI; STENGOS, 2013) encontraram uma relação não monotônica entre fertilidade e produtividade. Em países menos populosos, o crescimento na fertilidade afetaria positivamente a produtividade. Em países mais populosos, a queda na fertilidade permitiria maior acumulação de capital humano, resultando em incremento na produtividade.<sup>10</sup>

Acemoglu e Johnson (ACEMOGLU; JOHNSON, 2007) afirmam que, na medida em que a maior expectativa de vida aumenta a população, reduz-se a renda per capita. Para vários autores, a saúde pode aumentar o crescimento

---

<sup>10</sup> Del Rey; Garcia, 2019, por meio de um modelo de três gerações sobrepostas, encontraram que a fertilidade aumenta o bem-estar e que a educação poderia não aumentar o bem-estar.

econômico. Bloom e Canning (BLOOM; CANNING, 2000) propõem três vias complementares para essa relação: (i) pessoas saudáveis trabalham mais e melhor; (ii) menor taxa de mortalidade permite maior número de trabalhadores, o que aumenta a produção; e (iii) alta expectativa de vida significa que as pessoas têm que poupar mais para a aposentadoria. Mais ainda, pessoas que vivem mais tem mais tempo para aprender e criar, incrementando o capital humano e a inovação (JACK; LEWIS, 2009).

Huang, Fulginiti e Peterson (HUANG; FULGINITI; PETERSON, 2010) encontraram relação positiva entre expectativa de vida, educação e crescimento. Inovações recompensariam as pessoas tanto pelo seu esforço próprio quanto pelos efeitos de *spillover* decorrentes do estoque de capital humano acumulado pelos antigos. Nesse sentido, maior expectativa de vida permite mais rendimentos sobre investimentos precoces em capital humano. De uma abordagem diferente, Silva, Simões e Andrade (SILVA; SIMÕES; ANDRADE, 2018) encontraram que a saúde incrementa a produtividade, promovendo *catching up*. Essa relação mostra-se heterogênea: quanto mais perto da fronteira, menor o impacto positivo.

Kumar e Kober (KUMAR; KOBER, 2012) encontraram que a expectativa de vida e a urbanização seriam significativas para a produtividade, mas não a educação. O papel positivo da urbanização também foi discutido por Devkota e Upadhyay (DEVKOTA; UPADHYAY, 2016).

O lado da demanda tem por foco a estrutura econômica e mudanças estruturais intersetorial e intrasetorial. A estrutura econômica exerce um papel relevante na acumulação e utilização de capital humano desde que envolve ganhos de produtividade e crescimento econômico (MOUSSIR; CHATRI, 2019; TEIXEIRA; QUEIRÓZ, 2016; ZHANG; ZHUANG, 2011; HONG; PANDEY, 2007).

Segundo a abordagem schumpeteriana de destruição criadora, a dinâmica inovativa do sistema econômico é um processo interativo entre a estrutura produtiva e o capital humano. Na destruição criadora, mudanças tecnológicas levam a sucessivos deslocamentos da fronteira da função de produção. Atualmente, o surgimento da indústria 4.0 sinaliza um processo de deslocamento dessa fronteira, trazendo desafios e oportunidades para a disponibilidade de capital humano devido a rápida e generalizada obsolescência

tecnológica e agregação de novos ativos econômicos (STOCK; SELIGER, 2016).

Ainda segundo a abordagem pelo lado da demanda, o investimento externo direto (IED) pode incrementar a produtividade ao providenciar equipamento e tecnologia moderna, que permitem a absorção de trabalhadores mais qualificados (RAMASAMY; YEUNG, 2010). Contudo, os países em desenvolvimento (GUCCIO; MIGNOSA; RIZZO, 2018), o Brasil, em particular, (GAZONATO; OLIVEIRA, 2019) tem diminuído seu nível de industrialização. Aqui, o processo de mudança estrutural tem seguido no sentido do setor terciário (serviços). Em consequência, há uma tendência inercial para baixo crescimento da produtividade.

O novo padrão da indústria 4.0 pode acelerar esse processo de desindustrialização, alterando o papel do IED como indutor de produtividade. Com base no desenvolvimento das telecomunicações e informática, o processo produtivo tem se organizado por meio de fluxos de dados e sistemas inteligentes descentralizados orientados por todas as etapas iterativas de cadeias de valor e ciclo de vida de produtos em um ambiente de sistemas integrados ciber físicos (STOCK; SELIGER, 2016). O desenvolvimento dos recursos requeridos por esses Sistema é um desafio, especialmente para os recursos humanos. Para os países em desenvolvimento, com lacunas expressivas quanto a produtividade e nível educacional, a indústria 4.0 pode levar a deslocamentos da fronteira de eficiência que aumente essas lacunas e possivelmente coloquem esses países fora de um caminho de *catching up*. Além disso, a indústria 4.0 pode adotar processo de relocação produtiva de forma a buscar vantagens decorrentes de custos de transação e disponibilidade de recursos. Em suma, as firmas poderiam alocar suas atividades de adição de valor próximo aos centros decisórios e de controle (ANCARANI; DI MAURO; MASCALI, 2019).

A tabela 4.1 resume a revisão de literatura sobre o impacto de variáveis sociais na produtividade.

Tabela 4.1:  
Variáveis sociais e produtividade (revisão de literatura)

Variável social	Autor/Ano	Método	País
Capital humano	Xu e Li (2020)	OLS, SLM, and SEM	China
	Benos e Kariagginis (2016)	Panel data	Greece
	Teixeira e Queirós (2016)	GMM	OECD; Mediterranean and Eastern Europe
	Pelinescu (2015)	Panel data fixed effects	Romania
	Zhang e Zhuang (2011) Hong e Pandey (2007)	GMM Univariate and bivariate descriptive analyses; Binomial logistic regression	China USA
	Vandenbussche et al. (2004)	-	OECD
Fatores estruturais	Gazonato e Oliveira (2019)	Input-Output matrix	Brazil
	Moussir e Chatri (2019)	PCA	Morocco
	Bauman (2016)	OLS and Structural model	Germany
	Marelli e Signorelli (2010)	Beta convergence; GMM dynamic panel; fixed effects; cross-section VAR and GMM	EU
	Ramasamy e Yeung (2010)		China
Educação	Agasisti e Bertolotti (2020)	GMM	EU
	Delalibera e Ferreira (2019)	Model simulation Multinomial LOGIT and PROBIT	USA
	Sheehan e Shi (2019)	Two-sector overlapping generation model	27 countries
	Yao (2019)		China
	Mertzanis e Said (2018)	IV/GMM	138 countries
	Velasco (2018)	SFA	OECD
	Annabi (2017)	Overlapping generation model	-
	Mariana (2015)	VAR and VEC	Romania
	Lebedinski e Vandenberghe (2013)	OLS; structural model; GMM	Belgium
	Hanushek e Woessmann (2012)	IV	Latin America
Fleisher et al. (2011)	Fixed effects	China	

	Qu e Cai (2011)	Regression analysis	China
Saúde	Silva et al. (2018) Huang et al. (2010)	Quantile regression Panel data and fixed effects	World World
Urbanização	Devkota e Upadhyay (2016)	GMM fixed effects	Nepal and Albania
Expectativa de vida	Conen et al. (2012)	Logistic regression	Denmark; France; Germany; Italy; Netherlands; Poland; Sweden

OLS – Ordinary Least Square; SLM - Spatial Lagged Model, SEM - Spatial Error Model; GMM – Generalized Mixed Models; PCA – Principal Component Analysis; VAR- Vector Autoregression; IV – Instrumental Variables; SFA – Stochastic Frontier Analysis; VEC – Vector for Error Correction

### 4.3 CONTEXTO

No último século, os países em desenvolvimento administraram recursos domésticos para acelerar seu crescimento econômico de forma a atingir mais altos patamares de desenvolvimento observados nos países industrializados. Na segunda metade do século XX, o Brasil se tornou uma economia industrializada e diversificada por meio de processo anterior de substituição de importações, planejamento e investimento estatal, um exemplo peculiar de padrão acelerado de convergência econômica (SCATOLIN, 1994). O país apresentou rápido crescimento de sua urbanização<sup>11</sup>, redução da taxa de mortalidade infantil e incremento do nível educacional. Contudo, a pobreza e extrema desigualdade reduziram os efeitos positivos desse processo de desenvolvimento.

Nas duas últimas décadas, a despeito de não atingir completamente o nível dos países desenvolvidos, a economia brasileira tem apresentado significativa mudança estrutural com tendência ao declínio relativo nos setores primário (agricultura e extrativismo) e secundário (indústria) e crescimento do terciário (serviços), tanto em termos de geração de produto (Produto Interno Bruto – PIB) quanto emprego (N). Essas tendências podem ser observadas nas figuras 4.1 e 4.2.

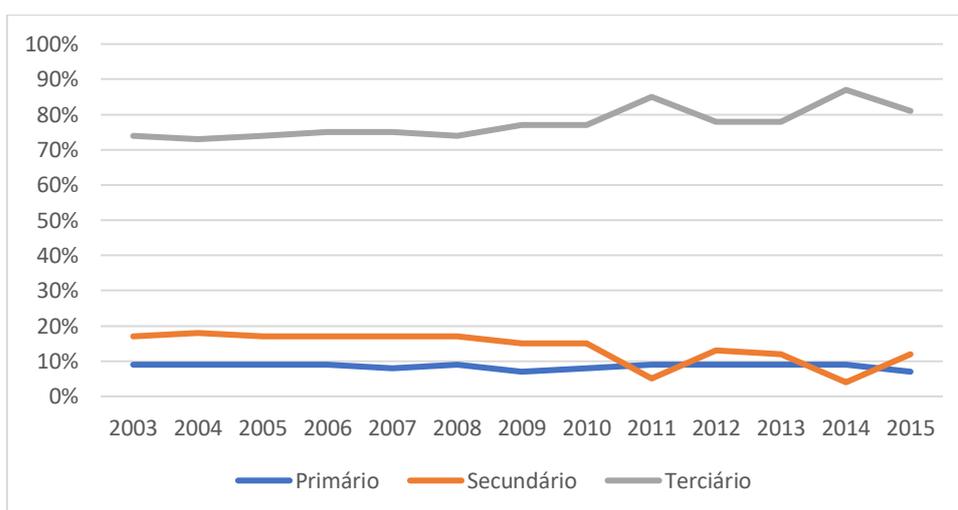


Figura 4.1: Desagregação setorial do PIB.

<sup>11</sup> Seguido por um processo de crescimento de favelas, caracterizadas por falta de oferta de infraestrutura urbana, como serviços de saneamento (DENALDI; MARICATO, 2003; MATION; NADALIN; KRAUSE, 2014).

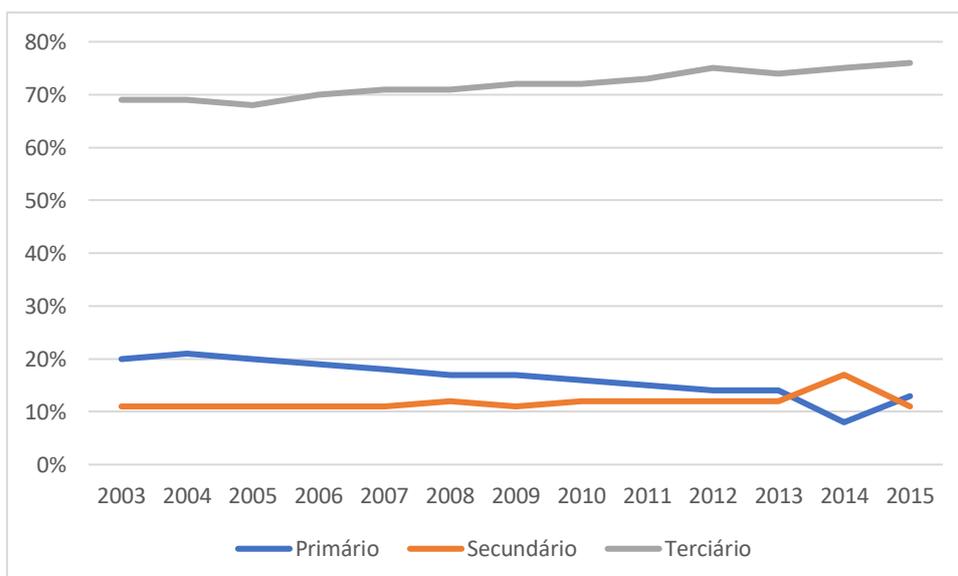


Figura 4.2: Desagregação setorial do emprego.

De 2003 a 2015, novas políticas públicas foram implementadas para promover o crescimento econômico e a redução da pobreza por meio de uma série de ações: suporte público aos investimentos em ampliação de capacidade produtiva industrial, criação de empregos e provisão de infraestrutura; aumento da renda dos trabalhadores e do salário mínimo; e ajuda de estado aos mais pobres e aumento do gasto público em educação. Como resultado, houve redução na desigualdade de renda e aumento no atendimento escolar aos níveis primário e secundário. Entretanto, a performance estudantil ainda é baixa (BERTOLIIN; AMARAL; ALMEIDA, 2019). Essa é uma questão chave porque educação seria relevante para o crescimento econômico, mudança estrutural e mitigação da desigualdade de renda (CURI; MENEZES-FILHO, 2014).

#### 4.4 MODELO TEÓRICO

Nesta seção, desenvolvemos um modelo dinâmico para ilustrar o funcionamento dos parâmetros sociais que influenciam a eficiência produtiva brasileira. Considere dois setores, um aberto ao comércio internacional e mais competitivo, outro relativamente fechado ao comércio internacional. No contexto brasileiro, pense em termos de produtos manufaturados *tradables* e setor de serviços *non tradables*.

Os ganhos de produtividade nos manufaturados  $dM/dt$  dependem da diferença entre a produtividade dos concorrentes internacionais  $M$ , assumida

como fronteira eficiente, e a produtividade doméstica, que é função crescente do capital fixo  $K$  e humano  $H$ , bem como do trabalho não qualificado  $L$ :

$$\frac{dM}{dt} = C(\bar{M} - F(K, H, L)), C' > 0, C(0) = 0 \quad (1)$$

Há duas condições que caracterizam essa equação diferencial e são intuitivamente simples. Primeiro,  $C' > 0$  significa que as firmas domésticas têm incentivo a investir em plantas produtivas para competir nos mercados internacionais, i.e., quando a produtividade internacional for superior a produtividade doméstica, as firmas domésticas investem em capital e/ou trabalho para aumentar sua eficiência produtiva. A segunda condição,  $C(0) = 0$ , determina o nível de equilíbrio do estado estacionário da eficiência produtiva dos manufaturados, i.e., que o equilíbrio de longo prazo existe.

O setor de serviços carece dos benefícios diretos advindos da concorrência internacional. Contudo, obtém algum ganho de produtividade  $dS/dt$  da transmissão de novas técnicas a partir do setor de manufatura. O mecanismo de transmissão é dado pela função  $T$ , que depende do trabalho não qualificado  $L$  empregado nos serviços, como caracterizado por  $T(l)$ ,  $1 > T' > 0$ , assumimos que  $T(l) \leq 1$ . Esse mecanismo captura os efeitos de encadeamento entre ambos os setores em que o mais dinâmico, manufatura, afeta o menos dinâmico, serviços. Especialmente relevante para os esforços de inovação e imitação.

Os investimentos  $f(k, h)$  em capital (humano e fixo) no setor de serviços também são impactados pelo ganho de produtividade líquido de depreciação. Os ganhos de produtividade em serviços  $dS/dt$  são dados por:

$$\frac{dS}{dt} = T(l)F(K, H, L) + f(h, k) - \delta S \quad (2)$$

Onde  $\delta$  é a taxa de depreciação.

O equilíbrio de estado estacionário  $dM/dt = 0 = dS/dt$  retorna, respectivamente:

$$M^* = \bar{M} = F(K^*, H^*, L^*) \quad (3)$$

$$S^* = [T(l)F(K^*, H^*, L^*) + f(h, k)]\delta^{-1} \quad (4)$$

Note que, no longo prazo, o setor doméstico de manufatura converge em termos de eficiência produtiva com seus concorrentes internacionais que estão

na fronteira eficiente,  $\bar{M}$ . Eles alcançam essa convergência ao atingir níveis ótimos de capital (humano e fixo,  $H^*$ ,  $K^*$ ) e trabalho  $L^*$ .

No caso do setor de serviços, esse pode ficar abaixo da fronteira eficiente  $\bar{S}$ , que prevalece internacionalmente, desde que falte mecanismo de equalização dado pelo comércio internacional. A despeito do feedback recebido do setor de manufatura, ainda fica atrás do resto do mundo em termos da fronteira eficiente, o que é dado por:

$$S^* < \bar{S} \Rightarrow [T(l^*)F(K^*, H^*, L^*) + f(h^*, k^*)]\delta^{-1} < [F(K^*, H^*, L^*) + f(h^*, k^*)]\delta^{-1} \quad (5)$$

A figura 4.3 mostra o modelo dinâmico. O equilíbrio de estado estacionário  $E$  é estável e mostra que o estado estacionário do setor de manufatura atinge a fronteira eficiente, enquanto o setor de serviços fica abaixo dela.

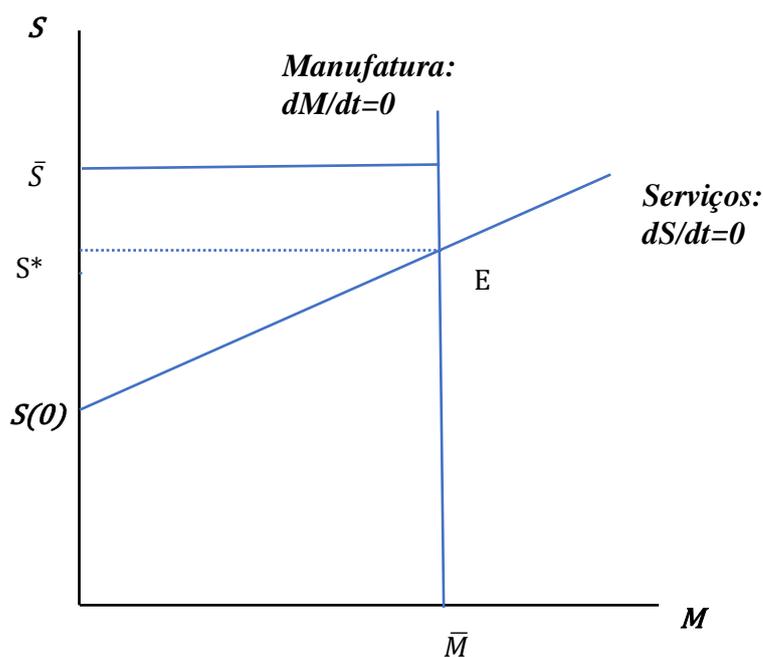


Figura 4.3: Equilíbrio de estado estacionário.

O que seria necessário para o incremento da eficiência produtiva do setor de serviços? Consideramos duas políticas. A primeira consiste em incrementar o mecanismo de transmissão por meio da contratação de trabalho mais qualificado de forma a incrementar  $T(l)$  para um. A segunda política seria investimento de capital ao nível internacional ótimo para atingir. No gráfico, um

incremento na função  $T$  implica em uma maior inclinação  $dS/dt=0$  e uma função mais elevada implica em intercepto maior,  $S'(0)$ . Os efeitos das duas políticas estão descritos na Figura 4.4, que mostra que se pode atingir o equilíbrio  $E'$  sobre a fronteira eficiente adotando-as simultaneamente.

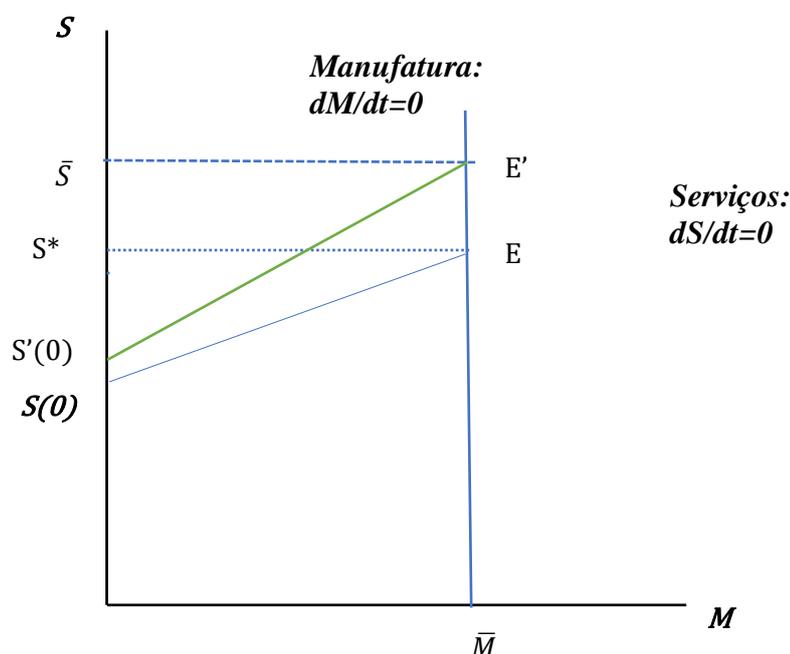


Figura 4.4: Efeitos de política

#### 4.5 DADOS E METODOLOGIA EMPÍRICA

Neste artigo, foram utilizados dados provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Esses dados foram desagregados em subsetores econômicos e unidades federativas para o período de 2003 a 2016. A tabela 4.2 traz as estatísticas descritivas de média e desvio padrão (dp) para o grupo de insumos (trabalhadores ativos, horas trabalhadas, trabalhadores ociosos, salários) e produtos (índices de volume e preços) da função de produção, bem como variáveis sociais contextuais como urbanização, taxa de fertilidade, frequência em educação primária, frequência em educação secundária, índice de GINI, imóvel próprio, expectativa de vida e taxa de mortalidade infantil.

Tabela 4.2:  
Estatísticas descritivas

Categoria	Variáveis	min	max	média	dp
Insumo 1	Trabalhadores ativos	0,00	2.978.216	112.791	268.364
Insumo 1	Horas trabalhadas	40,00	224.764.843	6.921.595	17.307.170
Insumo 1 (Produto Indesejável)	Trabalhadores ociosos	0,00	2.321.109	55.709	157.324
Produto 1/Insumo 2	Índice de volume	0,37	4,31	1,04	0,13
Insumo 2	Salários (R\$)	370,16	11.070.537.862	260.262.266	752.329.765
Produto 2	Índice de preço	0,09	11,28	1,10	0,39
Variáveis sociais contextuais	Urbanização (%)	58,30	97,40	79,90	9,17
	Taxa de fertilidade	1,42	3,33	2,08	0,41
	Frequência de educação primária (%)	81,50	98,90	91,76	3,32
	Frequência de educação secundária (%)	20,60	89,40	50,32	14,14
	GINI	0,42	0,64	0,51	0,04
	Ímovel próprio (%)	58,00	88,30	74,35	5,50
	Expectativa de vida (anos)	66,08	79,50	73,00	2,73
	Taxa de mortalidade infantil (em mil nascidos vivos)	7,17	51,90	19,90	7,21

Obs. Número de observações – 9.450 (28 unidades federadas; 25 setores econômicos). Período 2003-2016.

#### 4.5.1 Modelo Network-DEA

A literatura recente a respeito da análise de eficiência de unidades produtivas (DMUs) tem utilizado modelos paramétricos (Análise de Fronteira Estocástica – SFA), semi paramétricos e não paramétricos (DEA), como discutido por Martins-Filho e Yao (MARTINS-FILHO; YAO, 2011). Particularmente, os modelos DEA são construídos a partir de problemas de otimização com base em programação linear (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Aplicando esses modelos, estima-se a fronteira de eficiência e a eficiência de uma DMU em particular é mensurada como função de sua distância geométrica em relação a referida fronteira. A especificação a seguir apresenta o modelo DEA orientado a insumo (primal) e produto (dual) com retornos variáveis

de escala (VRS). Para estimar esses modelos DEA com retornos constantes de escala (CCR), deve-se remover a restrição  $\sum \lambda_j = 1$ .

<p>DEA-BCC Orientado a insumo Min <math>\theta_i</math> s.t.</p> $\theta x_{io} - \sum x_{ij} \lambda_j \geq 0$ $\sum y_r \lambda_j - y_{ro} \geq 0$ $\sum \lambda_j = 1$	<p>(6) Max <math>\theta_r</math> s.t.</p> $x_{io} - \sum x_{ij} \lambda_j \leq 0$ $\theta y_{ro} - \sum y_r \lambda_j \leq 0$ $\sum \lambda_j = 1$	<p>DEA-BCC Orientado a produto Max <math>\theta_r</math> s.t.</p> $x_{io} - \sum x_{ij} \lambda_j \leq 0$ $\theta y_{ro} - \sum y_r \lambda_j \leq 0$ $\sum \lambda_j = 1$	<p>(7)</p>
---	--	--	------------

onde,  $i = 1, \dots, m$  insumos;  $r = 1, \dots, s$  produtos;  $j = 1, \dots, n$  DMUs;  $x_i$  = insumo;  $y_r$  = produto;  $\lambda_j$  = peso da DMU de referência;  $x_{io}$  = insumo da DMU observada;  $y_{ro}$  = produto da DMU observada.

Para esse modelo, o processo produtivo é simplificado como uma única atividade não-divisível que gera produtos externos a partir de um grupo de insumos externos. Para se aproximar de um processo produtivo real que consiste em uma cadeia de etapas subsequentes, pode ser utilizado um modelo DEA de múltiplos estágios, adicionando uma série de insumos e produtos intermediários ao modelo DEA original.

A partir da abordagem multiplicativa de maximização, ou de seu dual, abordagem envelope de minimização, Kao (KAO, 2014) revisa uma série de estudos no tema NDEA, listados como diferentes categorias de modelos de eficiência: independente, medida da distância do sistema, medida da distância do processo, medida do fator de distância, medida com base em folgas, jogo teórico, com base em valor, sistêmica no formato de razão, processo no formato de razão. Os dois últimos modelos podem ser identificados como relacionais, focando na eficiência do sistema e na eficiência do processo.

Kao e Wang (KAO; WANG, 2008) propuseram um modelo multiplicativo de decomposição em dois estágios que vincula a eficiência global a eficiência de cada processo. Esse vínculo é providenciado pela função de maximização do sistema que agrega cada função de eficiência de processo como restrição. Estudos posteriores lidaram com estruturas paralelas que representam múltiplas unidades produtivas para cada DMU (KAO, 2009), modelos gerais de

decomposição, que se adequam a estruturas seriais, paralelas ou mistas (KAO, 2014), e modelos de eficiência cruzada (KAO; LIU, 2019).

As propriedades positivas desse modelo podem ser resumidas como: (i) modelo estrutural geral de múltiplos estágios – lidando com formas seriais e paralelas; (ii) ausência de restrições como pesos pré-definidos – que resultariam da solução ótima; (iii) permissão para insumos e produtos exógenos internamente aos processos.

Ao contrário, Despotis, Sotiros e Koronakos (DESPOTIS; SOTIROS; KORONAKOS, 2016) apresentam as seguintes críticas ao modelo multiplicativo de decomposição: (i) não unicidade das eficiências de cada estágio – na medida em que seriam fruto do coeficiente de eficiência global; (ii) eficiências de estágios viesadas, a despeito de nenhum peso pré-estabelecido.

Para resolver a não unicidade e o viés, (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016a) propuseram um modelo de composição em dois estágios, uma função biobjetiva que minimiza os insumos externos,  $X$ , e maximiza os produtos finais,  $U$ , por meio de um conjunto comum de insumos/produtos intermediários de ligação,  $Z$ . Posteriormente, essa função seria transformada em um programa linear multiobjetivo (MOLP), que permitiria um conjunto de solução ótima no sentido de Pareto. Portanto, a eficiência global dependeria de que cada ponto de eficiência de estágio seja alcançado. Estudos posteriores na abordagem de composição trataram sobre modelos de múltiplos estágios ou focalizaram no elo fraco como central para tomada de decisão sobre intervenções, propondo eficiência global limitada ao estágio menos eficiente da cadeia processual (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016b).

Os principais pontos positivos do modelo de composição seriam a provisão de soluções ótimas de Pareto únicas e não viesadas. Como ponto negativo, contudo, suas soluções seriam restritas a processos de múltiplos estágios seriais, não lidando com estruturas paralelas ou mistas.

Para lidar com a questão do viés, tanto nossa proposta de modelo, quanto os modelos de decomposição (multiplicativo e aditivo) e de composição discutido e proposto por Despotis, Koronakos e Sotiros (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016a) foram submetidos a testes de diferenças de medianas e informação de entropia, detalhado em anexo. A partir dos resultados de informação de entropia, nosso modelo apresentou maior informação desse

parâmetro, conseqüentemente, sendo selecionado como o modelo menos viesado.

Ambos os modelos de decomposição e composição dividem a mesma estrutura processual, ao menos para processos seriais de múltiplos estágios. Sua principal diferença seria conceitual, desde que o primeiro tem por foco a eficiência global enquanto o último as eficiências de cada estágio (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016a). Levando em consideração a unicidade e o viés, as eficiências dos estágios para cada modelo divergiriam. Para a eficiência global, entretanto, ambos modelos apresentam convergência, na medida em que a solução ótima da abordagem de composição seria factível para a abordagem de decomposição multiplicativa e se aplique a seguinte regra (DESPOTIS; SOTIROS; KORONAKOS, 2016):  $\hat{e}_{jo}^o \leq e_{jo}^o$  (eficiência global do modelo de composição ao menos iguala a eficiência global do modelo de decomposição).

Os testes realizados sugerem que nosso modelo foi o menos viesado. Adicionalmente, sua estrutura multidimensional, como proposto por Kao (KAO, 2014), lidaria com uma lista de DMUs setoriais, cada uma composta por subunidades regionais. Em particular, cada DMU se refere a um setor econômico específico que tem singularidades tanto na produção de maior quantidade per capita quanto adicionado valor por produto. Em complemento, o uso da abordagem de redes neurais na segunda fase do modelo enfrentaria as endogeneidades entre as variáveis, em particular, entre as eficiências dos dois estágios.

Neste artigo, utilizamos um modelo DEA generalizado de estrutura multiestágio (GMSS-DEA), proposto por Kao (KAO, 2014), que converte o sistema em uma estrutura em rede cuja eficiência global seria função da eficiência gerada em cada etapa do processo produtivo. Nesse modelo, a eficiência global ( $\theta_k$ ) é estimada da combinação linear de insumos exógenos (X), produtos exógenos (Y), produtos/insumos internos (Z) e seus multiplicadores,  $v_i$ ,  $u_r$  e  $w_f$ , respectivamente.

$$\max \theta_k = \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$$

S.T

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad \forall j$$

$$\left( \sum_{r \in O^{(1)}} u_r Y_{rj}^{(1)} + \sum_{f \in M^{(1)}} w_f Z_{fj}^{(1)} \right) - \sum_{i \in I^{(1)}} v_i X_{ij}^{(1)} \leq 0, \quad \forall j$$

$$\left( \sum_{r \in O^{(p)}} u_r Y_{rj}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(p)}} w_f Z_{fj}^{(p)} \right) - \left( \sum_{i \in I^{(p)}} v_i X_{ij}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_f Z_{fj}^{(p-1)} \right) \leq 0,$$

$p = 2, \dots, (q-1); \forall j$

$$\sum_{r \in O^{(q)}} u_r Y_{rj}^{(q)} - \left( \sum_{i \in I^{(q)}} v_i X_{ij}^{(q)} + \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_f Z_{fj}^{(q-1)} \right) \leq 0, \quad \forall j$$

$$u_r \geq \epsilon, \quad \forall r$$

$$v_i \geq \epsilon, \quad \forall i$$

$$w_f \geq \epsilon, \quad \forall f$$

(8)

onde,  $i = 1, \dots, m$  insumos;  $r = 1, \dots, s$  produtos;  $f = 1, \dots, g$  insumos intermediários;  $j = 1, \dots, n$  DMUs;  $k =$  número total de etapas;  $p =$  número de etapas intermediárias;  $q =$  etapa final.

A especificação seguinte traz os multiplicadores advindos da solução ótima do sistema, folgas, e número de etapas internas. Adicionalmente, estabelece a restrição que a folga total do sistema deve igualar a soma de todas as folgas de cada etapa.

$$\theta_k = \left( \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \right) = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} = 1 - s_k^*$$

$$\theta_k^{(1)} = \left( \sum_{r \in O^{(1)}} u_r^* Y_{rk}^{(1)} + \sum_{f \in M^{(1)}} w_f^* Z_{fk}^{(1)} \right) / \left( \sum_{i \in I^{(1)}} v_i^* X_{ik}^{(1)} \right)$$

$$\theta_k^{(p)} = \left( \sum_{r \in O^{(p)}} u_r^* Y_{rk}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(p)}} w_f^* Z_{fk}^{(p)} \right) / \left( \sum_{i \in I^{(p)}} v_i^* X_{ik}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_f^* Z_{fk}^{(p-1)} \right),$$

$p = 2, \dots, q-1$

$$\theta_k^{(q)} = \left( \sum_{r \in O^{(q)}} u_r^* Y_{rk}^{(q)} \right) / \left( \sum_{i \in I^{(q)}} v_i^* X_{ik}^{(q)} + \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_f^* Z_{fk}^{(q-1)} \right)$$

$$s_k^* = \sum_{p=1}^q s_k^{(p)*}$$

Devido a restrição das folgas o modelo busca pela eficiência global ótima, apesar de não assegurar a eficiência ótima para cada estágio. Neste artigo, o processo NDEA é aplicado a uma amostra de DMUs que se referem aos diferentes setores econômicos. Nesse sentido, esperamos diferentes pesos para cada estágio e para cada setor econômico. Por meio de regressão robusta, buscamos estimar a eficiência de cada setor e o efeito de cada estágio em cada setor.

Neste artigo, o processo DEA consiste em dois estágios subsequentes que combina abordagem do volume físico e do valor adicionado de forma a se obter a eficiência global como resultado da combinação ótima de eficiência dos recursos humanos (HR) e eficiência o valor adicionado (VA), respectivamente. A figura 4.5 mostra o processo DEA em que insumos externos são processados resultando em produtos externos e intermediários, com o último conectando os dois estágios.

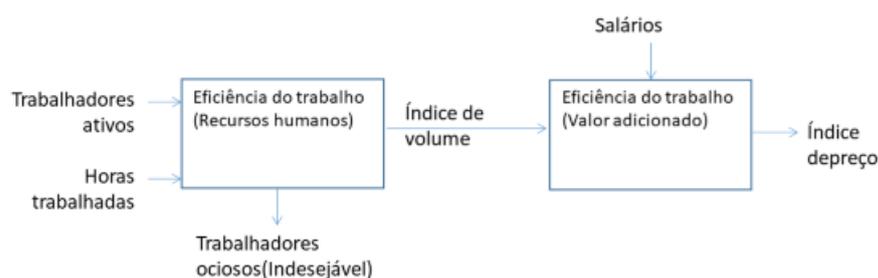


Figura 4.5: Processo DEA em dois estágios

#### 4.5.2 Endogeneidade – abordagem do algoritmo de multicamadas (MLP) e modelo oculto de Markov (HMM)

Em geral, os modelos econométricos tratam a endogeneidade das variáveis dependentes em relação aos erros buscando destacar um sentido para

a relação de causa e efeito entre variáveis independentes e dependente, segundo o modelo teórico proposto. A endogeneidade das variáveis implica que qualquer sentido causal deve ser removido. Neste artigo, nosso objetivo é relevar endogeneidades entre cada índice de eficiência e variável social por meio dos seguintes modelos:

$$\text{Model 1: } HR = VA + FR + U + PF + SF + G + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 2: } VA = HR + FR + U + PF + SF + G + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 3: } FR = HR + VA + U + PF + SF + G + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 4: } U = HR + VA + FR + PF + SF + G + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 5: } PF = HR + VA + FR + U + SF + G + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 6: } SF = HR + VA + FR + U + PF + G + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 7: } G = HR + VA + FR + U + PF + SF + OH + LE + YMR$$

$$\text{Model 8: } OH = HR + VA + FR + U + PF + G + SF + LE + YMR$$

$$\text{Model 9: } LE = HR + VA + FR + U + PF + G + OH + SF + YMR$$

$$\text{Model 10: } YMR = HR + VA + FR + U + PF + G + OH + LE + SF$$

onde:

HR – eficiência dos recursos humanos

VA – eficiência do valor adicionado

FR – fertilidade

U – urbanização

PF – frequência ao Ensino primário

SF – frequência ao ensino secundário

G – índice de GINI

OH – imóvel próprio

LE – expectativa de vida

YMR – taxa de mortalidade infantil

O peso de cada modelo para explicar as endogeneidades advém das variâncias e covariâncias de seus respectivos erros  $R_i$ . Esses erros são minimizados, simultaneamente, por meio da resolução de um problema de otimização não linear estocástica, conforme equação (9), onde  $w_i$  significa os pesos assinalados em uma faixa de 0 a 1, respectivamente, para o vetor de erros de cada modelo. Resolvemos essa equação utilizando a técnica de evolução diferencial (DE), um algoritmo genético que emula o processo de seleção natural

de forma evolucionária, conforme detalhado em Ardia et al. (ARDIA et al., 2011) e Mullen et al. (MULLEN et al., 2011).

$$\min \left[ \text{Var} \left( \sum_{i=1}^{10} w_i * R_i \right) + \left( \sum_{i,j=1}^{10} \text{Covar} (w_i * w_j * R_i * R_j), i \neq j, j < i \right) \right] \quad (9)$$

s. t.  
 $\sum_{i=1}^{10} w_i = 1$

$$0 \leq w_i \leq 1 \forall i$$

onde,  $R_i = 1, \dots, i$  resíduos dos modelos;  $R_j = 1, \dots, j$  resíduos dos demais modelos;  $w_i = 1, \dots, i$  pesos dos resíduos de cada modelo;  $w_j = 1, \dots, j$  pesos dos resíduos dos demais modelos.

Por meio do método de *bootstrapping*, os resíduos dos modelos MLP foram recombinados 100 vezes com base no modelo HMM, portanto, permitindo um perfil de distribuição de  $w$  a ser selecionado para a melhor previsão de escores de eficiência e variáveis sociais e para a melhor previsão do modelo de distribuição de pesos. Um modelo HMM é um modelo gráfico usualmente utilizado para modelagem de dados temporais. Diferente dos modelos tradicionais de Markov, caracteriza-se por ser um processo estocástico inserido em outro processo estocástico (a sequência de estados), que é oculto (ZHANG; NING; LIU, 2009). Devido a sua flexibilidade e eficiência computacional, modelos HMM tem sido largamente aplicado em diferentes campos, como no setor bancário (WANKE et al., 2019). A abordagem estocástica HMM desenvolvida neste artigo permite a exploração de endogeneidades dessas variáveis em termos de estados iniciais probabilidades de transição.

#### 4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mostrado na figura 4.6, a eficiência agregada está longe da fronteira, em ambos os modelos CCR (CRS) e BCC(VRS). Considerando os índices de eficiência por setor econômico, particularmente o índice HR (figura 4.7), pode ser visto que as DMUs mais eficientes correspondem aos setores industriais em que as exportações e a intensidade de capital exercem papel relevante como borracha, couro e tabaco; indústria extrativa mineral; energia e comunicações; material de transporte; máquinas e equipamentos; madeira e

mobiliário. No lado oposto, os setores menos eficientes correspondem aos serviços como públicos, as famílias, financeiros, educação e saúde. Esses resultados corroboram o modelo teórico e a revisão de literatura, que a indústria seria fundamental para promover e espalhar incremento de produtividade por toda a economia, por meio de ambos os esforços de inovação e imitação. Levando-se em consideração que a indústria tem diminuído sua posição relativa no PIB e no emprego, isso pode ajudar a interpretar os resultados agregados distantes da fronteira, mostrados na figura 4.6.

Em média, cada setor apresenta pouca diferença na geração de valor adicionado, sinal de que o investimento em modernização e ganhos de produtividade estaria concentrado na produtividade física dos recursos humanos, apenas. Esse índice HR estaria próximo à fronteira para telecomunicações e material de transporte, sugerindo que a modernização ocorreu principalmente para a substituição do fator trabalho, significando um aumento na relação capital/produto. Nesses dois setores, as firmas líderes, multinacionais intensivas em capital, tradicionalmente incorporam tecnologia por meio de importações<sup>12</sup>. Para o índice VA, distante da fronteira, a homogeneidade estrutural sugere déficit de inovações por parte dos setores industriais que poderia gerar valor adicionado de forma dinâmica. Como discutido na seção contexto anterior, os setores industriais estão gradualmente perdendo participação na economia brasileira, o que implicaria em série de gargalos para a difusão da eficiência HR para toda a economia.

---

<sup>12</sup> Estatísticas brasileiras de saldo comercial disponíveis em <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/balanca-comercial-brasileira-acumulado-do-ano>.

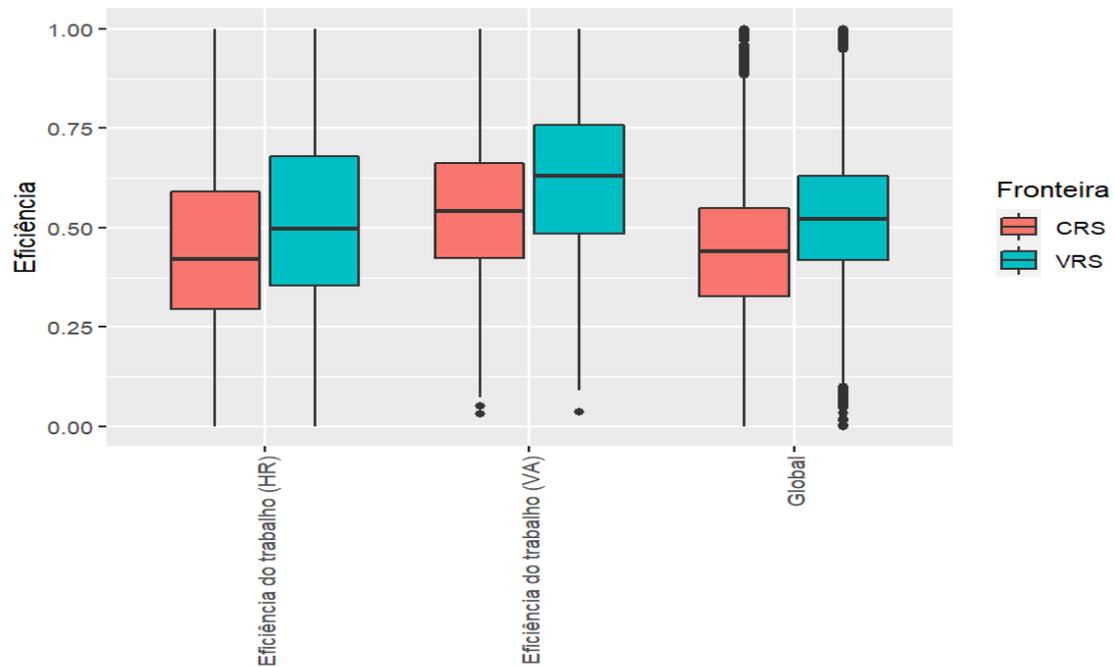


Figura 4.6: Índices HR, VA e global

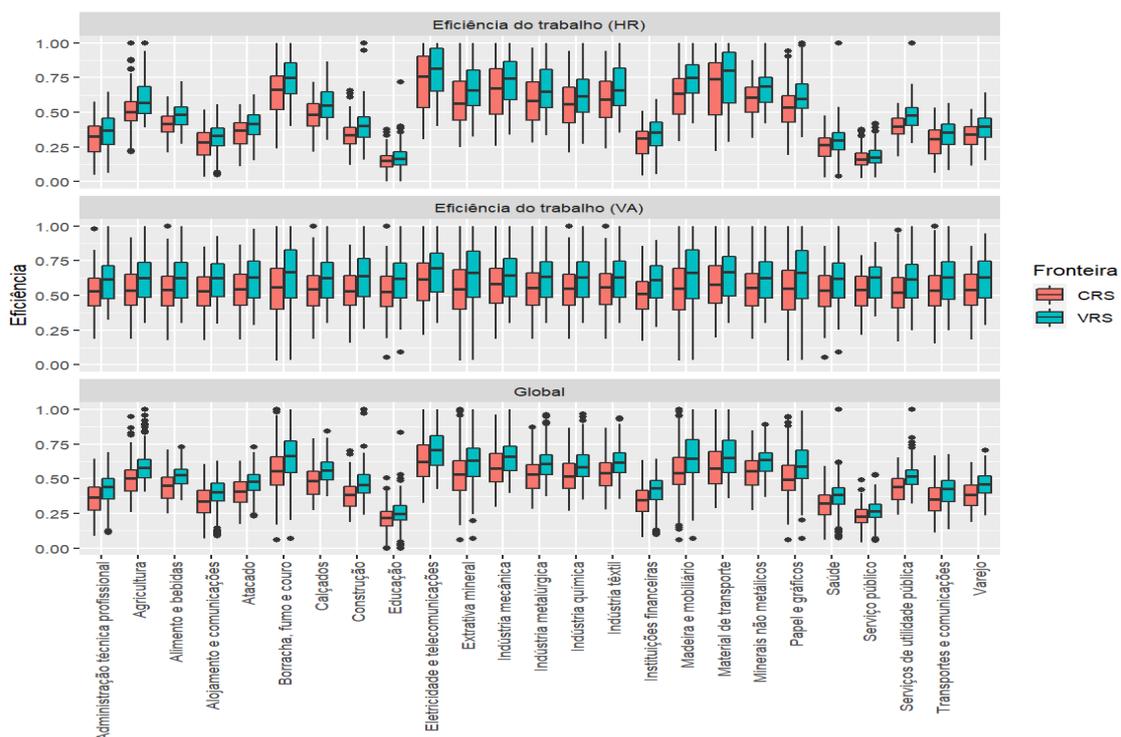


Figura 4.7: Dispersão setorial dos índices HR, VA e global

A figura 4.8 traz a importância de uma série de variáveis para o desempenho da eficiência. Ao lado do impacto negativo dos salários, que seriam parte do modelo, na medida em que salários são contabilizados como insumos, interessante se notar que nenhuma economia de escala foi observada. A eficiência HR seria mais relevante para pequenas firmas que são mais intensivas

em trabalho. Para elas, políticas de ajuda de Estado, como o Sistema Integrado de Pagamento de Impostos e Contribuições das Microempresas e Empresas de Pequeno Porte - SIMPLES<sup>13</sup>, somente ajudam a sua manutenção, insuficientes para permitir a convergência para a fronteira tecnológica. Para concluir, o envelhecimento da força de trabalho apresenta impacto negativo sobre a produtividade, confirmando a revisão de literatura. Esse fato traz desafios para a trajetória tecnológica, considerando-se que a estrutura demográfica brasileira está gradualmente assumindo um formato maduro. Outro desafio seria a questão das aposentadorias e renda dos mais velhos, na medida em que os incentivos econômicos levariam as empresas a oferecer empregos aos mais jovens, preferencialmente.

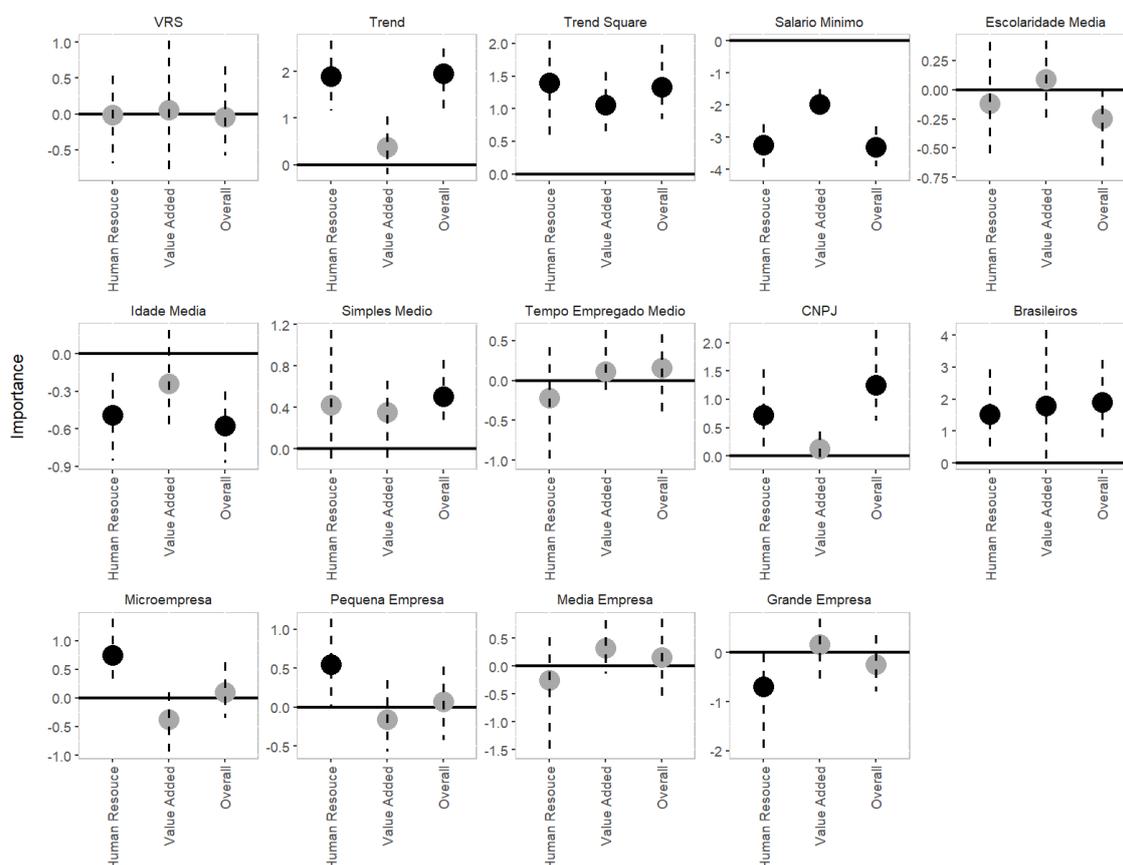


Figura 4.8: Variáveis contextuais e desempenho dos índices de eficiência

A endogeneidade entre os índices de eficiência e as variáveis sociais contextuais mostra que somente a fertilidade exerce um papel relevante no desempenho da produtividade, como descrito na figura 4.9. Isso significa que os

13 Lei nº 9.317/1996.

índices de produtividade e a fertilidade seriam mutuamente relacionados. As demais variáveis sociais como educação, saúde, urbanização e redução da desigualdade não foram afetadas pelos índices de produtividade, nem permitiram que se alcança-se maior nível de produtividade. Adicionalmente, como parte do mesmo processo produtivo, como etapas sucessivas, cada eficiência apresenta covariância positiva com a outra, reforçando a eficiência global.

De acordo com a revisão de literatura, esses resultados sugerem que a trajetória de longo prazo enfrentará severos obstáculos estruturais para o crescimento sustentável e incremento de produtividade. A taxa de fertilidade seria vinculada a oferta do fator trabalho, o que providenciaria uma vantagem comparativa espúria de curto prazo, dependente de custos declinantes da mão de obra. Esses custos, principalmente os salários, estariam vinculados a pressão crescente para a desregulamentação do mercado de trabalho. No longo prazo, contudo, altos níveis de produtividade seriam dependentes da intensidade do capital e do capital humano, como educação e saúde. Essas variáveis do capital humano não têm sido capazes de permitir impacto significativo na promoção de produtividade nas firmas brasileiras. Adicionalmente, maior intensidade de capital significa maior poupança de empregos, o que dado o crescimento populacional acelerado pela taxa de fertilidade poderia resultar em desemprego estrutural mais elevado e piora no índice de GINI e, conseqüentemente, incremento na pobreza.

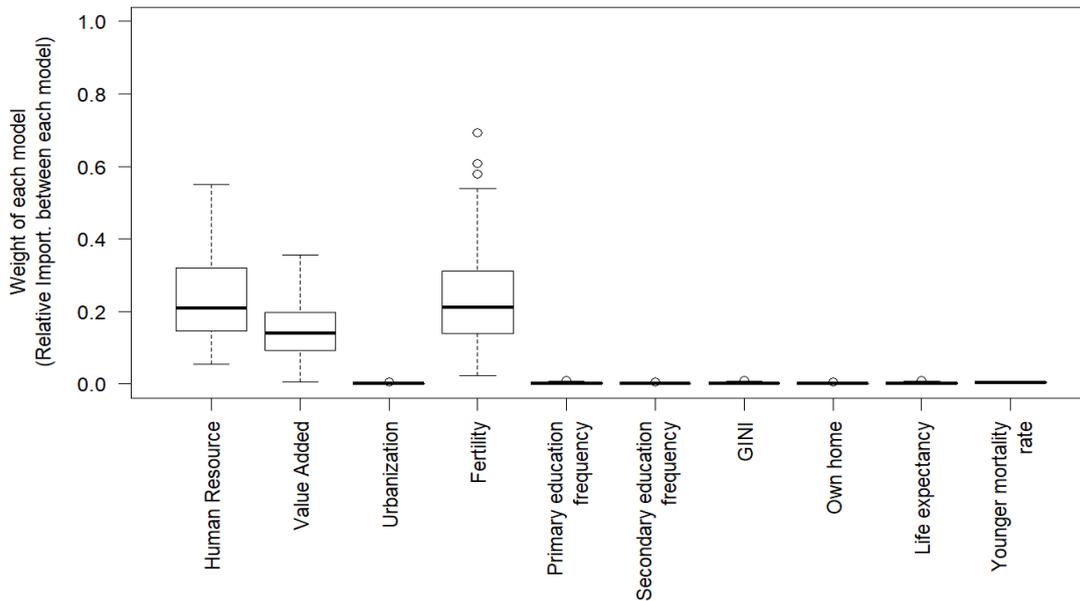


Figure 4.9 – Pesos dos modelos

Uma análise mais detalhada a respeito da covariância dos pesos de cada modelo nos permitiu propor o diagrama da figura 4.10, que traça as rotas das covariâncias correspondentes a todas as variáveis sociais. Nesse diagrama, o sentido de cada seta indica o peso de uma variável no modelo de outra variável, enquanto sua cor indica covariância positiva (azul) ou negativa (vermelho).

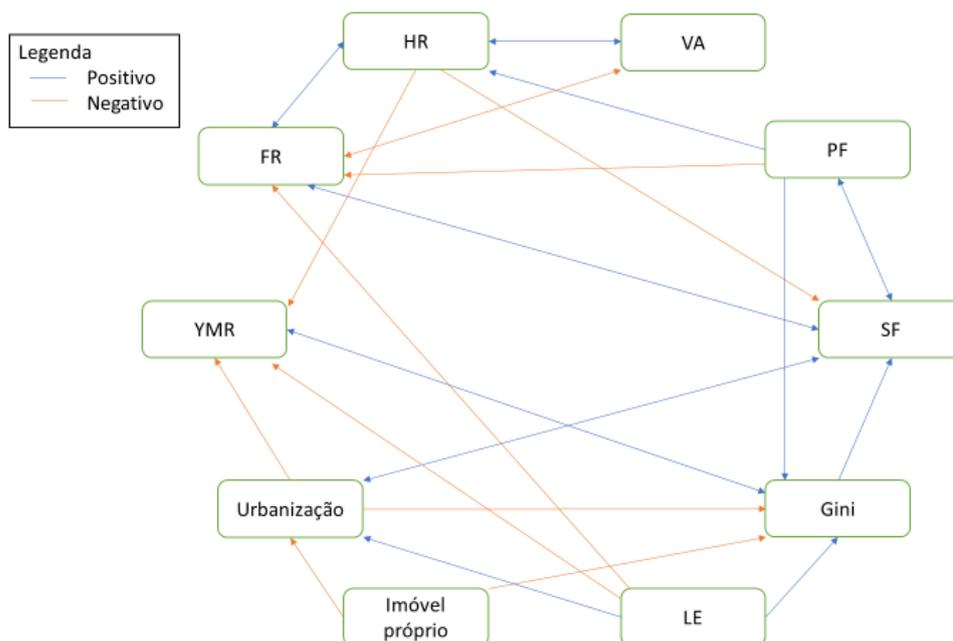


Figure 4.10: um diagrama para o traçado da endogeneidade

O comportamento entre cada par de variáveis sociais pode ser analisado como se segue. Em ambos os níveis primário e secundário, a frequência educacional estaria vinculada, já que esses complementam o sistema educacional e a respectiva política pública.

A urbanização permite economias locais, providenciando acesso mais fácil à escola e a uma cesta mais ampla de serviços privados e públicos. Por outro prisma, quanto mais urbanizada uma área, mais caros são a terra e os imóveis. Portanto, seria mais difícil para migrantes de áreas rurais e pobres adquirir o imóvel próprio.

Melhor padrão de vida, mais renda e produtividade ajudariam a reduzir a mortalidade infantil, na medida em que signifique melhor acesso a dietas mais ricas, medicamentos, sistema de saúde e creches, possibilitando um incremento no padrão de saúde, em média.

Como mencionado acima, apenas o modelo de fertilidade mostrou significância com a covariância dos erros dos índices de eficiência. Juntamente com os resultados da figura 4.8, seu impacto negativo sobre VA e positivo em HR sugere que a fertilidade teria um impacto marginal em atividades intensivas em trabalho, como as pequenas firmas. Esse tipo de DMU seria comum em setores de baixa tecnologia como serviços, alimentos e bebidas, comércio varejista e educação. Comparados aos resultados da figura 4.7, esses setores estão distantes da fronteira eficiente HR, o que ajuda a explicar seu pequeno impacto positivo sobre o índice HR agregado.

Esse efeito marginal positivo seria limitado às atividades intensivas em trabalho com baixo nível de HR. De acordo com Vandebussche, Aghion e Meghir (VANDENBUSSCHE; AGHION; MEGHIR, 2006), nessas atividades, o efeito imitação teria um maior impacto sobre o nível de eficiência ao se utilizar mão de obra não qualificada para a convergência. Contudo, a homogeneidade intersetorial dos índices VA seria indicativa de fortes restrições estruturais que prejudicam essa estratégia tecnológica na medida em que sua operacionalização toma a forma de modernização produtiva por meio de incremento da razão capital/produto.

Adicionalmente, as endogeneidades entre taxa de fertilidade e educação mostram sinais distintos, dependendo do nível educacional. Em primeiro lugar, uma covariância negativa entre taxa de fertilidade e educação primária

significaria que as pessoas que estão alocando seu tempo nesse nível educacional têm sido mais remuneradas pelo HR crescente nos empregos de menor nível tecnológico, o que adiaria a fertilidade em idade precoce. Contrariamente, a alocação de tempo na educação secundária não tem permitido a ocupação de empregos melhores. Ao invés disso, a frequência a educação secundária permitiria uma maior interação social, o que potencialmente poderia ampliar a taxa de fertilidade.

A despeito da literatura econômica postular um impacto positivo da educação sobre a produtividade, indiretamente acelerado por outras variáveis sociais como urbanização, saúde e expectativa de vida, este artigo não encontrou que essas variáveis tenham tido pesos significativos nos modelos de HR e VA. Em termos estruturais, não se pode observar que o trabalho qualificado tem sido plenamente alocado de forma a se atingir efeitos inovação e imitação. Apenas a educação primária mostrou impacto positivo, mas de pequeno peso no índice HR, o que significaria que a modernização produtiva poderia se estagnar brevemente, devido as barreiras estruturais.

#### 4.7 CONCLUSÕES

Este artigo estima as eficiências do trabalho intersetoriais e suas covariâncias no Brasil de 2003 a 2016 usando um modelo de redes neurais e dois estágios. Investiga endogeneidades entre eficiência de produtividade e bem-estar social mensurado por variáveis sociais, principalmente, educação. Tomando o processo produtivo por uma sucessão de etapas de transformação de insumos em produtos permite que se analise a produtividade em ambos os aspectos físico e valor adicionado, destacando sua dinâmica interna iterativamente. Adicionalmente, mostra como as variáveis sociais interagem no processo para incrementar a produtividade.

A desagregação setorial permite uma análise mais detida sobre as endogeneidades das variáveis. Permite descrever o desempenho específico da eficiência de cada setor em ambos os índices HR e VA. As abordagens pelo lado da oferta e da demanda se complementam para revelar o processo de geração de produtividade e suas endogeneidades.

O modelo teórico, em linha com a literatura, mostra uma economia de dois setores, o mais dinâmico aberto ao comércio internacional e exposto a mais concorrência. O setor de *non tradables*, menos eficiente, carece de abertura e concorrência e sofre da insuficiência de um mecanismo de transmissão doméstico dos esforços de inovação e imitação do setor dinâmico. A baixa qualificação do trabalho seria o principal problema desse mecanismo de transmissão. Empiricamente, no Brasil, encontramos as firmas mais eficientes nos setores industriais abertos ao comércio e concorrência. Em sentido oposto, os setores menos eficientes correspondem aos serviços, incluindo serviços públicos, as famílias, financeiros, educação e saúde.

Adicionalmente, a pesquisa sugere que a economia brasileira se encontra estagnada, distante da fronteira eficiente. Essa estagnação seria devida ao desbalanceamento entre oferta de trabalho qualificado e sua absorção nos setores econômicos, bem como pelo nível de qualificação da força de trabalho. Por um lado, a homogeneidade intersetorial dos índices VA, distantes da fronteira, reduz o escopo de uso do capital humano que permita efeitos inovação, conforme proposto por Vandebussche, Aghion e Meghir (VANDENBUSSCHE; AGHION; MEGHIR, 2006). Por outro lado, o uso de trabalho não qualificado, PF, em conjunto com a heterogeneidade dos índices HR, significa que a modernização produtiva traria poucos impactos sobre o crescimento da produtividade agregada, limitado por um processo de substituição de insumos trabalho por capital fixo.

Atualmente, mudanças recentes nos padrões tecnológicos, como a emergência da indústria 4.0 poderiam ser interpretadas como um grande processo de deslocamento da fronteira de eficiência. Levando-se em consideração que a economia brasileira estaria estagnada e estruturalmente restrita para extrair vantagens de variáveis sociais que promovam crescimento econômico e incorporação de tecnologia, pode-se esperar um cenário em que sua estagnação e obsolescência tecnológica se aprofundariam, o que conduziria a maiores lacunas em relação a fronteira de eficiência. Esse cenário desafio a competitividade da economia brasileira e pode prejudicar seus níveis de emprego, produto e bem-estar social. Para um país em desenvolvimento, tradicionalmente caracterizado por lacunas tecnológica e de renda per capita,

adiciona um novo problema socioeconômico. Portanto, o cenário demandaria novas políticas públicas.

Para lidar com esse cenário, as políticas públicas deveriam enfrentar ambas as restrições de oferta e demanda, simultânea e complementarmente. Como consequência, propostas de ações que promovam educação de qualidade mais elevada, adequada as necessidades dos negócios, juntamente com a remoção de gargalos estruturais de escala, crédito e acesso à tecnologia, poderiam tornar possível que as firmas alcançassem modernização produtiva e maior valor adicionado.

Também deve ser mencionado que, conforme apontado pela literatura, a educação terciária como níveis de graduação e pós-graduação seria mais relevante para o futuro processo de incorporação, geração de desenvolvimento de tecnologia e os resultantes incrementos dos índices de produtividade. Neste artigo, as variáveis de educação estão restritas a PF e SF. Contudo, o baixo e homogêneo desempenho dos índices VA seriam sinal de baixa endogeneidade com maiores níveis educacionais. Pesquisa futura deveria levar em consideração o impacto da educação terciária, como a frequência nos ensinos de graduação e pós-graduação.

#### 4.8 REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D., JOHNSON, S. (2007) Disease and Development: The Effect of Life Expectancy on Economic Growth. **Journal of Political Economy** 2007;115(6):925-985. <http://dx.doi.org/10.1086/529000>

AGASISTI, T., BERTOLETTI, A. Higher education and economic growth: A longitudinal study of European regions 2000–2017. **Socio-Economic Planning Sciences** 2020, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100940>

AGENOR, P., LIM, K.Y. Unemployment, growth and welfare effects of labor market reforms. **Journal of Macroeconomics** 2018;58:19-38. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2018.08.009>.

ANCARANI, A., DI MAURO, C, MASCALI, F. Backshoring strategy and the adoption of Industry 4.0: Evidence from Europe. **Journal of World Business** 2019;54:360-371. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2019.04.003>.

ANNABI, N. Investments in education: What are the productivity gains? **Journal of Policy Modeling** 2017;39:499–518.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.03.003>

ARDIA, D., BOUDT, K., CARL, P., MULLEN, K., Peterson, B. Differential Evolution with DEoptim: An Application to Non-Convex Portfolio Optimization. **The R Journal** 2011;3(1):27-34. DOI: 10.32614 / RJ-2011-005

BARRIO-TELLADO, M.J., GÓMEZ-VEJA, M., GÓMEZ-ZAPATA, J.D., HERRERO-PRIETO, L.C., Urban public libraries: Performance analysis using dynamic-network-DEA. **Socio-Economic Planning Sciences** 2020, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100928>

BAUMANN, J., KRITIKOS, A. S. The link between R&D, innovation and productivity: Are micro firms different? **Research Policy** 2016;45:1263–1274.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2016.03.008>

BECKER, G.S. Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis. **Journal of Political Economy** 1962;70:9-49. <http://dx.doi.org/10.1086/258724>

BEINE, M., DOCQUIER, F., RAPOPORT, H. Brain drain and economic growth: theory and evidence. **Journal of Development Economics** 2001;64:275–289. PII: S0304- 3878\_00.00133-4

BENOS, N., KARIAGINNIS, S. Do education quality and spillovers matter? Evidence on human capital and productivity in Greece. **Economic Modelling** 2016;54:563–573. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2016.01.015>

BERTOLIN, J., AMARAL, A., ALMEIDA, L. Os cursos de graduação podem compensar a falta de capital cultural e background de estudantes?. **Educ. Pesqui.** [online]. 2019, vol.45, e185453. Epub Jan 17, 2019. ISSN 1517- 9702. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-4634201945185453>.

BLOOM, D., CANNING, D. The Health and Wealth of Nations. **Science** 2000;287:1207-1209. <http://dx.doi.org/10.1126/science.287.5456.1207>

BOIKOS, S., BUCCI, A., STENGOS T. Non-monotonicity of fertility in human capital accumulation and economic growth. **Journal of Macroeconomics** 2013;38:44–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmacro.2013.06.006>.

CHARNES, A., COOPER, W., RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research** 1978;2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

CHENERY, H.B., SYRQUIN, M. **Patterns of Development, 1950–1983**. London, Washington, DC: World Bank; 1989.

CONEN, W., DALEN, H., HENKES, K. Ageing and employers' perceptions of labour costs and productivity. A survey among European employers. **International Journal of Manpower** 2012;33(6):629-647. DOI 10.1108/01437721211261796

CURI, A. C., MENEZES-FILHO, N. The relationship between school performance and future wages in Brazil . **EconomiA** 2014;15:261–274. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2014.08.001>

DELALIBERA, B., FERREIRA, P. Early childhood education and economic growth. **Journal of Economic Dynamics & Control** 2019;98:82–104. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.10.002>

DEL REY, E., LOPEZ-GARCIA, M. Public education, intergenerational transfers, and fertility. **Economics Letters** 2019;179:78–82. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.03.031>.

DENALDI, R., MARICATO, E. **Políticas de urbanização de favelas: evolução e impasses**. 2003. Universidade de São Paulo: São Paulo.

DESPOTIS, D.K., KORONAKOS, G., SOTIROS, D. Composition versus decomposition in two-stage network DEA: A reverse approach. **Journal of Productivity Analysis** 2016(a); 45(1):71-87. DOI 10.1007/s11123-014-0415-x

\_\_\_\_\_. The “weak-link” approach to network DEA for two-stage processes. **European Journal of Operational Research** 2016(b); 254(2):481-492. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.028>

DESPOTIS, D.K., SOTIROS, D., KORONAKOS, G. A network DEA approach for series multi-stage processes. **Omega** 2016; 61:35-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2015.07.005>

DEVKOTA, S., UPADHYAY, M. How does education inequality respond to policy? A method and application to survey data from Albania and Nepal. **Journal of Economic Studies** 2016; 43 (2):166-177. <https://doi.org/10.1108/JES-09-2014-0156>

ENTEZAM, H.F., SOBHANI, F.M., NAJAFI, S.E., ROSHIDI, I. A multi-component enhanced Russell measure of efficiency: With application to water supply plans. **Socio-Economic Planning Sciences** 2020; 70 100719. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.06.004>

FLEISHER, B., HU, Y., LI, H., KIM, S. Economic transition, higher education and worker productivity in China. **Journal of Development Economics** 2011;94:86–94. doi:10.1016/j.jdeveco.2010.01.001

GAZONATO, M.C., OLIVEIRA, M.A.S. Productivity variation and its intersectoral spillovers: An analysis of Brazilian economy. **EconomiA** 2019;20:92-108. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2019.05.001>

GOMES, O. Labor productivity and obsolete skills in a growth model with production by layers. **Journal of Economic Studies** 2014;41(3):431-452. DOI 10.1108/JES-11-2012-0153

GRILICHES, Z. Education, Human capital and Growth: a Personal Perspective. **Journal of Labor Economics** 1997;5(1):330–344.

GUCCIO, C., MIGNOSA, A., RIZZO, I. Are public state libraries efficient? An empirical assessment using network Data Envelopment Analysis. **Socio-Economic Planning Sciences** 2018; 64:78–91. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.01.001>

HANUSHEK, E. A., WOESSMANN, L. Schooling, educational achievement, and the Latin American growth puzzle. **Journal of Development Economics** 2012;99:497–512. doi:10.1016/j.jdeveco.2012.06.004

HONG, P., PANDEY, S. Human capital as structural vulnerability of US poverty. **Equal Opportunities International** 2007; 26(1):18-43. DOI 10.1108/02610150710726516

HUANG, R., FULGINITI, L., PETERSON, E. Health and growth: causality through education. **China Agricultural Economic Review** 20; 2(3):321-344. <https://doi.org/10.1108/17561371011078444>

JACK, W., LEWIS, M. Health investments and economic growth: macroeconomic evidence and microeconomic foundations, The World Bank, **Policy Research Working Paper Series** 2009, 4877.

KAO, C. Network data envelopment analysis: A review. **European Journal of Operational Research** 2014; 239(1):1–16. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.02.039

\_\_\_\_\_. Efficiency decomposition for general multi-stage systems in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research** 2014, 232(1):117-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.012>

\_\_\_\_\_. Efficiency measurement for parallel production systems. **European Journal of Operational Research** 2009; 196(3): 1107–1112. doi:10.1016/j.ejor.2008.04.020

KAO C., LIU S.-T. Cross efficiency measurement and decomposition in two basic network systems. **Omega** 2019; 83:70–79 <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.02.004>.

KAO, C., HWANG, S.N. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. **European Journal of Operational Research** 2008; 185(1), 418–429. doi:10.1016/j.ejor.2006.11.041

KNIGHT, J., QUHENG, D., SHI, L. China's expansion of higher education: The labour market consequences of a supply shock. **China Economic Review** 2017;43:127–141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chieco.2017.01.008>

KUMAR, A., KOBER, B. Urbanization, human capital, and cross-country productivity differences. **Economics Letters** 2012;117:14–17. doi:10.1016/j.econlet.2012.04.072

LEBEDINSKI, L., VANDENBERGUE, B. Assessing education's contribution to productivity using firm-level evidence. **International Journal of Manpower** 2014;35(8):1116-1139. DOI 10.1108/IJM-06-2012-0090

LEWIS, N.D. **100 STATISTICAL TESTS IN R**. Easy R Series. Heather Hill Press; 2010.

MARELLI, E., SIGNORELLI, M. Employment, productivity and models of growth in the EU. **International Journal of Manpower** 2010;31(7):732-754. DOI 10.1108/01437721011081572

MARIANA, D. R. Education As A Determinant Of The Economic Growth. The Case Of Romania. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** 2015;197:404 – 412. doi:10.1016/j.sbspro.2015.07.156

MARTINS-FILHO, C. B., YAO, F. Semiparametric Stochastic Frontier Estimation via Profile Likelihood. **Econometric Reviews** 2011; 34(4):413-451. DOI: 10.1080/07474938.2013.806729

MATION, L., NADALIN, V., KRAUSE, C. Favelização no Brasil entre 2000 e 2010: resultados de uma classificação comparável. Brasília, DF: IPEA, 2014. (Texto para discussão, n. 2009). Available in: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2009.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2009.pdf)>. Acess: 04 set. 2019.

MERTZANIS, C., SAID, M. Access to skilled labor, institutions and firm performance in developing countries. **International Journal of Manpower** 2019;40(2):328-355. DOI 10.1108/IJM-11-2017-0301

MOUSSIR, C.-E., CHATRI, A., Structural change and labour productivity growth in Morocco. **Structural Change and Economic Dynamics** 2019, <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.06.005>

MULLEN, K., ARDIA, D., GIL, D., WINDOVER, D., CLINE, J. DEoptim: An R Package for Global Optimization by Differential Evolution. **Journal of Statistical Software** 2011;40(6):1-26. DOI: 10.18637 / jss.v040.i06

NÚÑEZ, J.A., CINCOTTA, P.M., WACHLIN, F.C. Information Entropy. **Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy** 1996;64:43-53.

PELINESCU, E. The impact of human capital on economic growth. **Procedia Economics and Finance** 2015;22:184 – 190. doi:10.1016/S2212-5671(15)00258-0

PENFIELD JR., P. Principle of Maximum Entropy. Chapter 9, Notes for 6.50J/2.110J, **Information, Entropy and Computation**. Massachusetts Institute of Technology; 2010. Available in <https://mtlsites.mit.edu/Courses/6.050/2003/notes/chapter9.pdf>. Access in 15/10/2020.

QU, Y., CAI, F. Understanding China's workforce competitiveness: a macro analysis. **Journal of Chinese Human Resource Management** 2011;2(1):8-22, DOI 10.1108/20408001111148702

RAMASAMY, B., YEUNG, M. A causality analysis of the FDI-wages-productivity nexus in China. **Journal of Chinese Economic and Foreign Trade Studies** 2010;3(1):5-23. DOI 10.1108/17544401011016654

ROMER, P.M., Endogenous Technological Change. **The Journal of Political Economy**, 1990;98(5):71-102. <http://links.jstor.org/sici?sici=0022-3808%2819901...O%3B2-8&origin=repec>

ROSTI, L., CHELLI, F. Higher education in non-standard wage contracts. **Education + Training** 2012;54(2/3):142-151. DOI 10.1108/00400911211210251

SALAS-VELASCO, M. Resource misallocation and production inefficiency. Estimating cross-country differences in macroeconomic performance. **Journal of Economic Studies** 2018;45(6):1272-1287. DOI 10.1108/JES-04-2017-0091

SCATOLIN, F.D. **Structural Change and Linkages: The development of Brazilian Agro-industrial System**. 1994. University of London: London.

SCHULTZ, T.W. Capital Formation by Education. **Journal of Political Economy** 1960;68:571-583. <http://dx.doi.org/10.1086/258393>

SHEEHAN, P., SHI, H. Employment and Productivity Benefits of Enhanced Educational Outcomes: A Preliminary Modelling Approach. **Journal of Adolescent Health** 2019;65:S44-S51. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2019.03.025>

SILVA, F., SIMÕES, M., ANDRADE, J. Health investments and economic growth: a quantile regression approach. **International Journal of Development** 2018;17(2):220-245. DOI 10.1108/IJDI-12-2017-0200

SOLOW, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics** 1956;70(1):65-94. <http://www.jstor.org/stable/1884513>

STARK, O., HELMENSTEIN, C., PRSKAWETZ, A. Human capital depletion, human capital formation, and migration: A blessing in a 'curse'?, **Reihe Ökonomie / Economics Series** 1998;55. Institute for Advanced Studies (IHS), Vienna. <http://hdl.handle.net/10419/70291>.

STOCK, T., SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **Procedia CIRP** 2016;40:536 – 541. doi:10.1016/j.procir.2016.01.129.

STORTO, C. Performance evaluation of social service provision in Italian major municipalities using Network Data Envelopment Analysis. **Socio-Economic Planning Sciences** 2020; 71 100821. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100821>

SYRQUIN, M. Patterns of structural change. In: Chenery, H, Srinivasan, TN, editors. **Handbook of Development Economics**, Amsterdam and New York: Elsevier; 1988, p. 203–273.

TEIXEIRA, A.A.C., QUEIRÓS, A.S.S. Economic growth, human capital and structural change: A dynamic panel data analysis. **Research Policy** 2016; 45:1636–1648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2016.04.006>

VANDENBUSSCHE, J., AGHION, P., MEGHIR, C. Growth, Distance to Frontier and Composition of Human Capital. **Journal of Economic Growth** 2006;11(2):97-127. <https://www.jstor.org/stable/40216090>

WANKE, P., AZAD, A.K.MD, EMROUZNEJAD, A., ANTUNES, J. A dynamic network DEA model for accounting and financial indicators: A case of efficiency in MENA banking. **International Review of Economics & Finance** 2019; 61:52-68. DOI: 10.1016 / j.iref.2019.01.004

XU, Y., LI, A. The relationship between innovative human capital and interprovincial economic growth based on panel data model and spatial econometrics. **Journal of Computational and Applied Mathematics** 2010;365:112381. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.112381>

YAO, Y. Does higher education expansion enhance productivity? **Journal of Macroeconomics** 2019;59:169–194. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2018.11.009>

ZHANG, D.; NING, X.; LIU, X. SMC method for online prediction in hidden Markov models. **Kybernetes** 2009;38(10):1819-1827. DOI: 10.1108 / 03684920910994349

ZHANG, C., ZHUANG, L. The composition of human capital and economic growth: Evidence from China using dynamic panel data analysis. **China Economic Review** 2011;22:165–171. doi:10.1016/j.chieco.2010.11.001

ZOU, X., YE, X., YIN, G . Labor quality and production technology in provincial China. **The Social Science Journal** 2019;56(4):588-598. DOI: 10.1016/j.soscij.2018.09.009

## 5 CONCLUSÃO

Em seu conjunto, os três artigos apresentados na presente tese possibilitam a apreensão de conclusões quanto ao resultado esperado da implementação da política industrial, bem como sua dependência em relação a fatores estruturais e a heterogeneidade dos setores produtivos. A partir dessa análise, podem ser extraídos elementos úteis tanto para formuladores da política pública – quanto aos condicionantes e limites da política industrial, como para seus executores – no que se refere ao redimensionamento e aplicabilidade dos instrumentos de financiamento em vigor. Especificamente, as respostas às questões de pesquisa da tese podem ser encontradas nas diversas abordagens de análise empreendidas.

A principal contribuição da tese foi a utilização de modelagem DEA de forma a possibilitar abordagem quantitativa para responder as questões de pesquisa relativas ao nível de eficiência dos setores produtivos da economia brasileira, dos fatores determinantes para esse nível de eficiência, bem como do impacto da política industrial do BNDES, indicando os seguintes resultados:

- (i) Estagnação produtiva intersetorial em níveis distantes da fronteira, como resultante de tendência de aumento de participação relativa dos setores *non tradables* e desbalanceamento entre oferta e demanda de capital humano;
- (ii) Grau de abertura econômica, nível de concorrência e especificidades setoriais seriam significativos para o desempenho em relação a fronteira de eficiência bem como para a efetividade da política industrial;
- (iii) a política industrial por meio de financiamentos públicos não tem sido significativa para promover ganhos de eficiência - seja no enfoque empresarial, seja no enfoque setorial.

Em razão dos resultados alcançados a partir dessa contribuição da pesquisa, propõe-se contribuição adicional, com o objetivo relacionado ao aperfeiçoamento da política industrial de financiamento público executada pelo BNDES.

## 5.1 O FINANCIAMENTO PÚBLICO DO BNDES E O RESPECTIVO IMPACTO SOBRE A EFICIÊNCIA PRODUTIVA

O primeiro artigo apresenta uma abordagem a questão do financiamento público sob a perspectiva da firma, assumindo seu desempenho financeiro, a geração de lucro, como objetivo e parâmetro de avaliação de competitividade em uma economia de mercado, como a brasileira. O caso específico do setor siderúrgico, um dos principais receptores desse tipo de financiamento no período em análise, indica que tal instrumento de política industrial, isoladamente, não tem sido significativo para determinar o desempenho das firmas. Variáveis estruturais heterogêneas, tanto do lado da demanda quanto da oferta, seriam mais relevantes, destacando-se o nível de integração vertical, crescimento econômico local e acesso aos principais insumos - minério e energia. Em particular, o nível de eficiência das firmas brasileiras seria resultante do acesso aos principais insumos, viabilizado pela verticalização intrafirma dos principais elos produtivos (mineração, produção de aço e logística de transporte).

No segundo artigo, buscou-se desvendar a heterogeneidade intersetorial no que se refere a obtenção de resultados em termos de produção, emprego e saldo comercial a partir do montante de financiamentos concedidos pelo BNDES. Em termos gerais, essa implementação de política pública tem produzido pouco impacto na obtenção dos resultados que seriam traduzidos como seu objetivo orientador. A aplicação do modelo DEA em dois estágios possibilitou a identificação da relevância de fatores idiossincráticos de cada setor econômico, bem como do nível de concorrência – decorrente do grau de abertura econômica e do nível de concentração do mercado brasileiro. A tendência de baixo crescimento inercial da produtividade intersetorial e sua variabilidade em torno da média decorrentes de maior nível de concorrência sinalizam dois elementos: (i) que a implementação da política pública tem sido insuficiente para a promoção de crescimento significativo da eficiência produtiva, seja em aspectos de *catching up* ou mudança tecnológica; (ii) que maior nível da concorrência pode intensificar impactos positivos sobre a produtividade, destacando-se uma dualidade entre setores *tradables* e *non tradables*.

Essa dualidade decorrente da natureza do setor ser mais ou menos exposto a concorrência internacional também decorre da análise empreendida

pelo 3º artigo. Nesse, a tendência de baixo crescimento, quase estagnação, do nível de eficiência intersetorial corrobora a identificação de limitações estruturais para o desempenho e competitividade produtiva da economia brasileira. Os reduzidos índices de fatores sociais estruturais, como capital humano, urbanização e variáveis demográficas, restringem o espaço para ampliação de ganhos de eficiência, notadamente no que se refere a adição de valor. Em uma análise mais profunda, observa-se que o sistema produtivo como um todo tem tido dificuldades de absorver o capital humano criado, incrementando as restrições para uma trajetória de longo prazo de ganhos de produtividade.

## 5.2 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Observado o impacto reduzido e heterogêneo do financiamento do BNDES para a obtenção dos resultados objetivos da política pública, tal constatação pode consistir elemento motivador para uma reavaliação da política industrial em vigor, tanto no que se refere a sua formulação quanto implementação. Essa reavaliação pode contemplar tanto a redefinição de prioridades, diretrizes e objetivos, quanto o redimensionamento e operacionalização dos instrumentos de execução dessa política, em vigor. Especificamente, a eficiência no gasto público poderia ser um norteador da execução dessa política pública. A seguir, apresenta-se proposta de algoritmo de decisão que incorpora esse conceito, a partir da aplicação de metodologia DEA.

### 5.2.1 Algoritmo de decisão para operações indiretas de financiamento do BNDES

A experiência internacional recente indica prática da administração pública de proceder aplicação padronizada de políticas públicas por meio de algoritmos de tomada de decisão, como pode ser observado no que se refere a política antitruste (guias de análise de concentrações de mercado),<sup>14</sup> ajuda de

---

<sup>14</sup> CADE (CADE, 2016); Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2004); US Department of Justice e Federal Trade Commission (US DEPARTMENT OF JUSTICE; FEDERAL TRADE COMMISSION, 2010).

Estado<sup>15</sup> e análise de impacto regulatório.<sup>16</sup> Em particular, as propostas de ajuda de Estado da União Europeia contemplam a concessão de benefícios estatais temporários – financiamentos, desonerações e subsídios, a determinados projetos econômicos, semelhante ao tema abordado na presente tese. Adaptamos a presente proposta para análise de concessão de financiamentos na modalidade indireta a partir do modelo europeu, fundamentado em dois conceitos: (i) ausência de alternativa de mercado; (ii) efeito agregado líquido positivo.

Conforme apresentado na seção contextualização, atualmente, o processo de concessão de financiamento indireto pode ser interpretado como um processo individual de balcão, por iniciativa do proponente do projeto, aqui definido como empreendedor. Assume-se que a função-objetivo do empreendedor tem por foco o lucro – rentabilidade sobre o capital investido. Por sua vez, a função-objetivo do BNDES seria a maximização do resultado agregado líquido que norteia as diretrizes de política industrial, em princípio. Nesse sentido, a confluência entre os objetivos do proponente privado e o financiador público seria indireta. Atualmente, o processo decisório do BNDES implica no cumprimento de uma série de requisitos por parte do proponente, que deve encaminhar um conjunto de informações econômico-financeiras do projeto e dos empreendedores. No entanto, parte significativa dos projetos apresentados têm sido contemplados, indicando que os requisitos a serem cumpridos estariam restritos ao escopo geral de política pública, bem como a indicadores e garantias de sustentabilidade econômico-financeira, usualmente utilizados pelo setor financeiro na concessão de empréstimos.

Dada a restrição orçamentária do setor público brasileiro, a racionalização do gasto público poderia ser incorporada ao processo decisório do BNDES, por meio de algoritmo de decisão que busca a seleção de projetos econômicos que resultem em um maior resultado agregado líquido. Adicionalmente, a amostra de projetos seria restrita aqueles projetos que não possam ser financiados pelo mercado. A figura 5.1 esquematiza o algoritmo proposto:

---

<sup>15</sup> Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

<sup>16</sup> Brasil (BRASIL, 2020).

Passo 1: ausência de alternativa de mercado (capital próprio ou financiamento privado), por meio de comparação entre a taxa interna de retorno - TIR mercado (metodologia de precificação de ativos de capital - CAPM) e o custo médio ponderado do capital - WACC do proponente ( $wCp + zCt$ );

onde,  $wCp$  = peso relativo do capital próprio;  $zCt$  = peso relativo do capital de terceiros;

Passo 2: estimativa de resultado líquido positivo – RLP (somatório de resultados esperados – desembolso financeiro);

Passo 3: modelo DEA para comparação do conjunto de projetos apresentados;

Passo 4: definição de parâmetro decisório –  $\alpha$ ;

Passo 5: seleção de projetos segundo o parâmetro adotado.

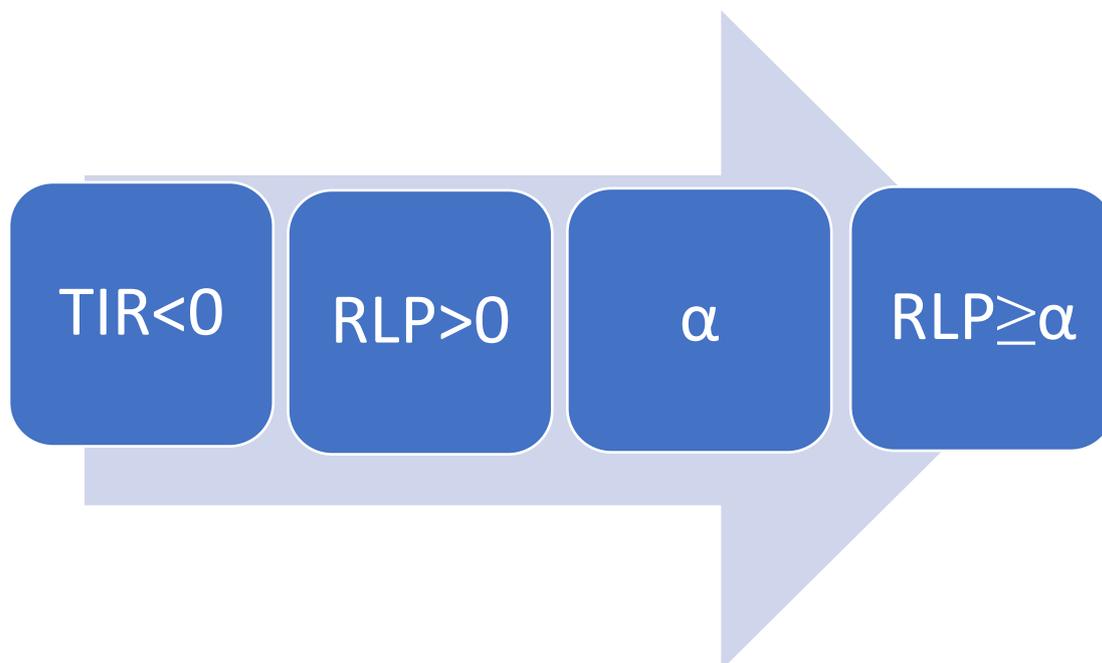


Figura 5.1: Etapas de aprovação de projeto de investimento segundo algoritmo de financiamento público

A diretriz do algoritmo proposto estaria fundamentada na aplicação da teoria de falhas de mercado a economia do setor público (STIGLITZ, 2000), especificamente como justificativa para a intervenção do setor público restrita a promoção do melhor resultado possível – não ótimo no sentido de Pareto (*second best*). Nesse sentido, inicialmente, a alocação de recursos públicos seria restrita ao mínimo necessário para equilibrar TIR negativo de um projeto de investimento privado. A seguir, esse gasto público deveria ser limitado a projetos que viabilizem o retorno líquido positivo, segundo os objetivos da política pública.

Por fim, seria construída uma classificação de projetos segundo o critério de maior retorno líquido positivo, priorizando a alocação dos recursos públicos, limitados.

A seguir, apresenta-se exemplo de aplicação do algoritmo proposto a partir de um modelo DEA-BCC, aplicável anualmente aos maiores projetos submetidos entre 2010 e 2015. Essas amostras foram obtidas a partir da planilha BNDES de Operações contratadas na forma direta e indireta não automática, que contempla o período 2002 a 2020 (BNDES, 2020). As amostras foram restritas aos projetos que tinham conjunto de dados completos para todas as variáveis consideradas. A seguir, o modelo DEA-BCC a ser maximizado.

DEA-BCC

Output Oriented

$$\max \theta_k = \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$$

S.T

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad \forall j \quad (1)$$

$$u_r \geq 0, \quad \forall r$$

$$v_i \geq 0, \quad \forall i$$

O problema de maximização relaciona o insumo valor contratado de financiamento do BNDES,  $X$ , com o conjunto de produtos  $Y_i$  que contempla: valor adicionado estimado, número estimado de empregos e um produto indesejado<sup>17</sup> - o simétrico do volume financiado, em caso de empresa que apresenta remuneração sobre o capital<sup>18</sup> superior ao custo de capital próprio. As estimativas de produto foram obtidas a partir da aplicação de multiplicadores

<sup>17</sup> O conjunto de produtos considerados podem ser definidos segundo os objetivos da política industrial implementada.

<sup>18</sup> Medida pelo ROE (retorno sobre o *equity*), conforme disponibilizado pelo sistema Economatica. Amostra complementada pela construção de indicador de rentabilidade lucro líquido sobre patrimônio líquido para demais empresas e anos da amostra.

ampliados de Leontief para o valor adicionado e o emprego,<sup>19</sup> calculados conforme metodologia detalhada em Miller e Blair (MILLER; BLAIR, 2009).

Por razão de compatibilidade da estrutura das matrizes de insumo-produto, os cálculos desses indicadores foram realizados para os anos de 2010 e 2015, obtendo-se os valores intermediários segundo técnica de interpolação. A tabela 5.1 apresenta os valores de média, mediana, máximo e mínimo, bem como nº de DMUs eficientes e inferiores a média - que seriam rejeitadas no processo decisório, para cada ano da amostra. As tabelas contendo todas as DMUs, respectivos scores de eficiência, multiplicadores ampliados, spreads sobre o custo do capital próprio e setor produtivo estão em anexo.

Tabela 5.1:

Estimativas de escores de eficiência, DMUs eficientes e economia de recursos públicos

Ano	Eficiência		DMUs			Economia de recursos	
	Média	Mediana	Total	eficientes	selecionados	R\$ (bilhões)	%
2010	0,83	0,87	32	7	13	5,49	44
2011	0,92	0,93	28	10	17	10,18	48
2012	0,87	0,88	36	10	15	14,6	33
2013	0,86	0,85	35	7	11	15,49	61
2014	0,89	0,90	31	9	17	6,69	45
2015	0,87	0,88	24	8	10	4,14	48

Obs. Preços de 2003.

A amostra selecionada indica um crescimento da eficiência média dos projetos apresentados. Adicionalmente, cerca de metade dos projetos sob análise seriam rejeitados, o que corresponderia, em média, a redução no desembolso anual em cerca de 9,43 bilhões de reais. Ressalte-se que o financiamento público representa alocação de recursos no momento do desembolso para posterior ressarcimento em data futura contratualmente estipulada, remunerada a taxa de juros pactuada. O impacto líquido negativo

<sup>19</sup> No presente exercício, não foram utilizados os multiplicadores ampliados de massa salarial e impostos pagos, por se tratar de componentes desagregados a partir do valor adicionado. Exercício alternativo, entretanto, poderia ser efetuado de forma a comparar os desempenhos dos diferentes projetos setoriais de investimentos no que se refere ao impacto incremental sobre essas variáveis.

sobre o orçamento público corresponde ao diferencial entre os juros a serem recebidos (subsidiados, por definição) e os juros a serem pagos sobre o correspondente estoque de dívida pública.

#### 5.4 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISA FUTURA

Preliminarmente, podemos considerar limitações decorrentes da própria delimitação do escopo da pesquisa, restrita a economia brasileira no espaço temporal correspondente a administração federal do Partido dos Trabalhadores. Não se estuda a discussão teórica referente a política industrial inserida em um espaço conceitual mais amplo que discute a própria natureza e papel do setor público. Como ponto de partida do presente trabalho, assume-se a política industrial como dada, restringindo-se a pesquisa quanto a sua efetividade no alcance dos resultados propostos, bem como na eficiência em termo de uso de recursos públicos para atingir esses resultados.

Adicionalmente, uma segunda limitação decorrente do escopo da pesquisa refere-se ao próprio agregado de objetivos que constituem a função-objetivo a ser maximizada, no que se refere aos respectivos resultados. Os três artigos se concentraram sobre variáveis como rentabilidade da empresa e agregados macroeconômicos como PIB, emprego, saldo comercial, quantidade produzida e valor adicionado. Uma possível extensão de pesquisa poderia ampliar o escopo de objetivos a serem maximizados, contemplando a maximização patrimonial dos diversos grupos de interesses da sociedade capitalista, ponderados segundo sua capacidade política no embate pela hegemonia na formação de agenda de políticas públicas. Observa-se que tal pesquisa implicaria desafios quanto a validação e simplificação de construtos que representassem esse conjunto de objetivos e respectivos produtos e pesos relativos.

Em complemento, ainda que não tratado pelo escopo da pesquisa, os resultados do terceiro artigo mostram um desafio a política industrial quanto ao emprego de variáveis sociais como o nível de capital humano mais sofisticado no processo produtivo que possibilite ganhos de produtividade e agregação de valor, seja por meio de incorporação e novas tecnologias, seja pela geração e disseminação de inovações. A despeito dos resultados indicarem que setores

mais expostos ao comércio internacional teriam potencialmente maior capacidade de ganhos de produtividade, seus reduzidos níveis indicam que a abertura comercial tem sido insuficiente para um ganho generalizado e de escala significativa para a economia brasileira, assim como as políticas industriais implementadas. Pesquisa futura poderia ter por foco a identificação de barreiras estruturais ou institucionais que restringem o processo de incorporação, geração e disseminação de tecnologias, bem como a realização desses ganhos em valores concretos como aumento das vendas em termos de quantum e valor líquido.

Com relação ao modelo adotado, destaque-se que os resultados de eficiência seriam condicionados pela definição prévia da função objetiva. A interpretação limita-se a considerações sobre eficiências das DMUs – firmas ou setores econômicos, segundo função-objetivo previamente determinada. Alterando-se essa função, os resultados também se alteram. Uma extensão de pesquisa pode contemplar a delimitação de uma função-objetivo, validada junto ao executor dessa política pública, o BNDES. Entretanto, conforme descrito na subseção contextualização, atualmente, políticas industriais não têm sido caracterizadas por longos períodos de estabilidade, implicando em volatilidade dos objetivos e respectivos pesos. Nesse sentido, dificuldade adicional adviria da busca por estimar um modelo dinâmico de longo prazo para avaliação da execução da política industrial, a partir de uma sucessão de funções-objetivos de curto prazo.

Quanto ao modelo teórico proposto na seção 3, por construção, define-se a firma representativa a partir da premissa de  $N$  firmas ou DMUs idênticas. Trata-se de limitação do modelo, que deve ser relaxada para se adaptar ao modelo de regressão proposto, em que cada DMU é um setor produtivo, e que os resultados do teste de Li Racine e da regressão indicam presença de heterogeneidade, bem como significância estatística da heterogeneidade setorial e do índice de concentração HHI. Adicionalmente, a variabilidade intersetorial desse índice, indica que a premissa de firmas idênticas deve ser relaxada.

Outra limitação relevante constante na seção 3, refere-se a não inclusão da defasagem temporal de resposta ao investimento no modelo de regressão proposto, significando que se assume a premissa de efeitos imediatos do investimento sobre a eficiência produtiva, implicitamente. Essa limitação está

vinculada ao nível de agregação dos dados utilizados. Especificamente, os dados sobre financiamento do BNDES careceram de maior detalhamento, no que se refere aos itens de bens de capital objeto de desembolso, bem como o cronograma anual de dispêndios, que permitiriam a construção de estimativas de defasagem temporal com base em médias ponderadas a partir de cada projeto de investimento agregado em determinado setor produtivo, bem como estimativas mais acuradas quanto ao efeito multiplicador do investimento. A partir dos questionários de financiamento, o BNDES tem acesso a um conjunto de dados adicionais, como, por exemplo, partes relacionadas, que possibilitariam uma definição mais acurada da TIR, considerando-se a rentabilidade do grupo econômico. Pesquisa futura poderia tratar o problema de viabilidade econômico-financeira do projeto como uma arquitetura de coordenação de diversos agentes econômicos parceiros, implicando em redesenho do papel exercido pelo BNDES, não mais se restringindo a concessão de financiamentos, minimizando a alocação de recursos públicos.

Quanto ao exercício ilustrativo para o algoritmo proposto, a utilização de multiplicadores de investimento tem por limitação a metodologia de insumo-produto que assume coeficientes intermediários estáticos, implicando ausência de efeito substituição de insumos ou impacto em preços. Extensões do exercício proposto poderiam incorporar tais elementos, por meio da incorporação de uma matriz de capital.

Adicionalmente, a abordagem DEA sobre os financiamentos do BNDES, especificamente no que refere ao exercício ilustrativo, poderia ser estendida a avaliação do gasto público no setor produtivo em um sentido mais amplo, incorporando-se o conjunto de subvenções e desonerações tributárias viabilizadas por diversos programas e atividades econômicas como: SIMPLES, Zona Franca de Manaus, petroquímica e álcool. Tal pesquisa poderia ser implementada a partir do conjunto de dados que compõem os Demonstrativos de Gastos Tributários - DGT que acompanham os Projetos de Lei Orçamentária Anual - PLOA, disponibilizados pela Receita Federal do Brasil – RFB (RFB, 2020).

Por fim, esta pesquisa tem por limitação restrições para comparação entre o BNDES e outros bancos de desenvolvimento, em decorrência da especificidade do conjunto dos dados secundários, bem como das funções-

objetivo. Essas estariam diretamente ligadas a fatores estruturais específicos a cada economia nacional relativos tanto a sua localização na organização internacional do trabalho, decorrente de seu nível de desenvolvimento produtivo – centro ou periferia; quanto a agenda de questões sociais relativas ao nível de desenvolvimento social, que implicam em pesos diversos para questões como crescimento econômico, desemprego, mudança estrutural, inovação tecnológica e política ambiental. Pesquisa futura que objetive a análise comparativa entre os bancos de desenvolvimento tem por desafio homogeneizar as funções objetivos e respectivos pesos, que passa pelo desafio de compatibilizar e propor parâmetros que possam ser validados pelos diferentes bancos públicos objeto de análise.

## 5.5. REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 10.411, de 30 de junho de 2020.** Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.411-de-30-de-junho-de-2020-264424798>. Acesso em 30/12/2020.

BNDES. **Operações contratadas na forma direta e indireta não automática.** <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/>. Acesso em 24/08/2020.

CADE. **Guia Análise de Atos de Concentração Horizontal.** Junho, 2016. Disponível em [Análise de Atos de Concentração Horizontal \(cade.gov.br\)](https://www.cade.gov.br/Analise-de-Atos-de-Concentracao-Horizontal). Acesso em 07/11/2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Orientações relativas aos auxílios estatais com finalidade regional para 2014-2020.** Jornal Oficial da União Europeia. 2013/C 209/1. Disponível em [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013XC0723\(03\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013XC0723(03)&from=EN). Acesso em 07/11/2020.

\_\_\_\_\_. **Guidelines on the assessment of horizontal mergers under the Council Regulation on the control of concentrations between undertakings.** Jornal Oficial da União Europeia. 2004/C 31/3. Disponível em [2004000022en5-18 5..5 \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:2004000022en5-18_5..5). Acesso em 30/12/2020.

MILLER, R.E., BLAIR, P.D. (2009). **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions.** 2<sup>nd</sup> edition, p. 250-259. Cambridge University Press, New York.

RECEITA FEDERAL DO BRASIL. Demonstrativo dos Gastos Tributários. PLOA 2015. Disponível em <https://receita.economia.gov.br/dados/receitadata/renuncia-fiscal/previsoes-ploa/arquivos-e-imagens/dgt-2015>. Acesso em 30/12/2020.

STIGLITZ, J. E. **Economics of the Public Sector**. 3<sup>rd</sup> edition, pp. 77-85. New York, W.W. Norton, 2000.

US DEPARTMENT OF JUSTICE; FEDERAL TRADE COMMISSION. **Horizontal Merger Guidelines**. August, 2010. Disponível em [Horizontal Merger Guidelines \(08/19/2010\) \(ftc.gov\)](#). 07/11/2020.

## 5.6. ARTIGOS RESULTANTES

Essa seção resume os artigos que foram apresentados em conferências, publicados em revistas ou como capítulos de livros.

MORAES, R. K., WANKE, P. F. Efficiency evaluation of Brazilian National Development Bank spendings in 2015: a DEA approach.. **POMS 29th Annual Conference**. Houston, 2018.

MORAES, R. K., & WANKE, P. F. Impacto do BNDES na eficiência da indústria siderúrgica: aplicação do modelo Malmquist de dois estágios. **Cadernos EBAPE.BR**, 17(2), 229-246, 2019.

MORAES, R. K., WANKE, P. F. BNDES' Impact on the Steel Industry's Efficiency: A Two-Stage Malmquist Model Usage. In: Ferreira J.J.M., Teixeira S.J., Rammal H.G. (eds) **Technological Innovation and International Competitiveness for Business Growth**. Palgrave Studies in Democracy, Innovation, and Entrepreneurship for Growth. Palgrave Macmillan, Cham, 2021.

## APÊNDICE A

O modelo de regressão dos índices de eficiência como função de variáveis contextuais proposto no capítulo 2 da tese assumia a premissa implícita de ausência de políticas industriais por parte dos países sede das empresas siderúrgicas não brasileiras, constantes na amostra. Nesse sentido, um cenário contrafactual de políticas industriais ativas por parte de outros países, seria possível que o financiamento do BNDES tivesse impacto positivo sobre a eficiência das siderúrgicas brasileiras, na medida em que compense ou mitigue lacunas em relação a fronteira de eficiência, que seria deslocada a partir de eventuais ganhos de eficiência por parte das demais siderúrgicas da amostra.

Para o teste de robustez e análise de contrafactual, executou-se regressão interagindo a tendência com as variáveis de países (Brasil, China e Coreia), por meio da criação de *dummies* para cada ano da amostra. A Eq. (5) do capítulo 2 foi modificada para incluir essas variáveis:

$$\begin{aligned}
 Y_{jz} = & \beta_0 + \beta_i \sum X_i + \beta_2 BNDES + \beta_3 Brasil2011 + \beta_4 Brasil2012 + \\
 & \beta_5 Brasil2013 + \beta_6 Brasil2014 + \beta_7 Brasil2015 + \beta_8 China2011 + \\
 & \beta_9 China2012 + \beta_{10} China2013 + \beta_{11} China2014 + \beta_{12} China2015 + \\
 & \beta_{13} Coreia2011 + \beta_{14} Coreia2012 + \beta_{15} Coreia2013 + \beta_{16} Coreia2014 + \\
 & \beta_{17} Coreia2015 + \beta_i \sum Z_i + \varepsilon_j
 \end{aligned}
 \tag{A.A. 1}$$

A tabela A.A.1 traz os resultados dessa regressão, em termos de significância estatística e sentido do impacto sobre a variável dependente.

**Tabela A.A.1:**

Resultados dos coeficientes das variáveis contextuais (teste de robustez)

Variáveis	Mudança técnica		Mudança da fronteira		Índice de Malmquist	
	Sinal	Significância	Sinal	Significância	Sinal	Significância
Intercepto	+	*	+	*	+	*
Preço do Trabalho (LN)	-		+	*	+	*
Preço do Capital (LN)	+		-	*	-	*
EBITDA/ativos	+		-	*	-	*
CAPEX/ativos	+	*	-		+	
Alavancagem	+		-	*	-	
BNDES	-	*	+		-	
inflação (%)	-	*	+	*	+	
Índice de GINI	+		+		+	*
IDH	-		+		-	
Crescimento do PIB (%)	-	*	+	*	+	*
PIB PPP (\$)	-		+	*	+	*
IED (\$)	-		-		-	*
Uso de energia (kg eq. óleo <i>per capita</i> )	+	*	-	*	-	*
Mortalidade infantil (1.000 nascimentos)	-		-	*	-	*

Expectativa de vida (anos)	+	*	-	*	-	*
Índice de inovação global	+	*	+		+	*
Índice de desempenho logístico	-	*	+	*	+	*
Brasil 2011	+	*	+		+	*
Brasil 2012	+	*	+		+	*
Brasil 2013	+	*	+		+	*
Brasil 2014	+	*	+	*	+	*
Brasil 2015	+	*	+	*	+	*
China 2011	+	*	+		+	*
China 2012	+	*	-		+	
China 2013	+	*	+		+	
China 2014	+	*	+		+	
China 2015	+	*	-		-	
Coreia 2011	+		+	*	+	*
Coreia 2012	+		+		+	*
Coreia 2013	-		+		+	
Coreia 2014	+	*	+	*	+	*
Coreia 2015	+	*	-		+	

Em geral, não se observa significância das *dummies* temporais dos países, apenas dois anos para Brasil e Coreia, respectivamente. Quanto a variável BNDES, hipótese e questão da pesquisa, corrobora-se o impacto negativo sobre a mudança técnica, descrita no capítulo 2.

## APÊNDICE B

No capítulo 3, o modelo de regressão dos índices de eficiência como função de variáveis contextuais traz a premissa implícita de que não há defasagem temporal entre a aprovação do financiamento por parte do BNDES, seu cronograma de desembolso, bem como a efetiva operação dos novos ativos objeto de investimento. Trata-se de limitação do modelo, face ao nível de agregação setorial dos dados, congregando segmentos industriais que têm diferentes prazos para início de atividade produtiva, bem como modalidades de investimentos distintas, como ampliação, modernização, troca de equipamento e construção de novas unidades produtivas.

Para lidar com essa limitação, bem como providenciar teste de robustez dos resultados, propõe-se alteração do modelo de regressão, incluindo as *dummies* temporais referentes aos períodos de administração Lula I, Lula II e Dilma I. A Eq. (26) do capítulo 3 foi modificada para incluir essas variáveis:

$$Y_{jz} = \beta_0 + \beta_1 Trend + \beta_2 Trend2 + \beta_3 LulaI + \beta_4 Lula2 + \beta_5 Dilma1 + \beta_i \sum X_i + \beta_i \sum Z_i + \varepsilon_j \quad (A.B.1)$$

A tabela A.B.1 traz os resultados em termos de significância e sentido do impacto das variáveis contextuais sobre os índices de eficiência.

**Tabela A.B.1:**

Resultados dos coeficientes das variáveis contextuais (teste de robustez)

Variáveis	Mudança técnica		Mudança da fronteira		Índice de Mamlquist		TGR	
	Sinal	Significância	Sinal	Significância	Sinal	Significância	Sinal	Significância
(Intercept)	+	*	+	*	+	*	-	
Agropecuária	-	*	-	*	-	*	+	*
Atividades.financeiras..de.seguros.e.serviços.relacionados	-	*	-	*	-	*	+	
Atividades.imobiliárias	-	*	-	*	-	*	+	
Comércio	-	*	-	*	-	*	+	
Construção	-	*	-	*	-	*	+	
Eletricidade.e.gás..água..esgoto..atividades.de.gestão.de.resíduos	-	*	-	*	-	*	+	
Indústrias.de.transformação	-	*	-	*	-	*	+	*
Indústrias.extrativas	-	*	-	*	-	*	+	*
Informação.e.comunicação	-	*	-	*	-	*	+	
Outras.atividades.de.serviços	-	*	-	*	-	*	+	
Transporte..armazenagem.e.correio	-	*	-	*	-	*	+	
Comercio_Externo	-		+	*	-		-	*
HHI	-	*	-	*	-	*	+	
Trend	+		-		+		+	
Trend2	-		+		-		+	

Lula1	+		+	*	+	*	+	
Lula2	+		+	*	+	*	-	
Dilma1	+		+	*	+		+	

A especificidade dos setores mantém significância estatística sobre os índices de eficiência, impactando negativamente o desempenho setorial. Especificamente, quanto ao setor agropecuário, esse apresenta um sentido negativo sobre os índices de eficiência, distinto do resultado da regressão constante no capítulo 2. Adicionalmente, a significância estatística temporal torna-se presente nas *dummies* temporais propostas. Destaca-se seu impacto positivo sobre o deslocamento da fronteira, complementando os resultados de ganhos de eficiência externos, apresentados no capítulo 2. Considerando-se a relevância das exportações para o setor agropecuário, o comportamento dos preços no mercado internacional no período de “boom das commodities”, bem como a elevação da renda da população nos períodos Lula I e II, e Dilma I, pode-se interpretar que os ganhos no setor agropecuário observados no capítulo 2 corresponderiam a essas variáveis temporais, e não as suas especificidades.

## APÊNDICE C

Para comparar nosso modelo com os modelos de decomposição (Kao e Wang, Chen) e composição, foram realizados testes de diferenças em medianas e informação de entropia, cujos resultados estão aqui apresentados. Contudo, devido a diferenças do desenho dos modelos, conforme apresentado nas figuras A.C.1 e A.C.2, tanto o produto do estágio 1 quanto o insumo do estágio 2 foram considerados como produtos intermediários nos modelos discutidos por Despotis, Koronakos e Sotiros (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016a).

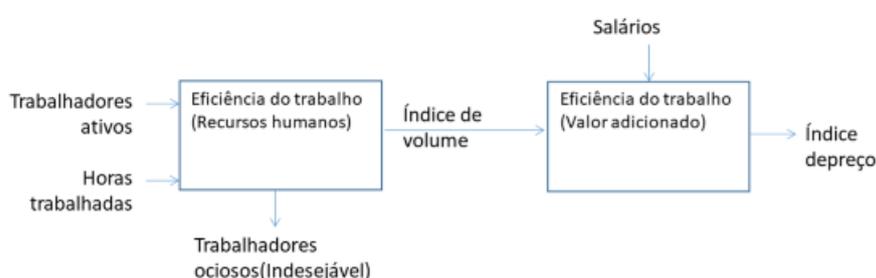


Figura A.C.1: Modelo proposto.

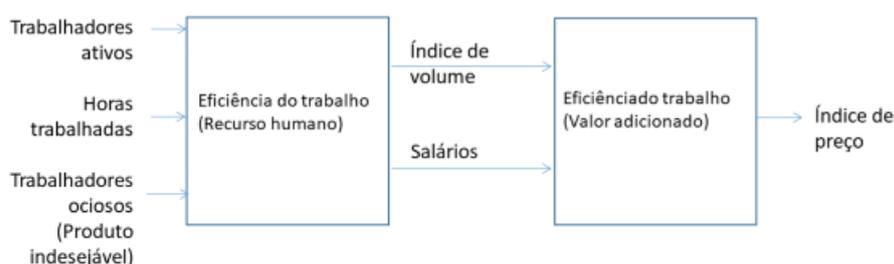


Figura A.C.2: Desenho do modelo adotado em Despotis, Koronakos e Sotiros (DESPOTIS; KORONAKOS; SOTIROS, 2016a)

A tabela A.C.1 apresenta os resultados dos testes Wilcoxon e de sinais aplicados nas eficiências dos estágios 1 e 2 para cada modelo sob análise (LEWIS, 2010). A partir desses resultados, a hipótese nula de igualdade de medianas deve ser rejeitada, sugerindo que um estágio seria predominante para a definição da eficiência global.

Tabela A.C.1:

Testes para diferenças em medianas

Modelos	p-value	
	Wilcoxon (<)	Teste de sinal
DEA CRS	2,2e-16	< 2,2e-16
DEA VRS	2,2e-16	< 2,2e-16
Multiplicativo (Kao and Wang)	2,2e-16	= 6,661e-16
Aditivo (Chen)	2,2e-16	= 8,882e-16
Composição (Despotis)	2,2e-16	= 8,882e-16

Para complementar a análise de viés, foi realizado um teste de informação de entropia (NÚÑEZ; CINCOTTA; WACHLIN, 1996), permitindo a seleção do modelo menos viesado. Pelo princípio da máxima entropia (PENFIELD JR. 2010), deve-se selecionar a distribuição de probabilidade que deixa a máxima incerteza remanescente – entropia, o que significa que todas as probabilidades são iguais. A tabela A.C.2 mostra os resultados do teste de entropia, sugerindo que nosso modelo seria o menos viesado, para ambas as especificações CRS e VRS.

Tabela A.C.2

Modelos de entropia

Modelo	Eficiência		
	Global	S1	S2
Multiplicativo (Kao and Wang)	0.0265	0.4964	0.0809
Aditivo (Chen)	0.5214	0.5129	0.0610
Composição (Despotis)	0.0225	0.5129	0.0563
DEA CRS	0.6566	0.6316	0.6337
DEA VRS	0.6589	0.6233	0.6358

Obs. S1 = estágio 1; S2 = estágio 2.

## APÊNDICE D

Tabela A.D.1:

Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES - 2010

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
ALCOA ALUMINIO S/A	Extração de minerais metálicos não-ferrosos	2%	13%	1,30	30,36	123,30
ARCELORMITTAL BRASIL S.A.	Siderurgia	5%	14%	1,22	28,62	938,10
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	18%	12%	0,97	22,49	348,81
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	18%	12%	0,97	22,49	366,04
CEMIG GERACAO E TRANSMISSAO S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	20%	13%	1,17	16,78	287,58
COMPANHIA BRASILEIRA DE DISTRIBUICAO	Comércio varejista não especializado	10%	10%	1,59	56,01	312,87
COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS COPASA MG	Captação, tratamento e distribuição de água	16%	10%	1,39	37,23	643,05
COMPANHIA ENERGETICA ESTREITO	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	24%	13%	1,17	16,78	215,26
CONTAX-MOBITEL S.A.	Outras atividades de telecomunicações	21%	11%	1,31	25,34	225,71
FURNAS CENTRAIS ELETRICAS S.A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	14%	13%	1,17	16,78	156,27

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
INTERLIGACAO ELETRICA DO MADEIRA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	3%	13%	1,17	16,78	280,00
MARFRIG GLOBAL FOODS S.A	Abate e fabricação de produtos de carne	3%	10%	1,45	75,13	139,52
MERCEDES-BENZ DO BRASIL LTDA.	Fabricação de caminhões e ônibus	15%	14%	1,28	30,55	794,31
MRS LOGISTICA S/A	Transporte ferroviário e metro ferroviário	22%	12%	1,41	43,85	253,55
NORTE BRASIL TRANSMISSORA DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	3%	13%	1,17	16,78	205,80
PECEM II GERACAO DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	3%	13%	1,17	16,78	513,24
SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	9%	13%	1,35	36,36	1.369,83
SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	9%	13%	1,35	36,36	276,23
THYSSENKRUPP COMPANHIA SIDERURGICA DO ATLANTICO	Siderurgia	10%	14%	1,22	28,62	523,68
TIM CELULAR S.A.	Telecomunicações sem fio	22%	12%	1,31	25,34	500,09

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
TRANSPORTADORA ASSOCIADA DE GAS S/A TAG	Transporte dutoviário	12%	12%	1,41	43,85	482,54
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	25%	13%	1,13	14,34	145,12
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	25%	13%	1,13	14,34	245,40
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	25%	13%	1,13	14,34	188,53
CIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO SABESP	Captação, tratamento e distribuição de água	16%	10%	1,39	37,23	205,34
CIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO SABESP	Captação, tratamento e distribuição de água	16%	10%	1,39	37,23	158,04
COMPANHIA DISTRIBUIDORA DE GAS DO RIO DE JANEIRO - CEG	Produção e distribuição de combustíveis gasosos por redes urbanas	31%	9%	1,17	16,78	166,78
JBS S/A	Abate e fabricação de produtos de carne	-2%	10%	1,45	75,13	139,52
ABENGOA BIOENERGIA AGROINDUSTRIA LTDA	Fabricação de biocombustíveis	3%	13%	1,38	49,17	307,10
B2W COMPANHIA DIGITAL	Comércio varejista de equipamentos de informática e comunicação; equipamentos e artigos de uso doméstico	9%	12%	1,59	56,01	104,64

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
PETROBRAS TRANSPORTE S/A TRANSPETRO	Extração de petróleo e gás natural	12%	12%	1,17	17,80	1.825,62
PETROBRAS TRANSPORTE S/A TRANSPETRO	Extração de petróleo e gás natural	12%	12%	1,17	17,80	106,39

Obs: VA (multiplicador do valor adicionado - milhões) N (multiplicador do emprego - unidades);  
BNDES (montante de empréstimo - milhões de reais).

Tabela A.D.2:

Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES - 2011

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
AMBEV S.A	Fabricação de bebidas alcoólicas	34%	10%	1,37	34,18	898,33
CENTRAIS ELETRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	5%	13%	1,20	17,45	325,17
CENTRAIS ELETRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	5%	13%	1,20	17,45	185,64
COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA COELBA	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	33%	13%	1,20	17,45	466,93
COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANA SANEPAR	Captação, tratamento e distribuição de água	12%	8%	1,38	36,91	258,83
COMPANHIA HIDRELETRICA TELES PIRES	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	15%	13%	1,20	17,45	294,76
COMPANHIA PETROQUIMICA DE PERNAMBUCO- PETROQUIMICASUAPE	Fabricação de produtos químicos orgânicos	10%	13%	0,96	22,27	396,68
ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	0%	13%	1,34	36,04	1.607,41
ELETOBRAS TERMONUCLEAR S/A – ELETRONUCLEAR	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	13%	13%	1,20	17,45	4.025,88

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
INTERLIGACAO ELETRICA DO MADEIRA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	7%	13%	1,20	17,45	183,40
LIGHT SERVICOS DE ELETRICIDADE S A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	10%	13%	1,20	17,45	599,82
LOGUM LOGISTICA S.A.	Transporte dutoviário	8%	10%	1,41	43,91	1.118,50
MANAUS TRANSMISSORA DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	5%	13%	1,20	17,45	262,66
NORTE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-1%	13%	1,20	17,45	3.126,46
OSX CONSTRUCAO NAVAL SA	Construção de embarcações	-3%	13%	1,29	32,78	262,01
PARNAIBA I GERACAO DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	- 29%	13%	1,20	17,45	262,01
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	10%	12%	1,20	18,35	670,23
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	10%	12%	1,20	18,35	720,52
TELEFONICA BRASIL S.A.	Telecomunicações por fio	10%	10%	1,31	25,56	1.979,50
TELEFONICA BRASIL S.A.	Telecomunicações por fio	10%	10%	1,31	25,56	775,61
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	30%	13%	1,18	15,62	586,92

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA.	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	13%	14%	1,29	30,83	691,64
ELETROSUL CENTRAIS ELETRICAS S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	13%	13%	1,20	17,45	135,59
LOJAS AMERICANAS S.A.	Comércio varejista de equipamentos de informática e comunicação; equipamentos e artigos de uso doméstico	26%	12%	1,60	56,12	249,40
USINAS SIDERURGICAS DE MINAS GERAIS S/A USIMINAS	Siderurgia	2%	15%	1,21	28,80	359,51
USINAS SIDERURGICAS DE MINAS GERAIS S/A USIMINAS	Siderurgia	2%	15%	1,21	28,80	208,62
EMBRAER S.A.	Fabricação de aeronaves	3%	11%	1,29	32,78	251,60
COMPANHIA ENERGETICA DE PERNAMBUCO	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	15%	13%	1,20	17,45	196,18

Obs: VA (multiplicador do valor adicionado - milhões) N (multiplicador do emprego - unidades); BNDES (montante de empréstimo - milhões de reais).

Tabela A.D.3:

Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES - 2012

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
AEROPORTOS BRASIL - VIRACOPOS S/A	Atividades auxiliares dos transportes aéreos	-11%	10%	1,68	43,99	737,79
BRASKEM IDESA S.A.P.I.	Fabricação de produtos químicos orgânicos	-9%	12%	0,95	22,05	691,71
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	-9%	12%	0,95	22,05	415,88
BRF S/A	Abate e fabricação de produtos de carne	5%	9%	1,68	43,99	502,34
CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE LTDA	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	3%	12%	1,41	43,96	1520,45
COMPANHIA DE GAS DE SAO PAULO COMGAS	Produção e distribuição de combustíveis gasosos por redes urbanas	16%	7%	1,24	18,12	702,54
CONCESSIONARIA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS	Atividades auxiliares dos transportes aéreos	-3%	10%	1,68	43,99	742,66
ENERGIA SUSTENTAVEL DO BRASIL S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	4%	12%	1,24	18,12	1438,90
FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA.	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	11%	14%	1,30	31,12	1502,39

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA.	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	11%	14%	1,30	31,12	180,79
INTERLIGACAO ELETRICA DO MADEIRA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	10%	12%	1,24	18,12	1150,62
MRS LOGISTICA S/A	Transporte ferroviário e metro ferroviário	18%	12%	1,41	43,96	906,68
NORTE BRASIL TRANSMISSORA DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-1%	12%	1,24	18,12	649,82
NORTE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-1%	12%	1,24	18,12	12758,01
OI S.A	Telecomunicações por fio	16%	11%	1,31	25,77	918,48
OI S/A	Telecomunicações por fio	16%	11%	1,31	25,77	198,58
PARNAIBA I GERACAO DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-1%	12%	1,24	18,12	549,27
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	6%	11%	1,22	18,89	4450,53
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	6%	11%	1,22	18,89	1361,03
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	6%	11%	1,22	18,89	362,03
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	6%	11%	1,22	18,89	247,55

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	-2%	12%	1,41	43,96	328,40
SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	-2%	12%	1,41	43,96	303,79
TELEMAR NORTE LESTE S.A	Telecomunicações por fio	16%	11%	1,31	25,77	1504,35
TIM CELULAR S.A.	Telecomunicações sem fio	10%	12%	1,31	25,77	1226,99
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	7%	14%	1,23	16,89	1985,14
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	7%	14%	1,23	16,89	2403,08
GERDAU ACOMINAS S/A	Siderurgia	5%	14%	1,21	28,99	480,63
TIM CELULAR S.A.	Telecomunicações sem fio	10%	12%	1,31	25,77	1226,99
RENAULT DO BRASIL S.A	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	7%	14%	1,30	31,12	231,19
COMPANHIA HIDRELETRICA TELES PIRES	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	11%	12%	1,24	18,12	1492,74
AMBEV S.A	Fabricação de bebidas alcoólicas	26%	10%	1,38	34,42	340,88
KLABIN S/A	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	14%	12%	1,41	43,96	176,67

Obs: VA (multiplicador do valor adicionado - milhões) N (multiplicador do emprego - unidades);  
BNDES (montante de empréstimo - milhões de reais).

Tabela A.D.4:

Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES - 2013

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA)</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
AMERICA LATINA LOGISTICA MALHA SUL S/A	Transporte ferroviário e metro ferroviário	1%	11%	1,41	44,01	450,01
AMERICA LATINA LOGISTICA MALHA NORTE S/A	Transporte ferroviário e metro ferroviário	1%	11%	1,41	44,01	247,97
AMERICA LATINA LOGISTICA MALHA PAULISTA S/A	Transporte ferroviário e metro ferroviário	1%	11%	1,41	44,01	234,20
ANGLO AMERICAN MINERIO DE FERRO BRASIL S/A	Extração de minério de ferro	11%	12%	1,28	18,17	1548,50
CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS S/A ELETROBRAS	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-20%	9%	1,27	18,79	1460,85
CENTRAIS ELETRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-20%	9%	1,27	18,79	478,81
CIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO SABESP	Captação, tratamento e distribuição de água	14%	10%	1,35	36,27	788,86
CIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO SABESP	Captação, tratamento e distribuição de água	14%	10%	1,35	36,27	160,91
COMPANHIA HIDRO ELETRICA DO SAO FRANCISCO	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-20%	9%	1,27	18,79	425,14

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
COMPANHIA HIDRO ELETRICA DO SAO FRANCISCO	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-20%	9%	1,27	18,79	277,83
CONCESSIONARIA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS	Atividades auxiliares dos transportes aéreos	10%	11%	1,68	44,02	2031,93
COPEL GERACAO E TRANSMISSAO S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	6%	9%	1,27	18,79	618,70
EMBRAER S.A.	Fabricação de aeronaves	9%	11%	1,30	33,01	820,18
FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA.	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	16%	12%	1,30	31,40	492,92
FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA.	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	16%	12%	1,30	31,40	279,57
MERCEDES-BENZ DO BRASIL LTDA.	Fabricação de caminhões e ônibus	19%	12%	1,30	31,40	328,60
PARNAIBA II GERACAO DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-16%	9%	1,27	18,79	164,02
PETROBRAS NETHERLANDS B V	Extração de petróleo e gás natural	7%	11%	1,24	19,44	5772,05
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	7%	11%	1,24	19,44	435,98
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	7%	11%	1,24	19,44	233,74

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	7%	11%	1,24	19,44	293,11
SANTO ANTONIO ENERGIA S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	0%	9%	1,27	18,79	1162,84
TIM CELULAR S.A.	Telecomunicações sem fio	10%	9%	1,32	25,99	3330,75
TOTVS S.A.	Atividades dos serviços de tecnologia da informação	23%	11%	1,32	25,99	384,85
TRANSMISSORA SUL BRASILEIRA DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-10%	9%	1,27	18,79	155,77
VOLKSWAGEN DO BRASIL INDUSTRIA DE VEICULOS AUTOMOTORES	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	14%	12%	1,30	31,40	271,19
COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA COELBA	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	20%	9%	1,27	18,79	394,06
CEMIG DISTRIBUICAO S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	25%	9%	1,27	18,79	230,50
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	7%	11%	0,94	21,83	504,62
FIBRIA CELULOSE S/A	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	-5%	13%	1,31	35,41	291,76

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
COOPERATIVA AGRARIA AGROINDUSTRIAL	Fabricação de bebidas alcoólicas	26%	13%	1,39	34,65	150,78
GERDAU ACOS LONGOS S/A	Siderurgia	6%	12%	1,21	29,17	214,15
MAN LATIN AMERICA INDUSTRIA E COMERCIO DE VEICULOS LTDA	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	14%	12%	1,30	31,40	226,24
COMPANHIA ENERGETICA DE PERNAMBUCO	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	11%	9%	1,27	18,79	251,54
LIGHT SERVICOS DE ELETRICIDADE S A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	17%	9%	1,27	18,79	161,79

Obs: VA (multiplicador do valor adicionado - milhões) N (multiplicador do emprego - unidades);  
BNDES (montante de empréstimo - milhões de reais).

Tabela A.D.5:

Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES - 2014

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
ABENGOA BIOENERGIA AGROINDUSTRIA LTDA	Fabricação de biocombustíveis	3%	13%	1,40	49,91	169,99
AEROPORTOS BRASIL - VIRACOPOS S/A	Atividades auxiliares dos transportes aéreos	6%	11%	1,68	44,05	988,07
AMBEV S.A	Fabricação de bebidas alcoólicas	29%	11%	1,40	34,88	507,83
AMERICA LATINA LOGISTICA MALHA SUL S/A	Transporte ferroviário e metro ferroviário	9%	11%	1,41	44,06	271,16
AMERICAN TOWER DO BRASIL LTDA	Obras de infraestrutura para energia elétrica, telecomunicações, água, esgoto e transporte por dutos	20%	12%	1,40	46,26	148,80
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	12%	10%	0,93	21,61	370,32
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	12%	10%	0,93	21,61	232,25
COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA COELBA	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	17%	10%	1,30	19,46	472,13
COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANA SANEPAR	Captação, tratamento e distribuição de água	11%	11%	1,34	35,95	180,45
FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA.	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	5%	11%	1,31	31,69	356,95

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
FURNAS CENTRAIS ELETRICAS S.A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-5%	10%	1,30	19,46	242,34
KLABIN S/A	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	10%	10%	1,30	35,09	1850,78
LIGHT SERVICOS DE ELETRICIDADE S A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	18%	10%	1,30	19,46	318,54
PORTO DO ACU OPERACOES S.A.	Atividades auxiliares dos transportes aquaviários	-3%	10%	1,68	44,05	991,22
RAIZEN COMBUSTIVEIS S.A	Fabricação de biocombustíveis	5%	13%	1,40	49,91	260,56
RUMO LOGISTICA OPERADORA MULTIMODAL S.A.	Transporte ferroviário e metro ferroviário	9%	11%	1,41	44,06	274,49
SAMARCO MINERACAO S.A.	Extração de minério de ferro	0%	12%	1,33	19,45	110,38
SARAIVA EDUCACAO LTDA	Atividade de impressão	1%	12%	1,53	39,41	270,01
TELEFONICA BRASIL S.A.	Telecomunicações por fio	11%	11%	1,32	26,20	549,32
TRANSMISSORA SUL LITORANEA DE ENERGIA S/A TSLE	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-5%	10%	1,30	19,46	271,46
ULTRAFERTIL SA	Fabricação de produtos químicos inorgânicos	0%	12%	0,93	21,61	613,38
VALE S.A.	Extração de minério de ferro	1%	12%	1,33	19,45	1997,04

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
PETROLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS	Extração de petróleo e gás natural	-6%	10%	1,26	19,99	118,53
LOJAS AMERICANAS S.A.	Comércio varejista de equipamentos de informática e comunicação; equipamentos e artigos de uso doméstico	12%	11%	1,61	56,44	591,16
ATENTO BRASIL S/A	Outras atividades de telecomunicações	-9%	11%	1,32	26,20	164,72
FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários	5%	11%	1,31	31,69	98,13
BANDEIRANTE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	22%	10%	1,30	19,46	162,98
B2W COMPANHIA DIGITAL	Comércio varejista de equipamentos de informática e comunicação; equipamentos e artigos de uso doméstico	-5%	13%	1,61	56,44	458,36
GERDAU ACOS LONGOS S/A	Siderurgia	4%	13%	1,21	29,36	119,36
SUZANO PAPEL E CELULOSE S.A.	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	-3%	10%	1,30	35,09	160,14

Obs: VA (multiplicador do valor adicionado - milhões) N (multiplicador do emprego - unidades);  
BNDES (montante de empréstimo - milhões de reais).

Tabela A.D.6:

Insumos e produtos dos principais projetos financiados pelo BNDES - 2015

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
AEROPORTOS BRASIL - VIRACOPOS S/A	Atividades auxiliares dos transportes aéreos	2%	15%	1,69	44,08	314,44
BRASKEM S.A	Fabricação de produtos químicos orgânicos	217%	14%	0,92	21,39	206,12
BRF S/A	Abate e fabricação de produtos de carne	23%	12%	1,45	72,36	297,03
CHAPADA DO PIAUI I HOLDING S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-36%	12%	1,34	20,12	275,39
CHAPADA DO PIAUI II HOLDING S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	-36%	12%	1,34	20,12	285,35
CIA DE SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SAO PAULO SABESP	Captação, tratamento e distribuição de água	4%	10%	1,33	35,62	370,88
COMPANHIA DE GAS DE SAO PAULO COMGAS	Produção e distribuição de combustíveis gasosos por redes urbanas	22%	14%	1,34	20,12	183,92
COMPANHIA DO METRO DA BAHIA	Transporte ferroviário e metro ferroviário	-62%	14%	1,42	44,11	1201,01
CONCESSIONARIA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CONFINS S/	Atividades auxiliares dos transportes aéreos	20%	15%	1,69	44,08	200,96

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
CONCESSIONARIA DO VLT CARIOCA S.A.	Transporte ferroviário e metro ferroviário	20%	14%	1,42	44,11	467,08
CSP - COMPANHIA SIDERURGICA DO PECÉM	Siderurgia	-38%	16%	1,21	29,55	1151,32
PARANAIBA TRANSMISSORA DE ENERGIA S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	9%	12%	1,34	20,12	300,81
PARANAIBA II GERACAO DE ENERGIA S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	9%	12%	1,34	20,12	127,32
PORTO DO ACU OPERACOES S.A.	Atividades auxiliares dos transportes aquaviários	-17%	15%	1,69	44,08	2177,80
PROLAGOS SA CONCES DE SERV PUBLICOS DE AGUA E ESGOTO	Captação, tratamento e distribuição de água	16%	10%	1,33	35,62	146,69
VLI MULTIMODAL S.A.	Transporte ferroviário e metro ferroviário	-33%	14%	1,42	44,11	291,67
COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS COPASA MG	Captação, tratamento e distribuição de água	-2%	10%	1,33	35,62	69,76
ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVICOS S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	19%	12%	1,34	20,12	128,13
NC ENERGIA S.A.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	4%	12%	1,34	20,12	48,04

<b>Cliente</b>	<b>CNAE detalhada</b>	<b>ROE</b>	<b>CC</b>	<b>VA</b>	<b>N</b>	<b>BNDES</b>
COMPANHIA ESTADUAL DE AGUAS E ESGOTOS – CEDAE	Captação, tratamento e distribuição de água	4%	10%	1,33	35,62	56,11
FIBRIA CELULOSE S/A	Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	3%	16%	1,29	34,77	68,77
VENTOS DE SANTO DIMAS ENERGIAS RENOVAVEIS LTDA.	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	9%	12%	1,34	20,12	48,63
ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SAO PAULO S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	4%	12%	1,34	20,12	88,32
ELETROPAULO METROPOLITANA ELETRICIDADE DE SAO PAULO S/A	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	4%	12%	1,34	20,12	88,20

Obs: VA (multiplicador do valor adicionado - milhões) N (multiplicador do emprego - unidades); BNDES (montante de empréstimo - milhões de reais).