



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

LUCAS MOURA XAVIER

Ensaio sobre Eficiência em Saúde a partir da Análise Envoltória de Dados

Recife

2024

LUCAS MOURA XAVIER

Ensaio sobre Eficiência em Saúde a partir da Análise Envoltória de Dados

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Economia (PIMES/UFPE) do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Francisco de Sousa Ramos

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Xavier, Lucas Moura.

Ensaaios sobre eficiência em saúde a partir da análise
envoltória de dados / Lucas Moura Xavier. - Recife, 2024.
93 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação
em Economia, 2024.

Orientação: Francisco de Sousa Ramos.

1. Saúde pública; 2. SUS; 3. DEA; 4. Bootstrap; 5. Desempenho
hospitalar. I. Ramos, Francisco de Sousa. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

LUCAS MOURA XAVIER

Ensaio sobre Eficiência em Saúde a partir da Análise Envolvente de Dados

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Economia (PIMES/UFPE) do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Aprovado em: 28/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o Francisco de Sousa Ramos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Paulo Henrique Pereira de Meneses Vaz (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Johan Hendrik Poker Junior (Examinador externo)
Universidade Estadual de Campinas

Dedico esta dissertação à minha querida avó, *in memoriam*, Nazianzena Pereira Araújo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por Sua infinita bondade e proteção sobre minha vida.

Aos meus amores, Jaqueline, Bárbara e Clara, por todo amor, cuidado e afeto que me proporcionam. Vocês me dão forças para continuar trilhando este caminho.

Aos meus tios-avós, Zena e Manoel, por todo apoio e carinho demonstrados.

Aos meus tios e primos, Cláudia, Rubens, Gil, Rita, Jovaldo, Miguel, Alice, Igor, Hugo e Yasmin, pelo afeto e suporte oferecidos.

Aos meus amigos, quase irmãos, Digão, Pedro e José, pela intensa amizade que construímos, tornando-se para mim uma sólida rede de apoio.

Aos amigos da UFRN que me incentivaram a ingressar no Pimes e que estiveram presentes em toda a jornada: Denis e Mattheus.

Aos amigos que conheci durante o curso e com quem tive a oportunidade de conviver dentro e fora dos muros da Universidade: Rafaela, Igor, Izabelita, Ricari, Danilo, Luana, Estevão, Rafael, Girola, Jéssycka, Luíza, Romário, Larissa, João e Rodrigo.

Aos demais familiares, colegas e amigos que fiz tanto na graduação na UFRN quanto no mestrado no Pimes, que aqui não foram mencionados, mas que contribuíram para o meu crescimento.

Ao meu orientador, Professor Francisco Ramos, pela orientação e apoio prestados, especialmente nos momentos em que eu mesmo duvidava da minha capacidade.

Aos professores Paulo Vaz e Johan Poker Junior, por aceitarem participar da minha banca, contribuindo para a melhoria desta dissertação.

Ao professor Breno, que, por indicação do colega Felipe, me deu a oportunidade de atuar como bolsista em uma parceria entre o GAPPE/UFPE e o MDS, onde desenvolvi habilidades com o Stata que foram úteis também na elaboração desta dissertação. Deixo aqui também meu agradecimento ao Vitor Pereira, por toda atenção durante esse aprendizado.

Aos servidores, técnicos e terceirizados da UFPE, por manterem a Universidade em pleno funcionamento, da biblioteca ao jardim, da limpeza ao restaurante universitário.

À FACEPE, pelo apoio financeiro para a elaboração desta dissertação.

Camarão que dorme a onda leva

Zeca Pagodinho

RESUMO

A Constituição da República Federativa do Brasil assegura que a saúde é um direito de todos e uma responsabilidade do Estado, devendo ser provida de maneira universal, integral e equitativa. Em conformidade com esse princípio e visando atender ao interesse público de avaliar a oferta desses serviços à população, conduzimos dois ensaios distintos, integrados nesta dissertação. O primeiro se concentra exclusivamente no Estado de Pernambuco, enquanto o segundo contempla uma análise abrangente de todo o território nacional, com foco nos estados. No que tange ao primeiro ensaio, buscamos mensurar o nível de eficiência das unidades de saúde de Pernambuco que prestaram serviços hospitalares ao SUS no período de 2011 a 2019, a fim de caracterizar o perfil de unidades que se localizam na fronteira, aquelas que estão mais distantes da fronteira e sua evolução ao longo do tempo. Para o alcance desses objetivos, foi empregada uma análise DEA em três estágios de estimação, a saber: i) cálculo da eficiência corrigida pelo viés de *bootstrap*, conforme proposto por [Simar e Wilson \(1998\)](#); ii) análise de regressão utilizando variáveis ambientais, seguindo o modelo de regressão truncado (*bootstrapped*) de [Simar e Wilson \(2007\)](#); e iii) cálculo do Índice de Produtividade de Malmquist, decomposto em mudança da eficiência e mudança técnica. Como principais resultados desse ensaio, observamos que a eficiência evoluiu com o porte hospitalar e com a descentralização da gestão. Além disso, constatamos que, com o decorrer do tempo, a maioria das unidades onde ocorreu um aumento na produtividade foi devido a uma aproximação da unidade hospitalar à fronteira eficiente. Já no que tange ao segundo ensaio, acompanhando outros autores que mensuraram o déficit em serviços de saúde para os estados brasileiros, analisamos a evolução desses déficits face às diversas políticas adotadas para o período 2009-2019. O conceito utilizado foi o de Fronteira de Melhor Disponibilidade de Serviços para Iguais Necessidades, criado por [Puig-Junoy \(2000\)](#) e aplicado ao Brasil pioneiramente por [Gasparini e Ramos \(2004\)](#). Os resultados foram tidos como ambíguos, uma vez que, enquanto estados como Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso, Rondônia, Tocantins, Piauí e Paraíba tiveram melhora considerável na redução de seus déficits, estados como Amazonas e Pará persistem em apresentar elevados déficits de saúde, o que contraria o princípio da equidade na provisão de serviços.

Palavras-chave: Saúde Pública. SUS. *DEA*. *Bootstrap*. Desempenho Hospitalar.

ABSTRACT

The Constitution of the Federative Republic of Brazil ensures that health is a right for everyone and a responsibility of the State, and must be provided in a universal, comprehensive and equitable manner. In accordance with this principle and aiming to meet the public interest in evaluating the provision of these services to the population, we conducted two distinct essays, integrated into this dissertation. The first focuses exclusively on the State of Pernambuco, while the second includes a comprehensive analysis of the entire national territory, focusing on the states. Regarding the first essay, we sought to measure the level of efficiency of health units in Pernambuco that provided hospital services to the SUS in the period from 2011 to 2019, in order to characterize the profile of units that are located on the border, those that are more distant from the border, and its evolution over time. To achieve these objectives, a DEA analysis was used in three estimation stages, namely: i) calculation of the efficiency corrected by *bootstrap* bias, as proposed by Simar e Wilson (1998); ii) regression analysis using environmental variables, following the truncated regression model (*bootstrapped*) from Simar e Wilson (2007); and iii) calculation of the Malmquist Productivity Index, decomposed into efficiency change and technical change. As the main results of this essay, we observed that efficiency evolves with the hospital size and with the decentralization of management. Furthermore, we found that, over time, the majority of units where an increase in productivity occurred was due to the hospital unit moving closer to the efficient frontier. Regarding the second essay, following other authors who measured the deficit in health services for Brazilian states, we analyzed the evolution of these deficits in light of the various policies adopted for the period 2009–2019. The concept used was the Frontier of Best Availability of Services for Equal Needs, created by Puig-Junoy (2000) and applied to Brazil pioneeringly by Gasparini e Ramos (2004). The results were considered ambiguous, since, while states such as Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso, Rondônia, Tocantins, Piauí and Paraíba had considerable improvement in reducing their deficits, states such as Amazonas and Pará persist in presenting high deficits in health, which goes against the principle of equity in the provision of services.

Keywords: Public health. SUS. *DEA*. *Bootstrap*. Hospital Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Macrorregiões e Regiões de Saúde do Estado de Pernambuco	17
Figura 2 – Proporção de Médicos por 1.000 habitantes - Pernambuco (2011/2019)	18
Figura 3 – Proporção de Leitos por 100.000 habitantes - Pernambuco (2011/2019)	19
Figura 4 – Hospitalizações por 100.000 habitantes - Pernambuco (2011/2019) . . .	19
Figura 5 – Óbitos segundo a CID-10 - Pernambuco	20
Figura 6 – Distribuição de Eficiência dos Hospitais Geridos pela Administração Direta - Densidade de Kernel	37
Figura 7 – Distribuição de Eficiência dos Hospitais Geridos pelas Demais Formas de Gestão - Densidade de Kernel	38
Figura 8 – Eficiência Média das Unidades Hospitalares por Município (2011-2019)	39
Figura 9 – Índice de Produtividade de Malmquist (2011-2019)	41
Figura 10 – Decomposição do Índice de Produtividade de Malmquist (2011-2019): Eficiência de Escala	42
Figura 11 – Decomposição do Índice de Produtividade de Malmquist (2011-2019): Eficiência Técnica	42
Figura 12 – Correlação entre os dois modelos DEA-Bootstrap: produção (AIH) vs. qualidade (altas com status curado e melhorado)	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Insumos e Produtos na Análise de Eficiência de Hospitais em Formulações DEA	22
Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos insumos e produtos selecionados	26
Tabela 3 – Eficiência média corrigida pelo viés de bootstrap, por diferentes características, considerando as AIH's emitidas como produto - 2011-2019	36
Tabela 4 – Resultados da Regressão Truncada Bootstrap, eficiência vs. variáveis ambientais, Algoritmo I, Simar e Wilson (2007)	40
Tabela 5 – Estatísticas descritivas de variáveis selecionadas	57
Tabela 6 – Ranking de melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades	60
Tabela 7 – Evolução dos déficits de saúde a partir do PCA-DEA com variáveis originais	65
Tabela 8 – Evolução dos déficits de saúde a partir do PCA-DEA com variáveis transformadas	68
Tabela 9 – Índice de Produtividade de Malmquist, apenas para Administração Direta da Saúde - 2011/2019	78
Tabela 10 – Índice de Produtividade de Malmquist, para as demais formas de gestão hospitalar - 2011/2019	79
Tabela 11 – Variáveis utilizadas na análise de componentes principais	80
Tabela 12 – <i>Benchmarks</i> para os Estados - Estimção pelo Método de Adler & Yazhensky (2010) para 2009	83
Tabela 13 – <i>Benchmarks</i> para os Estados - Estimção pelo Método de Adler & Yazhensky (2010) para 2019	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS HOSPITAIS PÚBLICOS DE PERNAMBUCO	15
2.1	INTRODUÇÃO	15
2.2	CONTEXTO DE SAÚDE DO ESTADO DE PERNAMBUCO	17
2.3	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.4	DADOS	24
2.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	26
2.5.1	Primeiro Estágio: Análise Envoltória de Dados com Correção de Viés a Partir de Bootstrap	29
2.5.2	Segundo Estágio: Análise de Regressão com Variáveis Ambientais	30
2.5.3	Terceiro Estágio: Índice de Produtividade de Malmquist	33
2.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
2.6.1	DEA Bootstrap	34
2.6.2	Regressão Truncada Bootstrap de Simar e Wilson (2007)	39
2.6.3	Índice de Produtividade de Malmquist	40
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
3	POLÍTICAS PÚBLICAS E DÉFICITS EM SERVIÇOS DE SAÚDE NOS ESTADOS BRASILEIROS: UMA ANÁLISE PARA O PERÍODO 2009-2019	45
3.1	INTRODUÇÃO	45
3.2	REVISÃO DA LITERATURA	47
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	51
3.4	DADOS	55
3.5	RESULTADOS	59
3.6	DISCUSSÃO	63
3.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A PRIMEIRO ENSAIO	77
	APÊNDICE B SEGUNDO ENSAIO	80

1 Introdução

A construção do SUS que conhecemos hoje está intimamente ligada ao processo de redemocratização brasileira. Sua concepção ideológica advém dos princípios estabelecidos na Declaração de Alma-Ata de 1978, oriunda da Conferência Internacional sobre Cuidados Primários de Saúde, realizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e do movimento da Reforma Sanitária do início da década de 1970. Esses princípios foram incorporados nas propostas dos partidos políticos que sucederam o bipartidarismo durante a Ditadura Militar no Brasil, cuja intenção era enfraquecer a oposição liderada pelo Movimento Democrático Brasileiro (MDB), que crescia pelo apoio da população à abertura democrática ([MENICUCCI, 2014](#); [PAIM, 2013](#)).

A construção do SUS rompeu a dualidade existente entre os serviços de saúde providos para segurados da previdência social, geralmente localizados nos centros urbanos, e aqueles prestados como assistência social, predominantemente nos ambientes rurais. Dessa forma, a provisão de saúde foi estabelecida na Constituição de 1988 como um direito, considerando uma noção de cidadania que incorpora os princípios de universalidade, publicidade, descentralização, integralidade e participação social ([MENICUCCI, 2014](#); [PAIM, 2013](#)). É importante frisar que a saúde pública é entendida de maneira holística, estando intimamente ligada às políticas educacionais, de habitação, de renda e, conseqüentemente, de emprego.

Desde a sua fundação, o SUS continuou a crescer e é referência no mundo na provisão de serviços de saúde de forma universal ([OECD, 2021](#)). Em 2019, segundo a Conta-Satélite da Saúde do IBGE, as despesas com saúde representaram 9,6% do PIB, sendo que as despesas de consumo do governo com saúde totalizaram R\$ 283,6 bilhões, ou 3,8% do PIB. Dados do Portal da Transparência para o mesmo ano mostram que o governo federal executou R\$ 165,22 bilhões em despesas com saúde, sendo R\$74,96 bilhões em assistência hospitalar e ambulatorial.

Embora o contexto histórico da criação do SUS e a exigência de um mínimo consti-

tucional em gastos com saúde demonstre uma evidente conquista cidadã, principalmente para os mais desfavorecidos, isto não torna essa importante política isenta à avaliação, pelo contrário, sua continuidade e melhoria depende de uma constante avaliação. Nesse sentido, diversos autores têm trabalhado em avaliações, sejam focadas na atenção primária ou atenção hospitalar, em recortes de usuários ou espaciais e etc. (GASPARINI; RAMOS, 2004; LINS et al., 2007; QUEIROZ et al., 2013; MONTEIRO, 2015; LOBO et al., 2016; SILVA; ALMEIDA; ARAÚJO, 2019; BOTEAGA; ANDRADE; GUEDES, 2020; FREIRE, 2021; LETTI; BITTENCOURT; VILA, 2022; COSTA, 2022; SILVA; POKER JUNIOR et al., 2022; MARINHO et al., 2023).

Esta dissertação se soma à literatura e visa atender ao interesse público de avaliar a oferta dos serviços de saúde à população. Dessa forma, conduzimos dois ensaios distintos em termos de metodologia e recorte espacial, mas com similaridades em termos de temática, o que torna relevante sua integração nesta dissertação. O primeiro se concentra exclusivamente no Estado de Pernambuco, enquanto o segundo contempla uma análise abrangente de todo o território nacional, com foco nos estados.

No que tange ao primeiro ensaio, buscamos mensurar o nível de eficiência das unidades de saúde de Pernambuco que prestaram serviços hospitalares ao SUS no período de 2011 a 2019, a fim de caracterizar o perfil de unidades que se localizam na fronteira, aquelas que estão mais distantes da fronteira e sua evolução ao longo do tempo. Para alcançar esses objetivos, empregamos uma análise DEA em três estágios de estimação: i) cálculo da eficiência corrigida pelo viés de *bootstrap*, conforme proposto por Simar e Wilson (1998); ii) análise de regressão utilizando variáveis ambientais, seguindo o modelo de regressão truncado (*bootstrapped*) de Simar e Wilson (2007); e iii) cálculo do Índice de Produtividade de Malmquist, decomposto em mudança da eficiência e mudança técnica. Como principais resultados desse ensaio, observamos que a eficiência evoluiu com o porte hospitalar e com a descentralização da gestão. Além disso, constatamos que, ao longo do tempo, a maioria das unidades que apresentaram aumento na produtividade o fizeram devido a uma aproximação da unidade hospitalar à fronteira eficiente.

Já no que tange ao segundo ensaio, acompanhando outros autores que mensuraram o déficit em serviços de saúde para os estados brasileiros, analisamos a evolução desses déficits face às diversas políticas adotadas para o período 2009-2019. O conceito utilizado foi o de Fronteira de Melhor Disponibilidade de Serviços para Iguais Necessidades, criado por Puig-Junoy (2000) e aplicado ao Brasil pioneiramente por Gasparini e Ramos

(2004). Os resultados foram ambíguos, uma vez que, enquanto estados como Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso, Rondônia, Tocantins, Piauí e Paraíba tiveram melhora considerável na redução de seus déficits, estados como Amazonas e Pará persistem em apresentar elevados déficits de saúde, o que contraria o princípio da equidade na provisão de serviços.

2 Avaliação da Eficiência dos Hospitais Públicos de Pernambuco

2.1 Introdução

O Artigo 197 da Constituição Federal assegura a saúde como um direito de todos e um dever do Estado. Nesse contexto, compreender a realidade hospitalar e avaliar o desempenho das unidades responsáveis pela prestação desses serviços é de interesse público. Tal interesse foi evidenciado em pesquisa realizada pela Datafolha no dia 5 de dezembro de 2023, onde 23% consideraram a saúde como o maior problema do Brasil, acima de questões como violência, educação e emprego. Embora a pesquisa analise áreas que são consideradas responsabilidade do governo federal, o caráter tripartite do SUS divide a responsabilidade da provisão de serviços de saúde de qualidade com todos os entes federados.

No caso de Pernambuco, o Estado possui cerca de 220 unidades hospitalares com registro de internações no Sistema de Informações Hospitalares do Tabnet da Secretaria de Saúde de Pernambuco em 2019, tendo juntas realizado 584.616 internações, que totalizam R\$819.736.634,40 – 404.308 realizadas pela Administração Pública, 11.854 realizadas por Entidades Empresariais e 168.399 por Entidades sem Fins Lucrativos. Destaca-se que estas unidades são responsáveis por atender uma população de aproximadamente 9 milhões de pessoas que residem no Estado.

Uma técnica amplamente adotada na literatura quando se busca analisar o desempenho de governos (empresas) no fornecimento (venda) de bens e serviços é a Análise Envoltória de Dados, popularmente conhecido através de sua sigla em inglês: DEA - *Data Envelopment Analysis*. No caso da saúde pernambucana, alguns trabalhos buscaram avaliar a eficiência municipal na provisão dos serviços de saúde (DIAS, 2016; SILVA, 2020), enquanto outros se concentraram em analisar a eficiência das unidades hospitalares, como

no presente trabalho, de forma geral (COSTA, 2022) ou segmentada, focando em determinados níveis de atenção hospitalar (FREIRE, 2021).

Nosso trabalho se soma a esta literatura, tendo como objetivo geral mensurar o nível de eficiência das unidades de saúde de Pernambuco que prestaram serviços hospitalares ao SUS no período de 2011 a 2019, a fim de caracterizar o perfil de unidades que se localizam na fronteira, aquelas que estão mais distantes da fronteira e sua evolução ao longo do tempo, uma vez que é de suma importância que as unidades de saúde se adequem às melhores práticas, melhorando a qualidade dos serviços disponibilizados à população.

Já em relação aos objetivos específicos, destacamos a identificação dos principais insumos e produtos utilizados pelas unidades de saúde do Estado, mensuração dos níveis de eficiência relativa destas unidades, verificação de características que implicam em maiores resultados de eficiência, bem como a sugestão de políticas de melhoria quantitativa e qualitativa da oferta de serviços de saúde.

Para alcançar nossos objetivos, o presente estudo emprega uma revisão da literatura combinada com uma análise DEA em três estágios de estimação, a saber: i) cálculo da eficiência corrigida pelo viés de *bootstrap*, conforme proposto por Simar e Wilson (1998); ii) análise de regressão utilizando variáveis ambientais, seguindo o modelo de regressão truncado (*bootstrapped*) de Simar e Wilson (2007); e iii) cálculo do Índice de Produtividade de Malmquist, decomposto em mudança da eficiência e mudança técnica.

Como principais contribuições à literatura de eficiência voltada aos hospitais de Pernambuco, temos: i) representação de insumos profissionais na forma de equivalente de tempo integral, para evitar cargas horárias diferenciadas; ii) uso de técnicas *bootstrap* e *malmquist* ao nível hospitalar; iii) adoção do modelo de regressão truncado de Simar e Wilson (2007) para produção de estimativas mais robustas do que as obtidas por modelos Tobit e iv) tentativa de apresentar a correlação entre duas formas de estimação, de forma a tentar incorporar a qualidade na análise.

Deste modo, nosso trabalho foi estruturado da seguinte maneira: a seção 2.2 apresenta a infraestrutura de saúde e o contexto de hospitalizações no Estado de Pernambuco; a seção 2.3 fornece uma breve revisão da literatura sobre os principais insumos e produtos utilizados no cálculo da eficiência hospitalar, além de abordar as principais questões envolvendo a eficiência hospitalar no contexto da análise envoltória de dados; a seção 2.4 descreve os dados utilizados em nossa abordagem empírica; a seção 2.5 descreve os procedimentos metodológicos relativos aos três estágios de análise mencionados; a seção 2.6

apresenta os principais resultados de nosso trabalho, derivados da aplicação empírica do método; e, finalmente, a seção 2.7 traz as considerações finais sobre o trabalho, incluindo sugestões de políticas.

2.2 Contexto de Saúde do Estado de Pernambuco

De acordo com o IBGE, Pernambuco possui uma área de 98.067,877 km², 185 municípios (incluindo o Arquipélago de Fernando de Noronha) e uma população de 9.058.931 de pessoas. O Estado é composto por 4 macrorregiões de saúde e 12 regiões de saúde conforme pode ser visto na Figura 1, sendo definidas da seguinte forma:

- Macrorregião 1 (Metropolitana): formada pelas Regiões de Saúde I, II, III e XII;
- Macrorregião 2 (Agreste): formada pelas Regiões de Saúde IV e V;
- Macrorregião 3 (Sertão): formada pelas Regiões de Saúde VI, X e XI;
- Macrorregião 4 (Vale do São Francisco e Araripe): formada pelas Regiões de Saúde VII, VIII e IX.

Figura 1 – Macrorregiões e Regiões de Saúde do Estado de Pernambuco

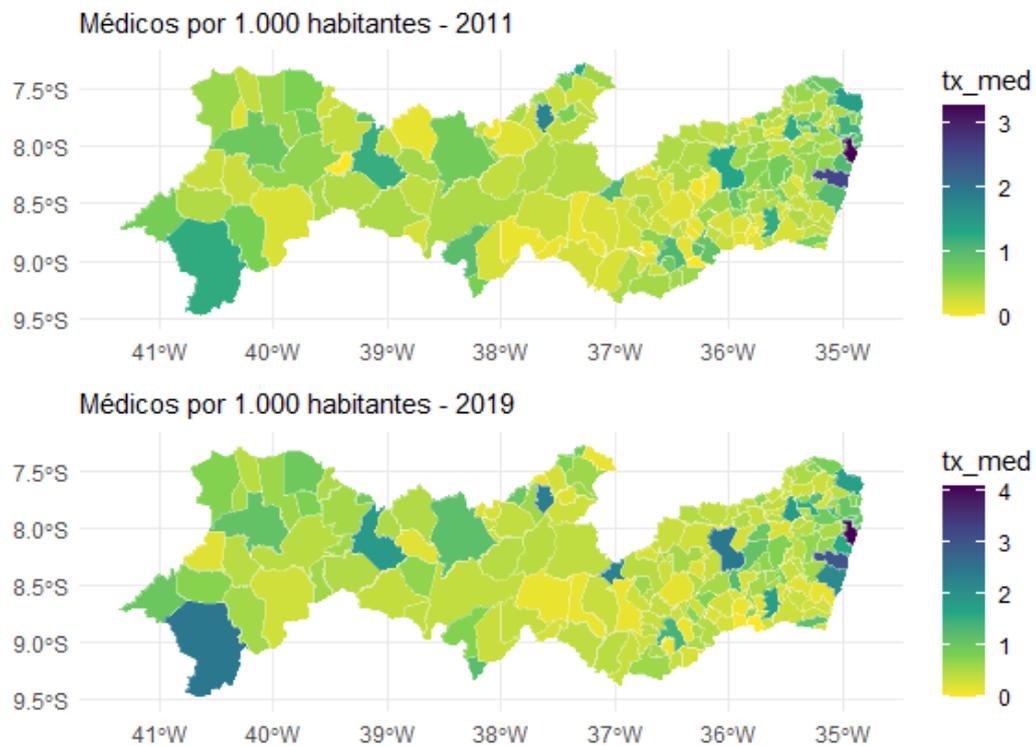


Fonte: GIS/DGIE/SECG-SES/PE.

Para trazermos uma contextualização sobre o cenário de saúde do Estado de Pernambuco, traremos alguns indicadores de saúde, sendo o primeiro deles a disponibilidade de médicos. Conforme pode ser visto na Figura 2, a distribuição de médicos no Estado é desigual, sendo concentrada justamente na região metropolitana do Recife e, como esperado, nas cidades de influência das regiões de saúde. Em 2011, Recife possuía uma

disponibilidade de 3,3 médicos por 1.000 habitantes, passando para 4,07 em 2019, acima da disponibilidade de 1,98 médicos por 1.000 habitantes do Nordeste e de 2,80 do Brasil, mas abaixo da disponibilidade das capitais (6,22). É possível perceber que a evolução na disponibilidade de médicos não se limitou ao Recife. Mesmo o mapa de 2019 possuindo uma escala maior, puxado por Recife, é possível perceber uma evolução em cidades como Petrolina, Arcoverde e Caruaru.

Figura 2 – Proporção de Médicos por 1.000 habitantes - Pernambuco (2011/2019)



Fonte: IEPS Data/Base dos Dados. Elaboração Própria.

Outro importante indicador, que diz respeito a infraestrutura de saúde disponível é a disponibilidade de leitos, que é apresentado na Figura 3. É possível perceber que não houve uma evolução significativa na disponibilidade de leitos entre 2011 e 2019; a média, inclusive, reduziu de 135 para 130 leitos por 100.000 habitantes. No entanto, é possível perceber que houve uma desconcentração entre as macrorregiões de saúde, uma vez que em 2011 mostrava uma concentração de leitos no sertão e na região metropolitana, enquanto em 2019 passou a apresentar uma maior equidade na distribuição.

Figura 3 – Proporção de Leitos por 100.000 habitantes - Pernambuco (2011/2019)

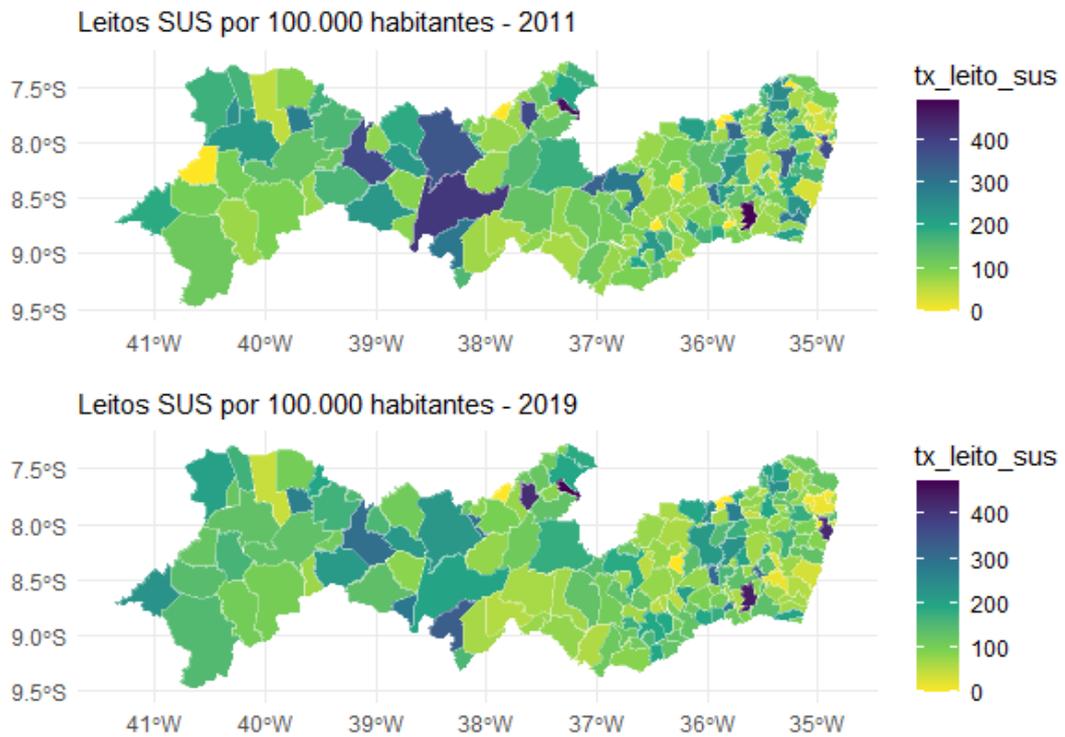
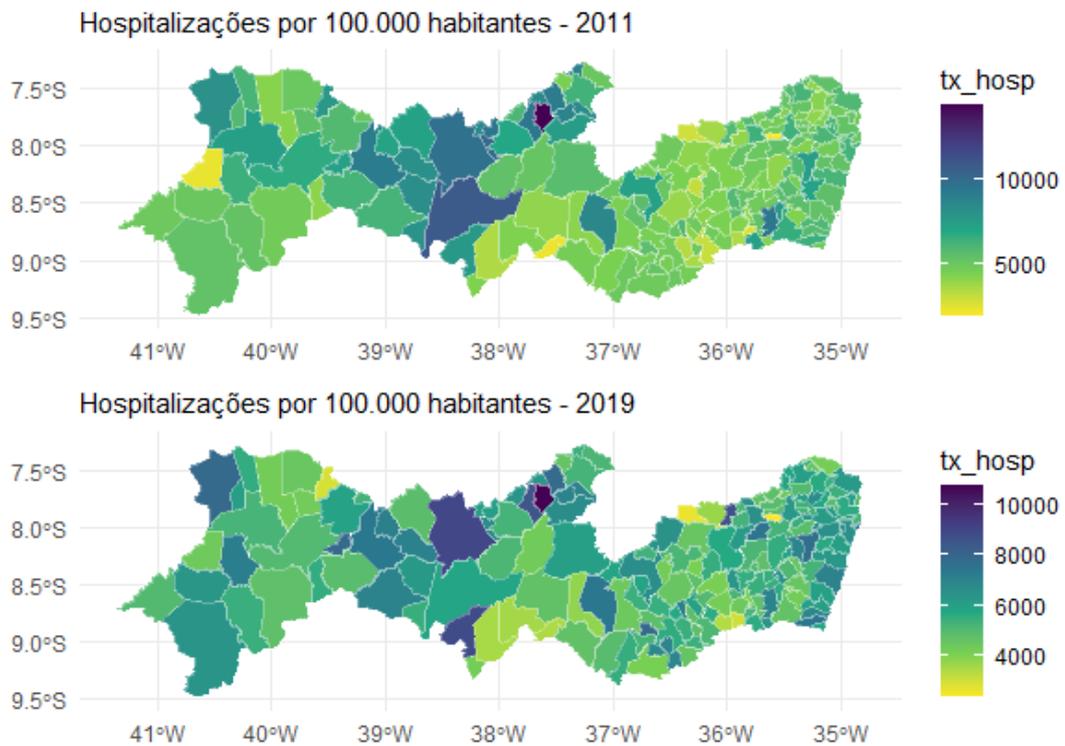


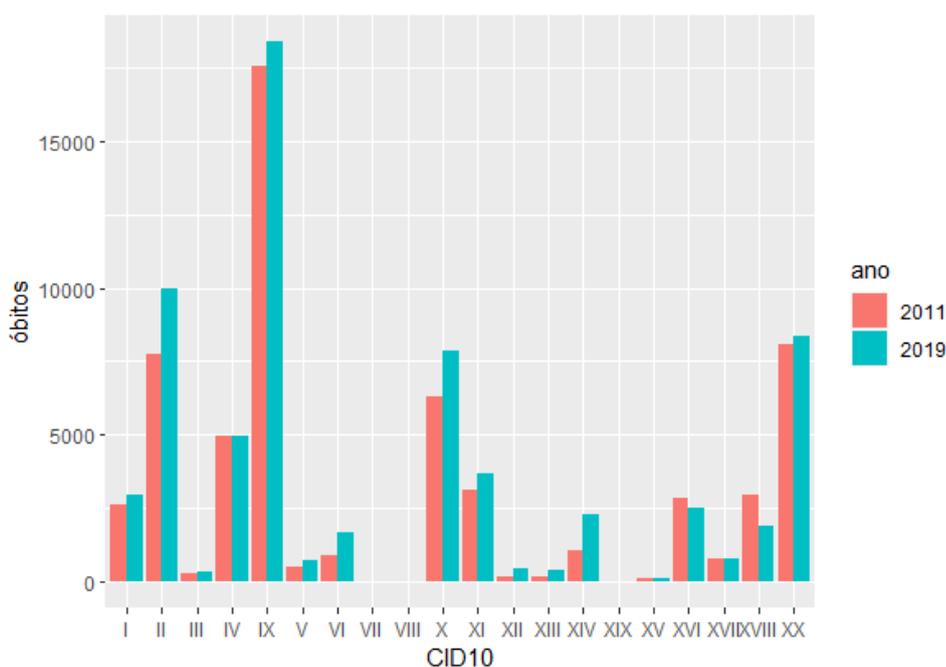
Figura 4 – Hospitalizações por 100.000 habitantes - Pernambuco (2011/2019)



Pelo fato de nosso trabalho abordar a saúde em uma perspectiva hospitalar, apresentamos na Figura 4 as hospitalizações por 100.000 habitantes por todas as causas. É possível perceber que entre 2011 e 2019 houve uma redução na escala, puxada pela cidade de Afogados da Ingazeira, líder em hospitalizações nos dois anos (redução de 14.426 para 10.754 hospitalizações por 100.000 habitantes). Essa queda também foi vista nas demais cidades que puxavam o ranking, embora numa proporção menor. A média, porém, aumentou de 5.586 para 5.620 hospitalizações por 100.000 habitantes. As hospitalizações por causas sensíveis à atenção primária, porém, teve sua média reduzida de 1.162 para 902 hospitalizações por 100.000 habitantes, o que pode demonstrar uma maior efetividade da atenção primária.

Finalmente, ainda na perspectiva hospitalar, apresentamos na Figura 5 os óbitos de acordo com os XX capítulos do Código Internacional de Doenças (CID) 10. É possível perceber que a principal causa de mortes foram "Doenças do aparelho circulatório"(Capítulo IX), seguida por "Neoplasmas ou Tumores"(Capítulo II), "Causas externas de morbidade e de mortalidade"(Capítulo XX), "Doenças do aparelho respiratório"(Capítulo X), "Doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas"(Capítulo IV), dentre outras. Essa apresentação é importante para conhecermos a realidade da saúde no Estado.

Figura 5 – Óbitos segundo a CID-10 - Pernambuco



Fonte: TABNET Pernambuco. Elaboração Própria.

2.3 Revisão da Literatura

Nas últimas décadas foram produzidos uma grande quantidade de trabalhos que realizaram aplicações de DEA na saúde, com foco principalmente em hospitais. [Kohl et al. \(2019\)](#) tiveram uma grande contribuição ao revisarem 262 publicações de 2005 a 2016 que realizaram esse tipo de aplicação, trazendo informações essenciais como o objeto destes trabalhos, a técnica utilizada, insumos e produtos adotados, além de cuidados e tópicos importantes para futuras publicações.

[Périco, Santana e Rebelatto \(2016\)](#) definem a DEA como uma técnica de pesquisa operacional, baseada em programação linear, com o objetivo de analisar comparativamente unidades independentes em termos de seu desempenho relativo. A ideia por trás da DEA é determinar a fronteira de melhores práticas das unidades tomadoras de decisão, ou *decision making units (DMUs)*, eficientes que envolva, também, todas as DMUs ineficientes. A ineficiência pode ser medida pela distância da DMU para a fronteira eficiente. Na abordagem DEA, o nível de eficiência é medido em uma escala que vai de 0 a 1, onde 1 é o nível máximo de eficiência e 0 é o nível máximo de ineficiência. A maior vantagem de realizar aplicações de DEA é por se tratar de uma abordagem não-paramétrica, o que significa que não é necessário especificar uma função de produção.

Na revisão realizada por [Kohl et al. \(2019\)](#), os autores destacaram alguns cuidados necessários em aplicações da técnica DEA, sendo estes os seguintes: i) o número de DMUs deve ser sempre maior que duas vezes a soma do número de insumos e produtos para garantir suficiente discriminação entre as unidades; ii) dados absolutos não devem ser misturados com dados relativos, uma vez que dados absolutos distinguem unidades pequenas de grandes, enquanto dados relativos não; iii) uma alta correlação entre dois insumos ou dois produtos não é motivo para omitir um deles, uma vez que esta é uma medida agregada para toda a amostra, podendo ser significativa no cálculo de eficiência de uma unidade individual ([KOHL et al., 2019](#)).

[Kohl et al. \(2019\)](#) também observaram, a partir da literatura consultada, que os principais insumos adotados nas aplicações DEA para a produção hospitalar foram o "número de leitos", profissionais "médicos" e "enfermeiros", enquanto "pacientes ambulatoriais", "outros/total de casos" e "pacientes internados" se apresentam como principais produtos das unidades hospitalares. Em nossa revisão, também buscamos observar insumos e produ-

tos utilizados nas aplicações de DEA, além de descrevermos o método utilizado, os quais podem ser vistos na Tabela 1. O conteúdo presente nesta tabela serviu de embasamento para a decisão sobre insumos e produtos utilizados em nossa análise.

Tabela 1 – Insumos e Produtos na Análise de Eficiência de Hospitais em Formulações DEA

Autor(es)	Insumos	Produtos	Técnica usada
Cheng et al. (2016)	número total de pessoal médico, número total de outros técnicos, número total de pessoal não médico, número real de leitos abertos	número de consultas ambulatoriais e de emergência, número de pacientes internados, número de registros eletrônicos de saúde da família sob controle e número de pacientes com doenças crônicas sob controle	DEA-Bootstrap com orientação ao produto (CRS e VRS) e Índice de Produtividade de Malmquist
Zhou et al. (2017)	número de médicos, número de enfermeiros, número de farmacêuticos, número de outros funcionários (pessoal médico e administrativo) e número de leitos	número de casos ambulatoriais e internados	DEA-BCC e DEA-CCR com orientação aos insumos e Índice de Produtividade de Malmquist
Silva et al. (2017)	número de leitos em operação e número de médicos e enfermeiros	número de pacientes internados e número de óbitos (inverso)	DEA-CCR com orientação ao produto
Flokou, Aletras e Niakas (2017)	número de leitos hospitalares, número de médicos e outros profissionais de saúde	número de casos hospitalizados, cirurgias e consultas ambulatoriais	Janela-DEA com orientação à insumos e Índice de Produtividade de Malmquist
Pirani et al. (2018)	número de internações hospitalares, número de enfermeiros e número de leitos disponíveis	média de tempo de permanência e intervalo de troca de leito	DEA-BCC com orientação ao produto e análise de regressão beta

Continua na próxima página.

Tabela 1 – Continuação da página anterior

Autor(es)	Insumos	Produtos	Técnica usada
Ghahremanloo et al. (2020)	número de trabalhadores da saúde e outros trabalhadores, e número de leitos de pacientes	taxa de ocupação de leitos e taxa de rotatividade de leitos	DEA-CCR, e sua extensão para o cálculo da eficiência, efetividade e produtividade (DEA-EEP), com orientação aos insumos
Nepomuceno et al. (2020)	número de enfermeiros, assistentes de enfermagem, técnicos de saúde habilitados, leitos de pacientes e custos com hospitalização	número de hospitalizações	DEA em dois estágios para realocação de leitos entre unidades hospitalares, de acordo com a complexidade e necessidade

Fonte: Elaboração própria.

No que tange ao processo de estimação, podemos observar trabalhos que utilizaram da abordagem DEA em sua forma mais tradicional, sendo eles os modelos DEA-BCC e DEA-CCR (SILVA et al., 2017; ZHOU et al., 2017; PIRANI et al., 2018; ALATAWI; NIESEN; KHAN, 2020), outros que utilizaram da combinação da DEA com a técnica de bootstrap, seguindo a proposta de Simar e Wilson (1998), para produzir estimativas mais robustas dentro da abordagem de DEA (LI; DONG, 2015; CHENG et al., 2016), além daqueles que incorporam a incerteza para se ajustar a eventos que exigem acomodar uma demanda não-prevista como foi a Covid-19 (MITROPOULOS; TALIAS; MITROPOULOS, 2015; POUR-MAHMOUD; BAGHERI, 2023). A aplicação de um segundo estágio na análise é também comumente utilizada em aplicações de DEA (CHOWDHURY; ZELENYUK, 2016; LINDLBAUER; SCHREYÖGG; WINTER, 2016; MUJASI; ASBU; PUIG-JUNOY, 2016; SAMUT; CAFRI, 2016; CHENG et al., 2016; FLOKOU; ALETRAS; NIAKAS, 2017; ZHOU et al., 2017).

No contexto das aplicações de DEA na área da saúde no Brasil, é possível distingui-las a partir do objeto de suas análises. Parte dos estudos têm como objetivo avaliar a eficiência dos serviços de saúde no nível da localidade, tais como municípios, microrregiões, regiões de saúde ou estados (QUEIROZ et al., 2013; SILVA; POKER JUNIOR et al., 2022; MARINHO et al., 2023), enquanto outros focam na avaliação da eficiência hospitalar, sendo que na maioria das vezes a amostra é construída considerando a especialidade ou propriedade

do hospital, ou mesmo a complexidade dos procedimentos realizados por ele (LINS et al., 2007; LOBO et al., 2016; BOTEGA; ANDRADE; GUEDES, 2020; LETTI; BITTENCOURT; VILA, 2022).

Os resultados obtidos por estes trabalhos nos permite perceber que a elevação do volume de recursos disponíveis não é uma condição suficiente para a eficiência (QUEIROZ et al., 2013; SILVA; POKER JUNIOR et al., 2022), mas que a restrição de recursos pode ser sim um entrave para o aumento da eficiência (MARINHO et al., 2023). Dentro da estrutura de resultados também foi possível perceber que a experiência pode ser um fator relevante para um melhor desempenho, fazendo com que unidades mais jovens performem em níveis de eficiência mais baixa que unidades mais estabelecidas (LETTI; BITTENCOURT; VILA, 2022).

Finalmente, olhando especificamente para estudos que tiveram como foco avaliar as unidades hospitalares de Pernambuco a partir da DEA, tal qual o presente estudo, observamos dois principais trabalhos. Desconsideramos trabalhos que realizaram esse tipo de análise para o nível municipal ao invés da unidade hospitalar (SILVA, 2020; DIAS, 2016). Freire (2021) avaliou 9 maternidades públicas do Estado, no período de 2008 a 2018, observando que os melhores índices de eficiência foram obtidos pelas unidades geridas por organizações sociais. A unidade de saúde com maior nível de eficiência variou a depender da orientação do modelo e dos rendimentos de escala.

Costa (2022) analisou a eficiência das unidades hospitalares de Pernambuco, podendo extrair os seguintes resultados: i) as unidades de saúde públicas apresentaram melhores resultados de eficiência, em detrimento das privadas e filantrópicas; ii) unidades geridas por organização social possuem maior eficiência que aquelas geridas pela administração direta, embora a tendência mostre que as melhorias caminham no sentido oposto; iii) o Hospital Agamenon Magalhães foi o único de grande porte a apresentar eficiência média acima de 0,90; e iv) o modelo CRS apresentou maior poder de discriminação nos resultados de eficiência.

2.4 Dados

Como apresentado na Tabela 1, a técnica DEA envolve a seleção de insumos e produtos para sua estimação. Para a realização da pesquisa utilizamos dados para Pernambuco

ao nível de unidade hospitalar, tendo considerado hospitais gerais e hospitais especializados, do período de 2011 a 2019. O ano inicial foi escolhido devido a disponibilidade de dados, enquanto o ano final foi escolhido visando excluir os efeitos da pandemia nos indicadores de eficiência. Nossos dados referentes à produção hospitalar advém do Tabnet da Secretaria de Saúde de Pernambuco, enquanto os dados de insumos são oriundos do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) do DataSUS, mas obtidos por meio da Base dos Dados (organização não-governamental sem fins lucrativos e *open source*). Optou-se também por selecionar apenas hospitais que possuíam ao menos 10 leitos, pois a quantidade de profissionais para administrar a produção hospitalar foi considerada muito destoante para considerar suas eficiências.

Nossos insumos incluem o número de leitos totais, médicos e profissionais de enfermagem (enfermeiros, técnicos e auxiliares de enfermagem), sendo que os profissionais são apresentados a partir do Equivalente de Tempo Integral - ETI, o que significa que a jornada de trabalho é quem dita a quantidade de profissionais. Aqui consideramos que o profissional que cumpre mensalmente uma jornada de 44 horas semanais é equivalente a 1 profissional, então 2 profissionais que atuam mensalmente com uma carga horária de 22h equivalem a um único profissional. Esse artifício foi necessário devido a carga horária diferenciada dos profissionais de saúde, o que poderia levar a uma comparação implausível. Além disso, uma vez que os dados referentes aos insumos são disponibilizados numa frequência mensal, consideramos a média anual dos insumos, o que só foi possível por verificarmos a baixa variabilidade desses dados. Já se tratando de produtos, nossos dados incluem autorizações de internação hospitalar (AIH) anuais, com informações de altas com status curado e melhorado. As estatísticas descritivas são apresentadas na Tabela 2.

No que tange ao processo de geração de uma AIH por um hospital credenciado, para fins de esclarecimento, ele é dado da seguinte forma: no momento em que o paciente dá entrada em uma unidade hospitalar para internação, o responsável por essa internação preenche o formulário (laudo para a emissão da AIH), o que gera um número de autorização, que se refere à internação, e não ao paciente. As unidades hospitalares participantes do SUS (públicas ou particulares conveniadas) são responsáveis por informar os gestores municipais (se em gestão plena) ou estaduais (para os demais) sobre as internações produzidas através de uma AIH. Estas informações são consolidadas no DATASUS.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos insumos e produtos selecionados

Variável	Média	D.P.	Mín	Máx
Leitos	85,45	121,13	10	771
Médicos em ETI*	45,46	101,85	0,89	1.039,07
Prof. de Enfermagem em ETI*	122,87	258,54	0,68	3.350,73
AIH Pagas	3.569,74	6.147,70	1	54.980
Alta curado	158,44	396,70	0	2.856
Alta melhorado	2.024,15	3.940,69	0	36.372

Nota: 44 horas de trabalho semanal é a jornada-base para nosso Equivalente de Tempo Integral (ETI).

Fonte: Elaboração própria.

2.5 Procedimentos Metodológicos

A realização de uma análise relativa ao desempenho dos hospitais do Estado de Pernambuco requer a escolha e aplicação de um método científico. Como apresentado na revisão da literatura, o uso da técnica DEA é fortemente usada em estruturas não-paramétricas para obter pontuações de eficiência de unidades tomadoras de decisão (DMUs), podendo ser estas: firmas, indivíduos, governos e etc. Esta técnica nos remete às definições de eficiência técnica e alocativa na produção fornecidas por Farrell (1957) e é baseada em técnicas de programação linear. A DEA tem como principais referências metodológicas os estudos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), para o caso de retornos constantes à escala ou CRS, e Banker, Charnes e Cooper (1984), para o caso de retornos variáveis à escala ou VRS.

Na estimação das pontuações de eficiência das DMUs, além da decisão sobre os rendimentos de escala (retornos constantes à escala ou retornos variáveis à escala) é também necessário decidir sobre a orientação do modelo, a saber, orientação aos insumos ou ao produto. No primeiro caso, o objetivo é obter o menor uso de insumos para um dado nível de produto, enquanto no segundo caso o objetivo é obter o nível máximo de produto mantendo os insumos fixos. Como no nosso caso estamos interessados em maximizar a produção hospitalar diante dos insumos disponíveis, optaremos por um modelo orientado ao produto.

Quando buscamos realizar análises práticas de eficiência, na maioria dos casos estamos diante de múltiplos insumos (produtos), e nesse caso a técnica DEA se torna ainda mais

relevante, pois nesses casos é necessário atribuir pesos a esses, a fim de calcular a razão de produtos e insumos ponderados (TZIOGKIDIS, 2012).

A formulação do problema de otimização a ser resolvido envolve algumas definições. Assim, consideramos que existe uma tecnologia $T = \{(X, Y) : X \geq X\lambda, Y \leq Y\lambda, \lambda \geq 0\}$ que produz $Y_j = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{is}) \geq 0$ usando insumos $X_j = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{is}) \geq 0$. A relação existente entre esses dois conjuntos e as suposições que podem se fazer a partir deles foram discutidas por Sheppard (1971), sendo o livre descarte e a convexidade os principais pressupostos dessa relação.

Assim, a eficiência orientada ao produto para uma dada DMU_o pode ser definida como a solução para o problema de otimização representado na Equação 2.1 (no caso de retornos constantantes à escala ou CCR).

$$\begin{aligned}
 & \min \frac{v^T X_o}{\mu^T Y_o} \\
 & \text{s.a } \frac{v^T X_j}{\mu^T Y_j} \geq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
 & \frac{u}{\mu^T Y_o} \geq \varepsilon \vec{1} \\
 & \frac{v}{\mu^T Y_o} \geq \varepsilon \vec{1}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

De acordo com Charnes et al. (1997), a característica essencial da construção da razão CCR é a redução da situação de múltiplas saídas e múltiplas entradas (para cada DMU) a uma única saída "virtual" e uma única entrada "virtual". Temos então que a proporção dessa única saída virtual para uma única entrada virtual fornece uma medida de eficiência que é uma função dos multiplicadores.

Um problema existente nessa formulação, na forma de razão, é que ela possui um número infinito de soluções, sendo necessário utilizar a transformação proposta por Charnes e Cooper (1962a) para obtermos sua forma multiplicadora, passível de ser resolvida por meio de um problema de programação linear (Equação 2.2) e possuindo também um problema dual associado (Equação 2.3).

$$\begin{aligned}
\max \quad & z_o = \phi + \varepsilon \cdot \vec{1}s^+ + \varepsilon \cdot \vec{1}s^- & \min \quad & v^T X_o \\
\text{s.a} \quad & \phi Y_o - Y\lambda + s^+ = 0 & \text{s.a} \quad & \mu^T Y_o = 1 \\
& X\lambda + s^- = X_o & & -\mu Y + v^T X \geq 0 \quad (2.3) \\
& \lambda, s^+, s^- \geq 0 & & \mu^T \geq \varepsilon \cdot \vec{1} \\
& & & v^T \geq \varepsilon \cdot \vec{1}
\end{aligned}$$

Primal CCR produto-orientado

Dual CCR produto-orientado

Como em muitas das vezes estamos em situações de DMUs heterogêneas, como é o caso das unidades hospitalares, o modelo CRS torna-se inadequado para a obtenção de estimativas de eficiência robustas, e, nesse caso, passamos a utilizar o modelo BCC ou VRS, que permite retornos variáveis à escala, estando sua formulação apresentada na Equação 2.4.

$$\begin{aligned}
\min \quad & \frac{vX_o + \tilde{v}_o}{uY_o} \\
\text{s.a} \quad & \frac{vX_j + \tilde{v}_o}{uY_j} \geq 1 \quad j = 1, \dots, n \\
& \frac{u}{uY_o} \geq \varepsilon \vec{1} \\
& \frac{v}{uY_o} \geq \varepsilon \vec{1}
\end{aligned} \quad (2.4)$$

A transformação de [Charnes e Cooper \(1962a\)](#) para resolução do problema acima na forma de programação linear e seu problema dual associado são apresentadas nas Equações 2.5 e 2.6, respectivamente. Destaca-se que a obtenção de uma formulação com retornos variáveis à escala se dá a partir da adição de uma restrição no modelo CCR.

$$\begin{aligned}
\max \quad & z_o = \phi + \varepsilon \cdot \vec{1}s^+ + \varepsilon \cdot \vec{1}s^- & \min \quad & v^T X_o + v_o \\
\text{s.a} \quad & \phi Y_o - Y\lambda + s^+ = 0 & \text{s.a} \quad & \mu^T Y_o = 1 \\
& X\lambda + s^- = X_o & & -\mu Y + v^T X + v_o \cdot \vec{1} \geq 0 \\
& \vec{1}\lambda = 1 & & \mu^T \geq \varepsilon \cdot \vec{1} \\
& \lambda, s^+, s^- \geq 0 & & v^T \geq \varepsilon \cdot \vec{1}
\end{aligned} \quad (2.5)$$

Primal BCC produto-orientado

 v_o é irrestrito em sinal

Dual BCC produto-orientado

No entanto, é importante destacar que a abordagem DEA, em sua concepção original, enfrenta algumas limitações na obtenção dos resultados de eficiência consistentes, o que fez com que, ao longo das últimas décadas, pesquisadores enveredassem esforços em obter estimativas mais robustas, como é o caso da associação da DEA ao método de reamostragem Bootstrap, como optamos por aplicar neste trabalho.

Nosso estudo consiste em uma abordagem DEA em três estágios, sendo estes: DEA-Bootstrap, análise de regressão e estimação do índice de produtividade de Malmquist. A opção de construir uma análise em três estágios é trazer um panorama mais completo sobre o desempenho das unidades hospitalares do Estado de Pernambuco, observando as pontuações de eficiência, características inerentes a um melhor desempenho produtivo, bem como a evolução de unidades ao longo do tempo. De forma resumida, faremos uma apresentação sobre cada um dos três estágios de emprego da DEA.

2.5.1 Primeiro Estágio: Análise Envoltória de Dados com Correção de Viés a Partir de Bootstrap

Diante das limitações existentes nos tradicionais modelos de DEA, a metodologia proposta por [Simar e Wilson \(1998\)](#) passou a ganhar especial atenção daqueles que tinham como objetivo obter pontuações de eficiência mais consistentes para as unidades tomadoras de decisão de interesse. A técnica de Bootstrap, introduzida em 1979 por Bradley Efron, foi vista como uma ferramenta atrativa para analisar a sensibilidade dos escores de eficiência na presença de variações amostrais. A partir da abordagem DEA-Bootstrap de [Simar e Wilson \(1998\)](#) os escores de eficiência estimados passaram a ser obtidos a partir de numerosas amostragens repetidas, produzindo assim escores de eficiência corrigidos para viés e intervalos de confiança no nível α , aumentando a precisão das pontuações de eficiência obtidas ([LI; DONG, 2015](#)).

O algoritmo proposto por [Simar e Wilson \(1998\)](#) para aplicação do DEA-Bootstrap segue os seguintes passos:

- i. Primeiramente, utiliza-se o tradicional problema de programação linear da DEA para calcular os escores de eficiência;
- ii. Em seguida, realiza-se seleções com reposição na distribuição empírica dos escores de eficiência. [Simar e Wilson \(1998\)](#) sugerem suavizar a distribuição empírica para obter

resultados mais consistentes;

iii. Então, divide-se os níveis de entrada eficientes originais pelos escores de pseudo-eficiência desenhados da distribuição empírica (suavizada) para obter um conjunto de pseudo-insumos de bootstrap;

iv. Por fim, calcula-se os escores de eficiência de bootstrap;

v. Os passos ii-iv são repetidos B vezes.

Desse modo, da abordagem proposta por Simar e Wilson (1998) podemos calcular o viés de bootstrap, que é obtido a partir do estimador original da DEA:

$$\begin{aligned} Bias(\hat{\theta}_k) &= E(\hat{\theta}_k) - \hat{\theta}_k \\ Bias(\hat{\theta}_k) &= B^{-1} \sum_{b=1}^B (\hat{\theta}_{kb}^*) - \hat{\theta}_k \end{aligned} \quad (2.7)$$

E com isso obter o score de eficiência corrigido pelo viés:

$$\tilde{\theta}_k = \hat{\theta}_k - Bias(\hat{\theta}_k) = 2\hat{\theta}_k - B^{-1} \sum_{b=1}^B (\hat{\theta}_{kb}^*) \quad (2.8)$$

A rotina para obter uma estimativa DEA robusta pode ser realizada a partir da função "bootstrap_basic" do pacote "deaR", desenvolvido por Vicente Coll-Serrano, Vicente Bolos e Rafael Benitez, implementado no Software R. Essa rotina foi desenvolvida seguindo o algoritmo proposto por Simar e Wilson (1998) ¹.

2.5.2 Segundo Estágio: Análise de Regressão com Variáveis Ambientais

A adoção de uma análise em segundo estágio, que visa regredir os escores de eficiência encontrados no primeiro estágio em relação às variáveis ambientais, é comumente utilizada na literatura (MATSUMOTO; CHEN, 2021; ERVURAL; ZAIM; DELEN, 2018; DEYNELI, 2012; İLGÜN et al., 2022; SAMUT; CAFRI, 2016). Kohl et al. (2019) destacam que em aplicações voltadas à hospitais, a maioria dos pesquisadores realizavam estimações usando uma regressão Tobit, mas que desde o trabalho de Simar e Wilson (2007), que propuseram um modelo de regressão truncada (*bootstrapped*), este passou a ser considerado o estado da arte na análise de segundo estágio com uso de variáveis ambientais.

¹ Para mais detalhes, ver <https://cran.r-project.org/web/packages/deaR/deaR.pdf>.

Simar e Wilson (2007) destacam que o método proposto por eles têm como objetivo superar problemas relativos à correlação serial e viés na estimação da pontuação de eficiência, além da correlação entre o termo de erro e as variáveis ambientais. Dessa forma, os autores propuseram dois procedimentos bootstrap para o problema de estimação de eficiência em dois estágios. Descreveremos em passos os dois algoritmos propostos por Simar e Wilson (2007). Destaca-se que os dois primeiros passos são iguais em ambos os algoritmos, mas os autores observam que devido ao algoritmo 2 requerer apenas um pequeno aumento na carga computacional em relação ao 1, por possuir um melhor desempenho nas simulações feitas, seu uso em detrimento do primeiro pode ser justificado.

O primeiro algoritmo consiste nos seguintes passos:

- 1 Calcular $\hat{\theta}_i$ para todas as DMUs $i = 1, \dots, N$ usando o DEA;
- 2 Utilizar aquelas M (com $M < N$) DMUs, para as quais $\hat{\theta}_i \geq 1$ é válido, em uma regressão truncada (truncamento à esquerda em 1) de $\hat{\theta}_i$ em z_i para obter estimativas dos coeficientes $\hat{\beta}$ e uma estimativa para o parâmetro de variância $\hat{\sigma}$ por máxima verossimilhança;
- 3 Repetir os seguintes passos 3.1-3.3 B vezes, para obter um conjunto de B estimativas bootstrap $(\hat{\beta}^b, \hat{\sigma}^b)$, com $b = 1, \dots, B$;
 - 3.1. Para cada DMU $i = 1, \dots, M$, desenhar um erro artificial $\tilde{\varepsilon}_i$ da distribuição truncada $N(0, \hat{\sigma}^b)$ com truncamento à esquerda em $1 - z_i \hat{\beta}$;
 - 3.2. Calcular os escores de eficiência artificiais $\tilde{\theta}_i$, como $z_i \hat{\beta} + \tilde{\varepsilon}_i$ para cada DMU $i = 1, \dots, M$;
 - 3.3. Realizar uma regressão truncada (truncamento à esquerda em 1) de $\tilde{\theta}_i$ em z_i para obter estimativas de máxima verossimilhança bootstrap $\hat{\beta}^b$ e $\hat{\sigma}^b$;
- 4 Calcular intervalos de confiança e erros padrão para $\hat{\beta}$ e $\hat{\sigma}$ a partir da distribuição bootstrap de $\hat{\beta}^b$ e $\hat{\sigma}^b$.

Já o segundo algoritmo consiste nos seguintes passos:

- 1 Calcular $\hat{\theta}_i$ para todas as DMUs $i = 1, \dots, N$ usando o DEA;
- 2 Utilizar aquelas M (com $M < N$) DMUs, para as quais $\hat{\theta}_i \geq 1$ é válido, em uma regressão truncada (truncamento à esquerda em 1) de $\hat{\theta}_i$ em z_i para obter estimativas dos coeficientes $\hat{\beta}$ e uma estimativa para o parâmetro de variância $\hat{\sigma}$ por máxima verossimilhança;
- 3 Repetir os seguintes passos 3.1-3.4 B_1 vezes, para obter um conjunto de B_1 estimativas bootstrap $\hat{\theta}_i^b$ para cada DMU $i = 1, \dots, N$, com $b = 1, \dots, B_1$;
 - 3.1 Para cada DMU $i = 1, \dots, N$, desenhar um erro artificial $\tilde{\varepsilon}_i$ da distribuição truncada $N(0, \hat{\sigma})$ com truncamento à esquerda em $1 - z_i \hat{\beta}$;

- 3.2 Calcular os escores de eficiência artificiais $\tilde{\theta}_i$, como $z_i\hat{\beta} + \tilde{\epsilon}_i$ para cada DMU $i = 1, \dots, N$;
- 3.3 Gerar $i = 1, \dots, N$ DMUs artificiais com quantidades de insumos $\tilde{x}_i = x_i$ e quantidades de produtos $\tilde{y}_i = (\frac{\hat{\theta}_i}{\theta_i})y_i$;
- 3.4 Use as N DMUs artificiais, geradas no passo 3.3, como referência ao conjunto na DEA que produz $\hat{\theta}_i^b$ para cada DMU original $i = 1, \dots, N$;
- 4 Para cada DMU $i = 1, \dots, N$, calcule o escore de eficiência corrigido pelo viés $\hat{\theta}_i^{bc}$ como $\hat{\theta}_i - (\frac{1}{B_1} \sum_{b=1}^{B_1} \hat{\theta}_i^b - \hat{\theta}_i)$;
- 5 Realizar uma regressão truncada (truncamento à esquerda em 1) de $\hat{\theta}_i^{bc}$ em z_i para obter o coeficiente estimado $\hat{\beta}$ e uma estimativa para o parâmetro da variância $\hat{\sigma}$ por máxima verossimilhança;
- 6 Repetir os seguintes passos 6.1-6.3 B_2 vezes, para obter um conjunto de B_2 estimativas bootstrap $\hat{\beta}^b, \hat{\sigma}^b$, com $b = 1, \dots, B_2$;
- 6.1. Para cada DMU $i = 1, \dots, N$, desenhar um erro artificial $\tilde{\epsilon}_i$ da distribuição truncada $N(0, \hat{\sigma}^b)$ com truncamento à esquerda em $1 - z_i\hat{\beta}$;
- 6.2. Calcular os escores de eficiência artificiais $\tilde{\theta}_i$, como $z_i\hat{\beta} + \tilde{\epsilon}_i$ para cada DMU $i = 1, \dots, N$;
- 6.3. Realizar uma regressão truncada (truncamento à esquerda em 1) de $\tilde{\theta}_i$ em z_i para obter estimativas bootstrap $\hat{\beta}^b$ e $\hat{\sigma}^b$ por máxima verossimilhança;
- 7 Calcular intervalos de confiança e erros padrão para $\hat{\beta}$ e $\hat{\sigma}$ a partir da distribuição bootstrap de $\hat{\beta}^b$ e $\hat{\sigma}^b$.

Com a descrição do algoritmo, e considerando que o escore de eficiência corrigido pelo viés é calculado no primeiro estágio, já utilizando a abordagem de [Simar e Wilson \(1998\)](#), podemos partir para a estimação da regressão truncada das estimativas DEA nas covariáveis. A regressão pode ser expressa da seguinte forma:

$$Eff_{imt} = \beta_0 + \beta_1 Prop_{imt} + \beta_2 Tam_{imt} + \epsilon_{imt} \quad (2.9)$$

onde os subscritos i , m e t representam, respectivamente, unidade de saúde, município e ano, e Eff é relativo à pontuação de eficiência da unidade. A covariável $Prop$ se refere à natureza da gestão (administrações direta, indireta, filantrópica e privada) e Tam se refere ao porte do hospital (portes pequeno, médio e grande). A estimação é realizada a

partir do pacote "simarwilson" do Stata, seguindo o algoritmo aqui apresentado. ²

2.5.3 Terceiro Estágio: Índice de Produtividade de Malmquist

O terceiro estágio consiste na aplicação do índice de produtividade de Malmquist, que tem sua utilidade na aplicação do algoritmo DEA para calcular a razão entre as distâncias à fronteira de uma mesma DMU em dois períodos do tempo. Pelo fato de ser factível que mudanças ao longo do tempo ocorram, o objetivo ao utilizar o índice de Malmquist é para verificar se houve mudança na eficiência, na medida que uma DMU pode ter se aproximado da fronteira, ou se ocorreu uma mudança técnica, que é o caso em que ocorre deslocamento da fronteira (MONTEIRO, 2015).

A mudança ocorrida entre o período t e $t+1$ medida pelo índice de produtividade de Malmquist é apresentada pela equação a seguir:

$$M_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\left(\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \right) \left(\frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

em que x_t e y_t representam, respectivamente, os volumes de insumos e produtos da DMU no instante t e D_o^t denota a distância à fronteira no instante t medida em termos de eficiência relativa, conforme calculado pelo modelo DEA com orientação ao produto. Esta equação pode ser reescrita como:

$$M_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \left[\left(\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left(\frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (2.11)$$

onde o termo fora do colchete é a variação da eficiência técnica do período t para o período $t+1$, e o termo restante mede a mudança de tecnologia entre os dois períodos de tempo. Se o índice M_o for maior que 1, significa que houve melhoria na produtividade dos serviços disponibilizados pela unidade hospitalar, caso contrário temos uma redução na produtividade.

A rotina para obter uma estimativa para o Índice de Produtividade de Malmquist (decomposto em mudança na eficiência e mudança técnica) pode ser realizada a partir da função "malmquist_index", também do pacote "deaR".

² Para mais detalhes, ver <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1536867X19893640>.

2.6 Resultados e Discussão

2.6.1 DEA Bootstrap

Os resultados para o primeiro estágio de nossa análise, seguindo [Simar e Wilson \(1998\)](#), são resumidos na Tabela 3. Uma vez que temos um número excessivo de unidades hospitalares para cada um dos anos, seria inviável realizar uma apresentação de forma desagregada, de forma que optamos por apresentar a média das eficiências por porte e natureza de gestão. A caracterização de porte segue a definição estabelecida pelo Ministério da Saúde. Além disso, apresentamos nas figuras 6 e 7 uma distribuição dos resultados de eficiências utilizando-se da densidade de Kernel, separados em hospitais geridos pelas administração pública direta e as demais formas de gestão.

Olhando primeiramente para o porte dos hospitais, é possível perceber que, ao longo do tempo, a eficiência média dos hospitais de portes grande e especial (acima de 150 leitos) aumentou, enquanto os hospitais de pequeno e médio porte permaneceu quase que constante, e em um baixo nível. Além disso, em linhas gerais, um porte maior parece estar relacionado com maiores níveis de eficiência, haja vista que a eficiência média dos hospitais de menor porte foi, desde 2017, a metade daqueles de maior porte.

Já quando olhamos para a natureza da gestão, é possível perceber que enquanto houve uma redução na eficiência média dos hospitais privados e para uma autarquia pública (Centro Universitário Integrado de Saúde Amaury Medeiros), houve um aumento na eficiência média dos demais, com destaque para as fundações públicas, como é o caso dos hospitais universitários e do Hospital da Restauração. É possível perceber, também, que enquanto no início da série os hospitais privados e a autarquia pública possuíam os maiores níveis de eficiência, no final da série esse destaque foi para a autarquia e fundações públicas.

Para fins de comparação, também realizamos uma estimativa visando incorporar a qualidade, onde a estimação foi refeita considerando como *outputs* as variáveis altas com status curado e melhorado. Encontramos uma correlação de 0,79 entre as duas estimativas (Figura 12), uma correlação alta, mostrando que a eficiência a partir de um indicador de produção hospitalar simples, como é a AIH, possui uma alta relação com a qualidade da produção hospitalar.

Finalmente, quando comparamos nossos resultados com aqueles apresentados na literatura, podemos perceber que nossos resultados reforçam os resultados obtidos por [Costa \(2022\)](#), que mostra que a eficiência de unidades geridas por organização social são superiores as geridas pela administração direta, embora ambas tenham melhorado seus desempenhos ao longo do tempo. Nossos resultados, porém, são diferentes dos encontrados por [Freire \(2021\)](#), embora este tenha olhado apenas para maternidades, uma vez que encontramos que as fundações públicas e a autarquia da administração indireta apresentaram melhores níveis de eficiência que as entidades beneficentes sem fins lucrativos, as quais tiveram desempenho superior no trabalho destacado.

Além disso, para identificar hospitais que se destacam como *benchmark*, pois demonstraram bom desempenho em múltiplos anos da série, é possível destacar: Hospital Regional Fernando Bezerra, Hospital Dom Malan, Hospital São Thiago, Hospital e Maternidade Nossa Senhora de Lourdes, Hospital de Câncer de Pernambuco, Hospital Infantil Palmira Sales, Centro Hospitalar Dr. José Evoide de Moura, Hospital Professor Agamenon Magalhães e Hospital de Caruaru Jesus Nazareno.

Como destaques negativos, temos: Hospital Jayme da Fonte, Hospital Municipal de Jatobá, Hospital Memorial Arcoverde, Unidade Hospitalar de Igarassu, Hospital Cidade Patrimônio, Hospital Mendo Sampaio, Maternidade Brites de Albuquerque, Sociedade Hospitalar Beneficente Maria Vitória e Hospital de Rio Formoso.

Quando olhamos para o modelo que considera a qualidade, a partir das altas com status curado e melhorado, temos como destaques positivos os seguintes hospitais: Hospital Evangélico de Pernambuco, Hospital Regional Fernando Bezerra, Hospital Maria Lucinda, Hospital Dom Helder Câmara, Hospital Professor Agamenon Magalhães, Maternidade Padre Geraldo Leite Bastos e Centro Hospitalar Santa Maria. Já como destaques negativos, temos: Sociedade Hospitalar Maria Vitória, Materlínica, Hospital Memorial Arcoverde, Hospital Municipal de Jatobá, Hospital Josefa Cordeiro Vilaça, Hospital Municipal Nossa Senhora de Fátima e Hospital Alice Batista dos Anjos.

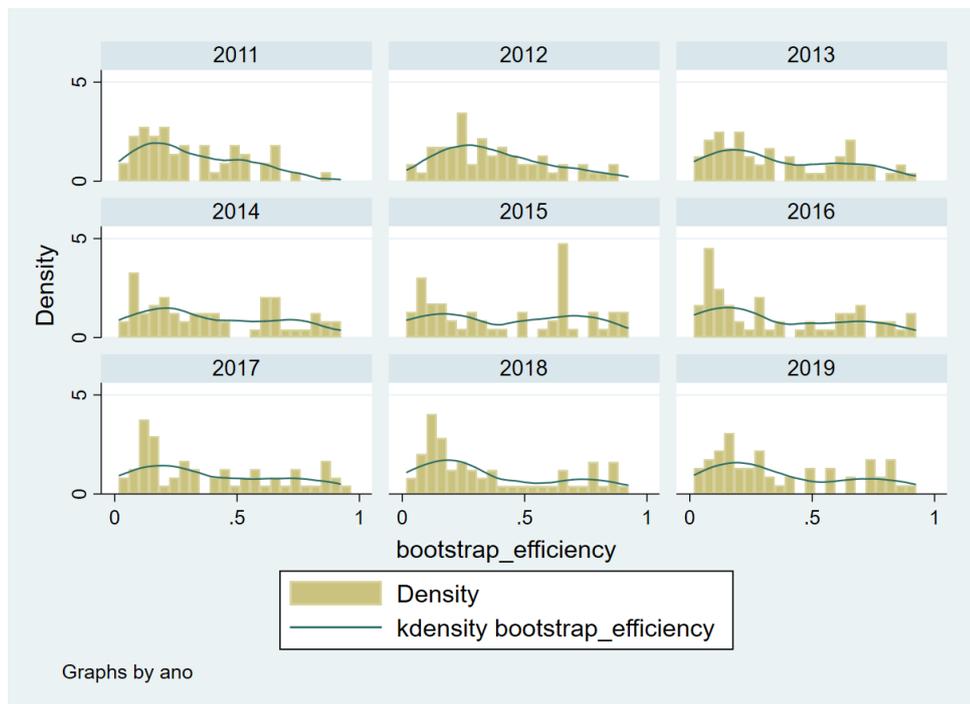
Tabela 3 – Eficiência média corrigida pelo viés de bootstrap, por diferentes características, considerando as AIH's emitidas como produto - 2011-2019

Descrição	2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	$\tilde{\theta}_k$	N																
Natureza da gestão																		
Adm. indireta - autarquias	0,790	1	0,524	1		0	0,693	1	0,866	1	0,926	1	0,739	1	0,666	1	0,614	1
Adm. indireta - fund. pública	0,489	8	0,553	8	0,615	8	0,615	8	0,616	8	0,616	8	0,634	8	0,622	8	0,595	8
Adm. direta da saúde	0,289	72	0,349	77	0,377	79	0,382	76	0,403	79	0,366	81	0,389	83	0,358	84	0,381	75
Empresa privada	0,526	32	0,534	32	0,477	30	0,398	28	0,404	27	0,382	25	0,449	21	0,407	20	0,323	18
Entidade sem fins lucrativos	0,420	25	0,446	26	0,514	29	0,542	28	0,545	29	0,512	28	0,489	27	0,491	31	0,481	28
Fundação privada		0		0	0,015	1	0,154	1	0,290	1	0,326	1		0		0		0
Porte																		
Pequeno (até 49 leitos)	0,322	72	0,367	76	0,357	81	0,342	74	0,369	78	0,318	77	0,331	75	0,318	76	0,302	64
Médio (50 a 150 leitos)	0,442	49	0,481	50	0,529	48	0,522	49	0,523	48	0,505	48	0,540	46	0,483	50	0,477	48
Grande (151 a 500 leitos)	0,463	13	0,473	14	0,538	14	0,537	15	0,562	15	0,579	15	0,573	15	0,587	14	0,602	14
Especial (acima de 500 leitos)	0,496	4	0,485	4	0,528	4	0,554	4	0,579	4	0,577	4	0,620	4	0,646	4	0,641	4

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar a distribuição das eficiências dos hospitais geridos pela administração direta (6), observa-se uma assimetria à esquerda na maior parte dos anos. Isso indica que a maioria dessas unidades hospitalares apresenta níveis de eficiência abaixo de 0,5, evidenciando altos níveis de ineficiência. No entanto, é importante destacar que, ao comparar o primeiro e o último ano da série, nota-se um achatamento da curva de densidade, embora ainda modesto, sugerindo uma leve melhoria na eficiência ao longo do tempo.

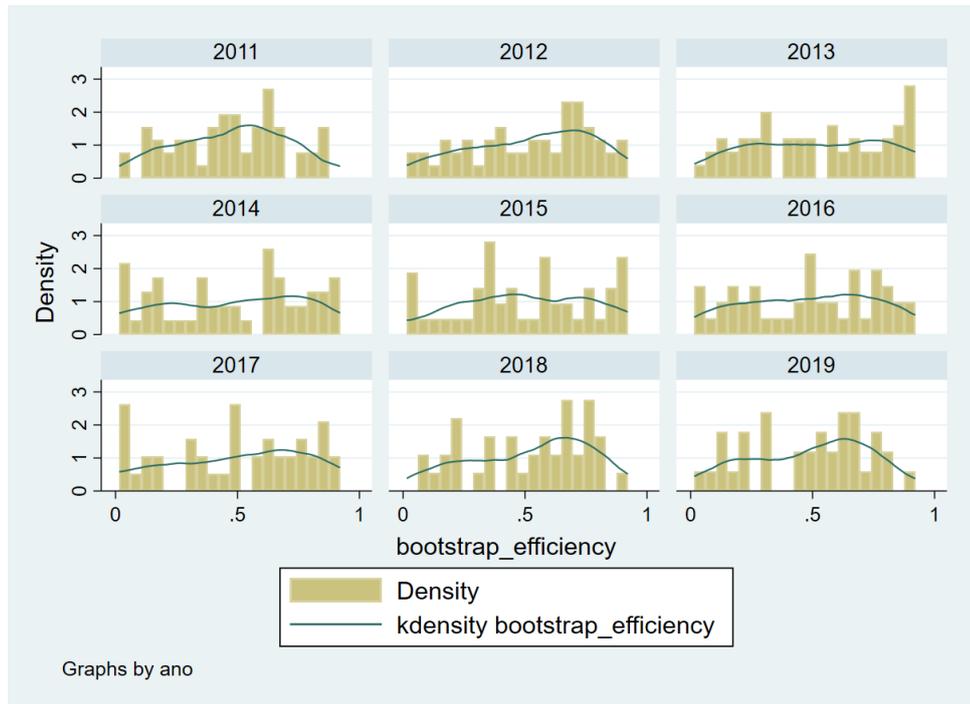
Figura 6 – Distribuição de Eficiência dos Hospitais Geridos pela Administração Direta - Densidade de Kernel



Fonte: Elaboração Própria.

No caso das unidades hospitalares geridas por outras formas de gestão (7), como entidades beneficentes, empresas privadas e autarquias públicas, observamos uma curva de densidade de kernel mais achatada, indicando alta variabilidade entre as unidades. Ao final da série temporal, percebe-se uma leve assimetria à direita, sugerindo uma melhoria nas práticas adotadas que aprimoram os indicadores de eficiência. Essa melhoria pode ser decorrente da redução dos insumos utilizados enquanto se mantém o mesmo nível de produção, do aumento do nível de produção com o mesmo nível de insumos, ou de uma combinação desses fatores. A comparação entre os dois gráficos sugere que as unidades que prestam serviços ao SUS tendem a ser mais eficientes quando geridas por outras formas de gestão, em contraste com a administração direta.

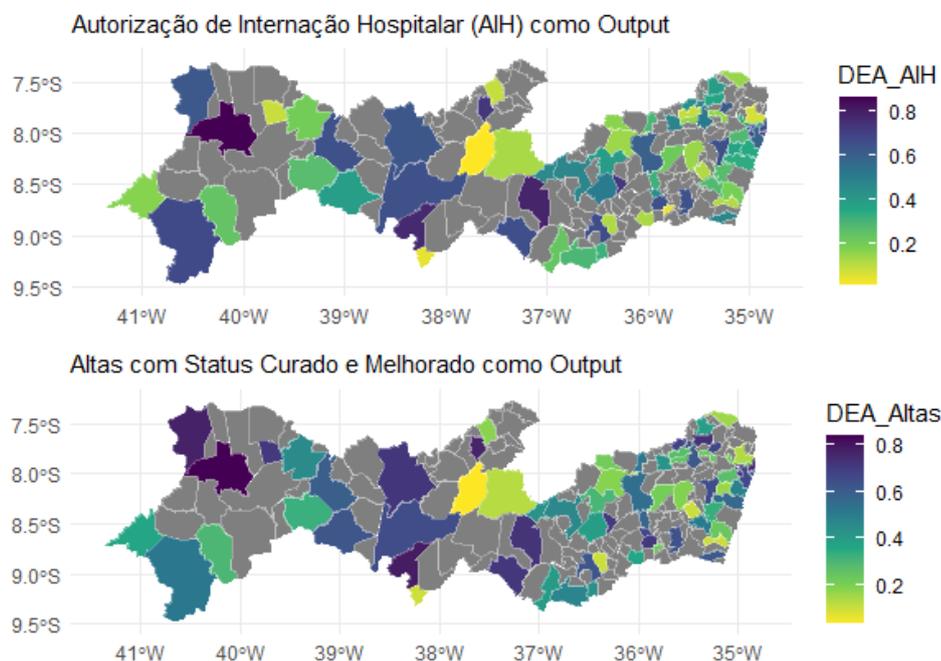
Figura 7 – Distribuição de Eficiência dos Hospitais Geridos pelas Demais Formas de Gestão - Densidade de Kernel



Fonte: Elaboração Própria.

Finalmente, ainda em consideração aos níveis de eficiência, mas agora numa perspectiva municipal, podemos destacar, pela Figura 8, os bons desempenhos obtidos pelos municípios de Serra Talhada, Floresta, Ouricuri, Araripina, Salgueiro, Belém do São Francisco, Petrolina, Buíque, Ataíba, além de alguns municípios da região metropolitana do Recife - Recife, Olinda, Camaragibe e Paulista.

Figura 8 – Eficiência Média das Unidades Hospitalares por Município (2011-2019)



Fonte: Elaboração Própria.

2.6.2 Regressão Truncada Bootstrap de Simar e Wilson (2007)

Com vistas a observar o impacto de variáveis ambientais nos níveis de eficiência, com a regressão realizada seguindo o Algoritmo I proposto por [Simar e Wilson \(2007\)](#), que produz resultados mais consistentes do que aqueles realizados por regressões do tipo Tobit, comumente utilizada na literatura, apresentamos na Tabela 4 os resultados obtidos.

Nossos resultados mostram que tanto o porte, como a natureza da gestão são significantes a 5% para explicar os resultados de eficiência obtidos pela modelagem DEA-Bootstrap. Da forma como organizamos nossa regressão, podemos interpretar que a eficiência aumenta com o aumento do porte e com a descentralização da gestão, ou seja, numa escala que vai da gestão pública direta a gestão privada, descentralizar a gestão hospitalar produz melhores resultados de eficiência. No caso de porte, considerando um nível de confiança de 95%, temos que a magnitude desse impacto está entre 0,285 e 0,767, enquanto no caso da gestão a magnitude é menor, estando entre 0,059 e 0,228.

Tabela 4 – Resultados da Regressão Truncada Bootstrap, eficiência vs. variáveis ambientais, Algoritmo I, Simar e Wilson (2007)

Eficiência: Dea_boot	Coefficiente Observado	Erro Padrão Bootstrap	z	P> z 	Intervalo de Confiança 95%	
Porte	0,442	0,129	3,440	0,001	0,285	0,767
Gestão	0,119	0,044	2,730	0,006	0,059	0,228
Constante	-0,705	0,339	-2,080	0,038	-1,598	-0,300

Nota: Estimacão realizada utilizando 2000 replicaes e 965 observaes (painel desbalanceado).

Fonte: Elaboraco própria.

2.6.3 Índice de Produtividade de Malmquist

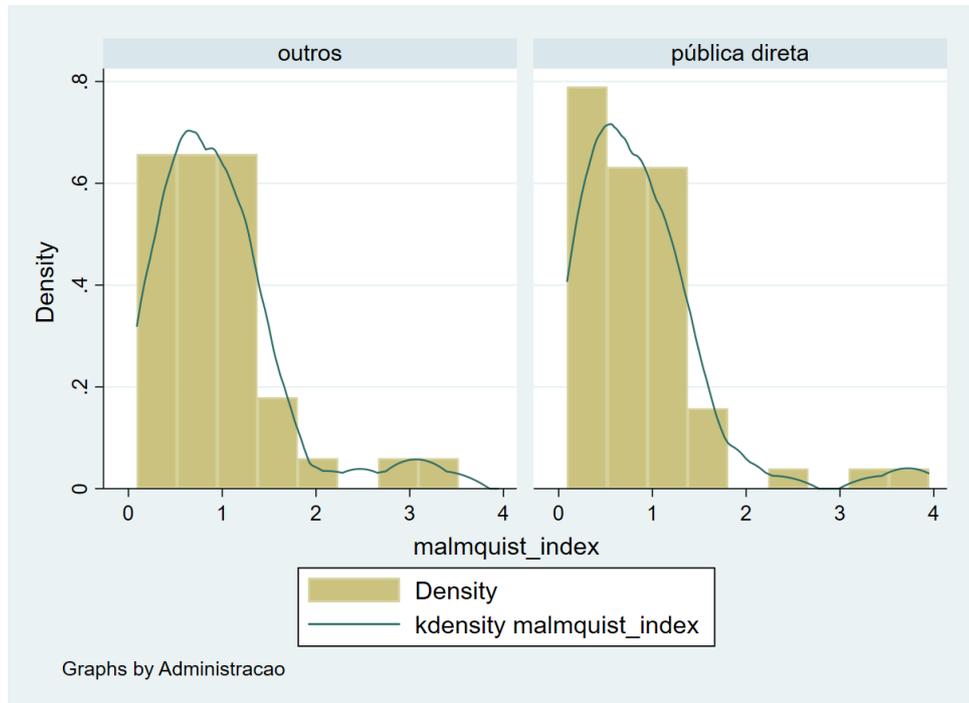
Em nossa última análise referente às unidades hospitalares, apresentamos nas Tabelas 9 e 10 do Anexo, bem como nas Figuras 9, 10 e 11 da presente seção, os resultados obtidos na estimacão do Índice de Produtividade de Malmquist. Conforme abordado na seção relativa aos procedimentos metodológicos, um índice de produtividade maior do que a unidade indica uma melhoria na produtividade dos serviços prestados. Essa interpretao também se aplica  decomposio do Índice de Produtividade de Malmquist: um progresso na eficiência, representado pela aproximao da DMU  fronteira, ou um progresso técnico, evidenciado pelo deslocamento da fronteira tecnológica, resultará em índices superiores a um.

Na análise realizada, utilizamos um painel balanceado com dados dos anos de 2011 a 2019, representado por 102 unidades hospitalares, cujos resultados apresentamos de maneira resumida, similarmente ao procedimento do primeiro estágio. Separando os hospitais geridos pela administrao direta dos demais, procuramos mostrar o percentual de unidades que apresentaram progresso, bem como o percentual em que ocorreu o oposto, avaliando esses fatos por natureza de gestão e porte. Observamos que nenhuma unidade apresentou um coeficiente igual a 1, o que indicaria ausência de mudança na produtividade.

No caso dos hospitais geridos pela administrao direta, percebemos que a maioria não obteve ganhos de produtividade no período analisado, ocorrendo, na verdade, uma reduo. A decomposio do Índice de Produtividade de Malmquist, demonstrada nas Figuras 10 e 11, revela que a principal causa dessa involuo foi a reduo nos níveis de eficiência técnica, apesar de ter havido um modesto progresso na fronteira de produo

enfrentada pelos hospitais geridos pela administração direta.

Figura 9 – Índice de Produtividade de Malmquist (2011-2019)

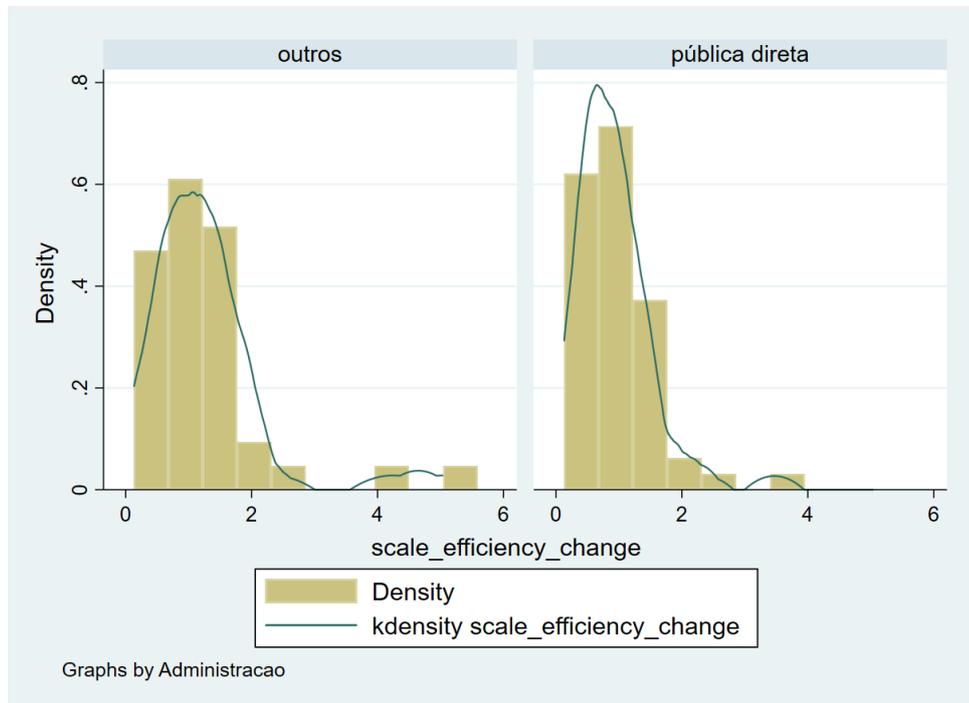


Fonte: Elaboração Própria.

No que diz respeito às unidades que não são geridas pela administração direta, apenas as fundações públicas apresentaram um percentual maior de unidades com aumento na produtividade. A assimetria à esquerda observada na Figura 9 é similar àquela das unidades geridas pela administração direta, embora em um nível menor de concentração. No caso dos hospitais privados, mais de 50% das unidades apresentaram ganhos de eficiência "pura". No entanto, esses ganhos foram acompanhados por uma involução na fronteira tecnológica, resultando em um percentual maior de unidades com queda na produtividade.

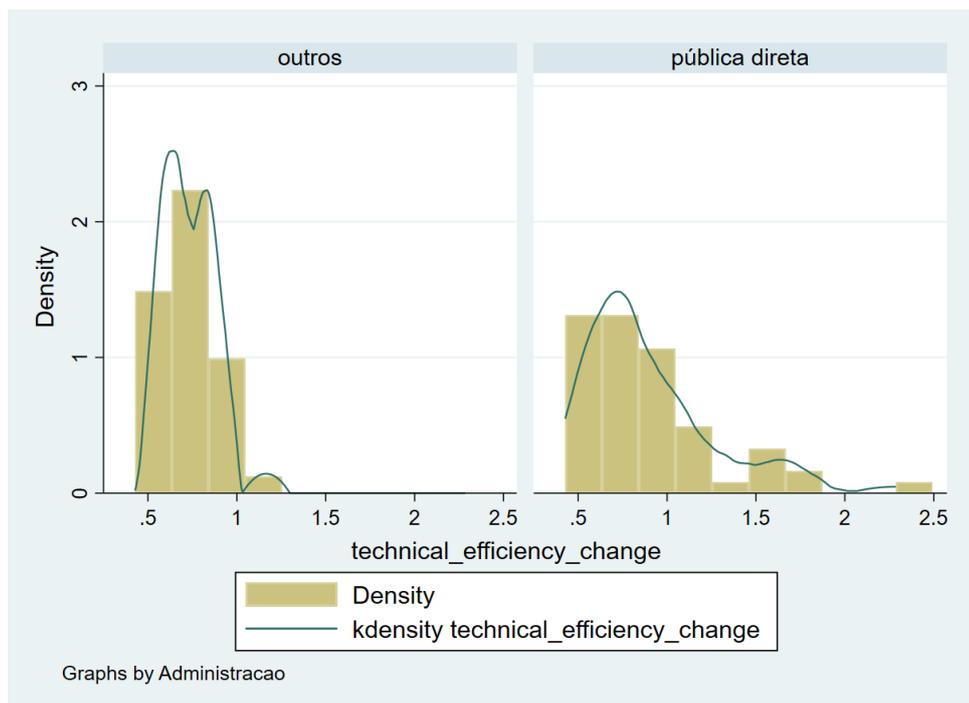
A partir das Tabelas 9 e 10, localizadas no Anexo, também é possível perceber que, independentemente da natureza de gestão, os ganhos de produtividade são mais comuns em unidades de maior porte. Este fato indica que, na área da saúde, a eficiência na prestação de serviços tende a evoluir conforme aumenta o porte das unidades hospitalares.

Figura 10 – Decomposição do Índice de Produtividade de Malmquist (2011-2019): Eficiência de Escala



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 11 – Decomposição do Índice de Produtividade de Malmquist (2011-2019): Eficiência Técnica



Fonte: Elaboração Própria.

2.7 Considerações Finais

Nesta seção, apresentamos as principais conclusões derivadas da análise dos dados e das investigações realizadas. Ao longo deste estudo, examinamos o desempenho das unidades hospitalares do Estado de Pernambuco numa análise que envolve a DEA e que consistiu em três estágios de análise, a saber: i) DEA-Bootstrap de [Simar e Wilson \(1998\)](#), ii) Regressão Truncada Bootstrap de [Simar e Wilson \(2007\)](#) e iii) Índice de Produtividade Malmquist. Com base nessas análises e resultados, as seguintes considerações puderam ser destacadas:

- Metade das unidades de saúde do Estado de Pernambuco apresentaram desempenho inferior a 0,5, numa escala que vai de 0 a 1, onde 1 significa máxima eficiência, o que despertou preocupação sobre o desempenho das unidades de saúde em prestar serviços à população;
- Enquanto no início da série (2011) os hospitais privados e a autarquia pública possuíam os maiores níveis de eficiência, no final da série (2019) esse destaque foi para a autarquia e fundações públicas;
- A eficiência média dos hospitais de porte grande e especial (acima de 150 leitos) aumentou, enquanto os hospitais de pequeno e médio porte permaneceu quase que constante, e em um baixo nível de eficiência;
- Encontramos uma correlação de 0,79 entre as estimativas bootstrap utilizando a AIH como *output* hospitalar e as estimativas utilizando as altas com status curado e melhorado como *output* hospitalar, o que parece indicar que a magnitude e a qualidade da produção parecem andar juntas;
- Numa perspectiva municipal, foi possível observar um bom desempenho obtido pelos municípios de Serra Talhada, Floresta, Ouricuri, Araripina, Salgueiro, Belém do São Francisco, Petrolina, Buíque, Ataíba, além de alguns municípios da região metropolitana do Recife- Recife, Olinda, Camaragibe e Paulista;
- Nossos resultados obtidos por meio da regressão truncada bootstrap mostraram que tanto o porte, como a natureza da gestão são significantes a 5% para explicar os resultados de eficiência obtidos pela modelagem DEA-Bootstrap;

- Finalmente, em uma análise realizada para 102 unidades hospitalares, foi possível perceber que a maior parte das unidades onde ocorreu um aumento na produtividade estimada pelo Índice de Produtividade de Malmquist ocorreu por aproximação da unidade à fronteira eficiente, sendo que isso foi mais comum para unidades privadas e fundações públicas, e para unidades de maior porte.

Desta forma, como principais sugestões de políticas, podemos destacar:

- Aprofundamento em estudos sobre descentralização da gestão hospitalar, verificando o impacto em termos orçamentários e de qualidade de uma maior autonomia das unidades de saúde prestadoras de serviço;
- Aprofundamento em estudos que envolvam porte hospitalar, verificando situações onde é estritamente necessário a provisão de serviços em hospitais de menor porte, e situações em que é possível expandir a oferta de serviços em hospitais de grande porte ou ampliar hospitais de médio porte, uma vez que hospitais de maior porte estão associados a maiores níveis de eficiência;
- Melhoria dos instrumentos de avaliação, aumentando a produção de dados que envolvam a qualidade da prestação do serviço, avaliados por profissionais de saúde, gestores e usuários, o que também depende de uma maior digitalização do SUS;
- Por fim, ressaltamos a importância de que as políticas de saúde considerem uma abordagem holística, abrangendo desde a atenção primária até os procedimentos mais complexos realizados pelo SUS. Além disso, é essencial que essas políticas estejam integradas a outras áreas, como assistência social, educação e esportes, uma vez que a saúde está intrinsecamente ligada à alimentação adequada e à prática regular de atividades físicas.

3 Políticas públicas e déficits em serviços de saúde nos estados brasileiros: uma análise para o período 2009-2019

3.1 Introdução

A Constituição Federal de 1988 (CF/1988), por meio dos seus artigos 196 a 199, estabelece que o Estado tem o dever de assegurar a saúde, baseando-se em princípios fundamentais como universalidade, integralidade, equidade, descentralização e participação social. Viabiliza-se, assim, a criação do Sistema Único de Saúde (SUS), incumbido de assegurar serviços de saúde a uma ampla parcela da população, incluindo grupos sociais anteriormente marginalizados quanto ao acesso aos cuidados de saúde. Sua abrangência engloba desde cuidados primários até procedimentos de alta complexidade. A CF/1988 também permite, de forma complementar, a participação de instituições privadas na prestação de assistência à saúde; embora as ações e serviços de saúde sejam de interesse público e devam ser regulamentados, fiscalizados e controlados pelo Poder Público conforme a lei (BRASIL, 1988).

A implantação de um sistema de saúde de caráter universal vai de encontro à necessidade de se enfrentar desigualdades pessoais e regionais que estão intrínsecas ao acesso à saúde. Sousa et al. (2020), a partir de dados da Pesquisa Nacional de Saúde de 2013, mostraram que as chances de se avaliar negativamente sua saúde foram significativamente mais elevadas entre indivíduos de menor renda domiciliar *per capita*, com pior nível de escolaridade, pertencente às classes sociais mais desfavorecidas, moradores das regiões Norte e Nordeste e que se autodeclararam pretos e pardos.

Dados da Pesquisa Nacional de Saúde de 2019 mostram que, dentre as pessoas brancas, a proporção de pessoas com algum plano de saúde é de 38,8%, já para pessoas pretas

e pardas essa proporção é de, respectivamente, 21,4% e 20,1%. Para pessoas sem instrução/fundamental incompleto, esse número foi de 16,1%, enquanto para pessoas com nível superior completo foi de 67,6% (IBGE, 2020). Estas desigualdades interpessoais no acesso à saúde foram exploradas em alguns trabalhos (POLITI, 2014; BOING et al., 2014; COBO; CRUZ; DICK, 2021).

Uma visão sobre a desigualdade no acesso à saúde entre as regiões brasileiras é dada pela disponibilidade de médicos, insumo essencial na provisão desses serviços. No Brasil, a disponibilidade de médicos por mil habitantes é de 2,80 - 6,22 nas capitais e 1,72 no interior. Em termos de densidades de médicos por mil habitantes, o Sudeste apresenta o maior indicador (3,43), seguido pelo Centro-Oeste (3,19) e Sul (3,07), ao passo que o Nordeste (1,98) e Norte (1,51) apresentam os menores níveis dessa disponibilidade (SCHEFFER et al., 2020).

Uma análise por estado mostra que o Distrito Federal (5,6), Rio de Janeiro (3,9) e São Paulo (3,4) lideram o *ranking* de disponibilidade de médicos por mil habitantes, enquanto os 11 estados com piores densidades ficam no Norte ou Nordeste (SCHEFFER et al., 2020). A criação do Programa Mais Médicos em 2013 foi uma tentativa de minorar esta desigualdade, tendo como objetivo ampliar o número de médicos e reordenar a oferta de cursos de medicina e vagas para residência médica, priorizando regiões de saúde com menor relação de vagas e médicos por habitante (BRASIL, 2013). Dados da Demografia Médica no Brasil mostram que a entrada líquida de médicos no mercado de trabalho aumentou de 11.124 para 20.669, entre 2009 e 2019, ou seja, 85% (SCHEFFER et al., 2020).

Voltando à cobertura de planos de saúde médico ou odontológico, observa-se que esta cobertura no Sudeste é de 37,5%, de 32,8% para o Sul e de 28,9% para o Centro-Oeste, percentuais acima da média nacional de 28,5%; Nordeste (16,6%) e Norte (14,7%) apresentam as menores participações. Pela ótica dos estados, São Paulo (38,4%), Distrito Federal (37,4%), Rio Grande do Sul (35,4%) e Rio de Janeiro (35%) são os únicos com parcelas superiores a 30%, enquanto os estados com menores indicadores de cobertura são Maranhão (5,0%), Roraima (7,4%), Acre (8,3%) e Amapá (8,7%) (IBGE, 2020).

Outro importante indicador sobre a oferta de serviços de saúde entre os estados é a disponibilidade de infraestrutura física e tecnológica para o SUS e o setor privado em relação à oferta total. Andrade et al. (2018) observaram que, em relação aos leitos totais disponíveis em 2015, existia uma participação majoritária da oferta pública (acima de 60% dos leitos do SUS) em 88% das regiões de saúde, sendo que para o Norte e o Nordeste

essa oferta é quase em sua totalidade pública.

Esses indicadores trazem à luz a importância da consolidação do SUS como serviço de saúde público e de caráter universal, sendo sua implantação um grande marco na história brasileira no que tange a inclusão de grupos populacionais desfavorecidos (OECD, 2021). Para que se tenha dimensão desse avanço, em 2017 o Brasil se tornou, entre os 10 países mais populosos da América Latina, aquele que oferece a maior cobertura de serviços essenciais de saúde, com um índice de cobertura de 79% de sua população (ARAÚJO; LOBO; MEDICI, 2022). No entanto, é importante que essa cobertura seja homogênea entre as diversas regiões, atendendo ao princípio da universalidade.

Alguns estudos têm buscado mensurar os déficits de saúde entre os estados brasileiros. Gasparini e Ramos (2004) realizaram algumas estimações para o ano de 1999, evidenciando diferenças regionais na disponibilidade de serviços de saúde. Como mencionado acima, desde então ocorreram melhorias nessa disponibilidade, sendo possível destacar a atenção básica como o principal avanço alcançado, a partir de políticas como a Estratégia Saúde da Família e o Programa Mais Médicos.

Seria importante, assim, analisar a evolução dos déficits de saúde nos estados brasileiros: **estados que possuem maiores déficits de cobertura de serviços de saúde estão concentrados em uma ou mais regiões? Caso estejam, esses padrões regionais persistem ao longo dos anos?**

Deste modo, a seção 3.2 apresenta uma breve revisão da literatura utilizando a FMDSIN para avaliar a provisão de serviços públicos pela ótica regional; a seção 3.3 apresenta os procedimentos metodológicos relativos à estimação da FMDSIN através do PCA-DEA, com os dados utilizados apresentados na seção 3.4. Em seguida, a seção 3.5 apresenta os resultados, com uma discussão mais ampla na seção 3.6. Finalmente, a seção 3.7 apresenta as considerações finais sobre o trabalho.

3.2 Revisão da literatura

Na provisão de serviços públicos de forma descentralizada entre unidades federativas, como ocorre com o SUS, em que há divisão de responsabilidades entre os governos federal e subnacionais, a avaliação das desigualdades regionais pode sinalizar para a adoção de políticas públicas adequadas para a alocação de recursos. Puig-Junoy (2000) propôs uma

metodologia, baseada na abordagem DEA, para mensurar a relação entre as necessidades da população e a oferta real de serviços de saúde.

A técnica DEA - *Data Envelopment Analysis* busca, em sua concepção original, mensurar o grau de eficiência de organizações. De um lado, tem-se os insumos do processo produtivo; do outro, tem-se os produtos originados desse processo. Baseado na construção de uma fronteira de eficiência, busca-se mensurar a distância a que as DMUs (decision-making units) estão com relação a esta fronteira. O modelo de Puig-Junoy (2000) utiliza esta técnica com certa criatividade, considerando que há, por parte da sociedade, uma demanda por serviços públicos de saúde (quanto maior, maior a exigência sobre recursos públicos) e uma disponibilidade destes serviços por parte dos agentes públicos e privados (quanto maior, melhor para a sociedade). Portanto, o modelo maximiza a disponibilidade relativa de serviços públicos dada a igualdade de acesso para iguais necessidades, o que dá origem à Fronteira de Melhor Disponibilidade de Serviços para Iguais Necessidades (FMDSIN).

As premissas do modelo de Puig-Junoy (2000) são as seguintes:

- o bem-estar social associado a um serviço público depende exclusivamente da disponibilização desse serviço à população situada numa área;
- os consumidores representativos de cada área diferem apenas em seu nível de necessidades;
- o bem-estar associado a um serviço público também depende da igualdade de acesso aos serviços públicos para a mesma necessidade, independentemente de se fazer o uso ou não; e
- no momento do acesso ao serviço em questão, os consumidores de cada região têm direito ao mesmo nível de serviço ao mesmo custo monetário, que geralmente é insignificante.

Puig-Junoy (2000) analisa 17 Comunidades Autônomas da Espanha para o período de 1985 a 1992. Utilizando-se de 19 variáveis representando a disponibilidade de serviços e 53 variáveis representando as diferentes dimensões de insumos de saúde ou necessidades de serviços (fatores demográficos, morbidade, mortalidade e fatores socioeconômicos), com uso da análise de componentes principais para redução dimensional e seleção dessas

variáveis, o autor estimou a eficiência com os dados em formato de painel. Suas interpretações para a disponibilidade de serviços de uma determinada região se deram a partir da média obtida dos resultados de eficiência para os anos de 1985 a 1992, comparando com a região com melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades neste período. O índice médio de disponibilidade de serviços foi de 0,777, com mínimo de 0,505 e máximo de 1, onde este representa máxima disponibilidade de serviços frente às necessidades (PUIG-JUNOY, 2000).

Para o Brasil, o primeiro estudo utilizando o modelo de Puig-Junoy (2000) foi realizado por Gasparini e Ramos (2004). Os autores avaliaram os déficits de saúde nos estados brasileiros para os anos de 1997 a 1999. Eles partiram de um conjunto de 57 variáveis, 13 para a disponibilidade de serviços e 44 para as necessidades, selecionando as componentes principais que representavam, no mínimo, 5% da variância amostral e, em seguida, selecionando para cada componente principal a variável com maior valor absoluto. Como resultado, observaram que Acre, Amapá, Maranhão, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Goiás e Distrito Federal se localizavam na fronteira de melhor disponibilidade de serviços. A média para a cobertura dos serviços de saúde no Brasil foi de 82,6% no período estudado (GASPARINI; RAMOS, 2004).

Souza Júnior e Gasparini (2006) realizaram uma análise da cobertura de serviços públicos à luz da distribuição de recursos do Fundo de Participação dos Estados (FPE). Primeiramente, os autores construíram a FMDSIN; em seguida, usaram uma função custo para obter um índice de eficiência dos gastos públicos e, por último, estimaram uma fronteira de eficiência arrecadatória. A combinação dessas três estimações permitiu obter o nível ótimo de transferências do FPE.

Em relação à cobertura de serviços, incluindo saúde, educação, justiça, segurança e serviços diversos, as regiões Sul e Sudeste apresentaram maior número de estados na fronteira eficiente. Já em relação à fronteira arrecadatória, os autores observaram que todos os estados deveriam receber transferências compensatórias para equilibrar seus níveis de serviço. Porém, quando analisou-se as transferências recebidas pelo estados, para além do FPE, os autores observaram que havia desperdício de recursos públicos justamente nas regiões que deveriam ser mais favorecidas (SOUZA JÚNIOR; GASPARINI, 2006).

Na mesma perspectiva, mas tendo como objeto o Fundo de Participação dos Municípios (FPM), Gasparini e Miranda (2011) avaliaram a cobertura de serviços a partir de variáveis relativas à saúde, educação, demografia e coleta de lixo. Em relação aos municípios do

interior, os autores observaram que a região Sudeste foi aquela com maior cobertura de serviços, com destaque para Rio de Janeiro (0,96) e São Paulo (0,94); fora desta região, destacam-se também os municípios dos estados do Pará (0,93) e Amapá (0,92) - Norte, e Maranhão (0,91) - Nordeste. Ainda em relação a esse grupo de municípios, os autores observaram que, na maioria dos casos, não há qualquer necessidade de se complementar por meio do FPM os valores já disponíveis nos municípios, existindo um excesso de recursos da ordem de R\$ 14 bilhões. Em relação às capitais, os autores observaram que 20 das 26 unidades foram eficientes, porém podendo ser resultado do excesso de variáveis em relação ao número de municípios. Já em relação à complementação de recursos, os autores observaram que as capitais que necessitariam dessa complementação seriam: Porto Velho, Rio Branco, Belém, Macapá e Maceió (GASPARINI; MIRANDA, 2011).

Monteiro (2015) replicou o estudo de Gasparini e Ramos (2004) para verificar se entre 1999 e 2009 ocorreram mudanças de origem técnica ou de eficiência. A autora observou que, para 1999, os estados compondo a FMDSIN foram Acre, Amapá, Rio de Janeiro, Goiás e Distrito Federal. Já para 2009, os três últimos se mantiveram na fronteira juntamente com Tocantins e Rio Grande do Sul. Em um segundo estágio de análise, a partir do Índice de Produtividade de Malmquist, a autora observou que, entre 1999 e 2009, somente as regiões Norte e Sudeste apresentaram ganhos de produtividade, sendo a primeira devido a efeitos de deslocamento da fronteira e a segunda devido a uma aproximação dos estados em relação à fronteira existente (MONTEIRO, 2015).

Costa, Gasparini e Sampaio (2016) realizaram uma análise sobre a cobertura de serviços públicos nos municípios brasileiros, objetivando verificar a ocorrência de convergência ao longo do tempo em direção à equidade municipal. Comparando dados de 1991 e 2000 os autores observaram que o melhor nível médio de cobertura de serviços ocorreu nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Além disso, observou-se uma redução de 28% para 19% no déficit relativo médio dos serviços municipais, evidenciando uma trajetória convergente na prestação de serviços públicos locais (COSTA; GASPARINI; SAMPAIO, 2016).

Finalmente, focando em um programa específico, Silva, Almeida e Araújo (2019) analisaram a alocação regional dos recursos do Programa Farmácia Popular do Brasil considerando a disponibilidade relativa do programa e as necessidades potenciais da região, medidas a partir de variáveis como proporção de idosos, nível de renda e potenciais beneficiários (hipertensos, diabéticos, asmáticos). Os resultados apontaram para as desigualdades regionais, uma vez que a cobertura relativa do programa é maior nas regiões mais

ricas do país, Sudeste e Sul, em relação às localidades mais pobres.

Portanto, os trabalhos aqui revisados evidenciam a importância de se avaliar a distribuição de recursos públicos pela ótica regional, uma vez que é de interesse público que potenciais déficits de serviços ajustados às necessidades sejam equalizados entre regiões. Além disso, estes trabalhos demonstram a adequabilidade da FMDSIN como estratégia para mensurar os déficits relativos de serviços em um conjunto de regiões.

3.3 Procedimentos metodológicos

O modelo de Puig-Junoy (2000) supõe uma economia composta de m regiões e n diferentes serviços (insumos) potencialmente acessados pelos indivíduos de cada região. x_{ij} denota a quantidade ajustada do serviço j disponível para o indivíduo representativo da região i (disponibilidade regional *per capita*), com $x_i \in R_+^n$ sendo a disponibilidade de serviços ajustada da i -ésima região. A disponibilidade de serviços ajustada é dada pela proporção da disponibilidade corrente em relação à disponibilidade ideal ($x_{ij} = k_{ij}/r_{ij}$, $0 \leq x_{ij} \leq 1$).

O vetor de disponibilidade de serviços ideal r_i de cada região é uma função das características específicas das necessidades de serviços naquela região (características econômicas e sociais, demográficas etc.). Contudo, cada região pode ser caracterizada por um vetor de diferentes disponibilidades de serviços: $k_i = (k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{in})$, e por um vetor com características especificamente relatadas para necessidades: $n_i = (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{is})$.

O vetor de disponibilidade de serviços *per capita* ideal para a região i é definido como o maior entre aqueles vetores para regiões que tenham uma igual ou menor necessidade. A relação entre k_i e n_i para cada região pode ser descrita usando $GR = \{(n, k) : n \text{ é satisfeito por } k\}$. A família de disponibilidade de serviços que satisfaz o nível de necessidades n pode ser definido como: $P(n) = \{k : (n, k) \in GR\}$, $n \in R_+^N$. Assim, podemos definir a fronteira que indica a melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades como $Front P(n) = \{k : k \in P(n), k' \notin P(n), k' \geq k\}$, $n \in R_+^N$.

A medida global de disponibilidade de serviço ajustada (X_i^{RAD}) para o indivíduo médio na região i pode ser definida de forma semelhante à medida radial de eficiência produtiva proposta por Debreu (1951) e Farrell (1957). Essa medida coincide com a distância equiproporcional dos vetores de disponibilidades de serviços e de necessidades da região i

para a fronteira de melhor disponibilidade de serviços, que é: $X_i^{RAD} = 1/z_i^{RAD}$, onde:

$$z_i^{RAD}(n, k) = \max \{ \phi \mid \phi k \in P(n) \} \quad (3.1)$$

Na equação acima, $z_i^{RAD}=1$ indica que a região i está localizada na fronteira de melhor disponibilidade de serviços para seu nível de necessidade observada, enquanto $z_i^{RAD}>1$ indica a proporção que o vetor de disponibilidade de serviços da i -ésima região deve ser aumentado para alcançar uma disponibilidade de serviços igual à região com mais serviços disponíveis para o mesmo nível de necessidade, ou seja, $1/z_i^{RAD} - 1$ representa o déficit relativo de serviços.

Uma abordagem viável para mensurar z_i^{RAD} consiste no uso da abordagem DEA, técnica não-paramétrica vantajosa por não impor restrições à forma funcional para a estimação. Consideremos uma determinada região, com subscrito 0 (n_o, k_o). Uma formulação de programação matemática do problema de disponibilidade relativa de serviços pergunta quais necessidades e pesos de recursos tornariam a medida z_i^{RAD} mínima. Assim, a partir de [Puig-Junoy \(2000\)](#), podemos escrever:

$$\begin{aligned} \min \quad & \phi_o(v, u, v^*) = \frac{\sum_{l=1}^s (v_l n_{ol} + v^*)}{\sum_{j=1}^n u_j k_{oj}} \\ \text{s.a.} \quad & \frac{\sum_{l=1}^s v_l n_{il} + v^*}{\sum_{j=1}^n u_j k_{ij}} \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, o, \dots, m \\ & v_l, u_j \geq 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

onde u e v representam, respectivamente, o valor social marginal da necessidade de serviços associado com cada característica específica, e o valor social marginal dos serviços disponíveis. Os pesos de necessidades e recursos escolhidos são aqueles que minimizam a distância entre cada região e o hiperplano de melhor disponibilidade de serviços. Esses pesos têm a interpretação econômica de “preços-sombra”.

O algoritmo de programação não-linear para a obtenção de uma medida para z_i^{RAD} apresentado na equação acima pode ser convertido em um problema de programação linear usando a transformação de [Charnes e Cooper \(1962b\)](#):

$$\begin{aligned}
z^{RAD}(n_o, k_o) &= \max \phi \\
\text{s.a.} \quad & -n_{ol} + \sum_{i=l}^m n_{il} \lambda_i \leq 0, \quad l = 1, \dots, s \\
& -\phi k_{oj} - \sum_{i=l}^m k_{ij} \lambda_i \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i=l}^m \lambda_i = 1 \\
& \lambda_i \geq 0
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Este modelo é orientado à serviços (*outputs*) devido à necessidade de avaliarmos em que medida os serviços devem ser aumentados, se necessários, para que uma determinada região seja localizada na FMDSIN. Além disso, supõe retornos variáveis de escala (*VRS - variable returns to scale*), permitindo ajustar para possíveis diferenças de tamanho entre as regiões (GASPARINI; RAMOS, 2004).

Em relação à escolhas de variáveis, a complexidade do sistema de saúde brasileiro exige que este seja estudado a partir de diferentes dimensões, que podem estar relacionadas à morbidade, fatores de risco, mortalidade, e até mesmo a questões socioeconômicas e demográficas. Contudo, trabalhar com um número excessivo de variáveis ao mesmo tempo em que temos um número reduzido de unidades tomadoras de decisão - os estados brasileiros, reduz o poder discriminatório da DEA (GASPARINI; RAMOS, 2004).

Em busca de um melhor poder discriminatório, Gasparini e Ramos (2004) utilizaram a Análise de Componentes Principais para a seleção de componentes com base na proporção da variância explicada por cada um destes. O subconjunto de variáveis selecionadas consistiria em um resumo da variância de todo o conjunto. A ideia por trás disto é que se a maior parte da variação da população puder ser atribuída a alguns poucos componentes, eles poderão substituir as variáveis originais com perda mínima de informações (ADLER; YAZHEMSKY, 2010). Segundo Adler e Yazhensky (2010), o método PCA-DEA, que combina a Análise de Componentes Principais à DEA, é aquele que produz combinações lineares não correlacionadas de insumos e produtos originais com menor perda de informação. Formalmente, o que temos é uma transformação nos dados em que as novas variáveis representam uma soma ponderada dos dados originais:

$$\begin{aligned}
X_{PC_i} &= l_i^t X = l_{1i}X_1 + l_{2i}X_2 + \dots + l_{pi}X_p \\
Var(X_{PC_i}) &= l_i^t V l_i = \eta_i, \quad i = 1, 2, \dots, p \\
Cov(X_{PC_i}, X_{PC_k}) &= l_i^t V l_k = 0, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad k = 1, 2, \dots, p, \quad i \neq k
\end{aligned} \tag{3.4}$$

onde X representa os insumos ou produtos, V é a matriz de covariância e η e l representam, respectivamente, os autovalores e autovetores normalizados associados a ela. O sobrescrito t é o operador transposto.

Dado que os coeficientes dos componentes principais podem possuir valores positivos e negativos, [Gasparini e Ramos \(2004\)](#) adotaram um critério alternativo para a redução da dimensionalidade das variáveis. Uma vez que para cada componente principal $X_{PC_i} = l_{1i}X_1 + \dots + l_{pi}X_p$, pode-se apresentar que $Cov(X_{PC_i}, X_j) = \eta_i$, onde $\eta_i = Var(X_{PC_i})$. O sinal e o tamanho de η_i indica a direção e a contribuição da j -ésima variável para o i -ésimo componente. Logo, quanto maior o coeficiente η_i , maior a associação entre o componente i e a variável j . Dessa forma, os autores estabeleceram como critério de seleção de variáveis, a substituição de cada uma das componentes principais selecionadas pela variável com o maior coeficiente absoluto, uma vez que esta variável é mais representativa da variabilidade da respectiva componente principal. A seleção dos componentes foi feita utilizando o critério de que eles representassem no mínimo 5% da variância amostral ([GASPARINI; RAMOS, 2004](#)).

Alternativamente, [Adler e Yazhemsky \(2010\)](#) mostraram que o uso do programa linear aditivo pode ser útil nessas situações, pois além de poder utilizar dados com valores positivos e negativos, esta formulação corresponde à definição de Pareto-Koopmans (mista) de eficiência técnica. DEA aditivo, normalizado e ponderado utiliza as mesmas restrições do modelo aditivo básico, mas substitui a função objetivo da formulação aditiva primária pela máxima soma das folgas, ponderadas pelos desvios padrões amostrais recíproco das variáveis ([ADLER; YAZHEMSKY, 2010](#)).

Primeiramente, temos que X_o (Y_o) representa o vetor de necessidades (ativos de saúde) em valores originais e X_{L_x} (Y_{L_y}) o vetor de necessidades (ativos de saúde) cujos valores serão transformados utilizando a Análise de Componentes Principais. Em segundo lugar, considerando que L_x (L_y) é a matriz dos coeficientes lineares referente a Análise de Componentes Principais do vetor de necessidades (ativos de saúde), podemos escrever as variáveis agregadas como $X_{pc} = L_x X_{L_x}$, que é a soma ponderada dos dados origi-

nais correspondentes. Com isso, podemos apresentar a formulação PCA-DEA de Adler e Yazhensky (2010) a ser utilizada:

$$\begin{aligned}
\min \theta &= V_o^t X_o^i + V_{pc}^t X_{pc}^i + e_i \\
\text{s.a. } U_o^t Y_o^i + U_{pc}^t Y_{pc}^i &= 1 \\
U_o^t Y_o^i + U_{pc}^t Y_{pc}^i - V_o^t X_o^i - V_{pc}^t X_{pc}^i - e_i &\leq 0, \forall j \\
V_o &\geq 0 \\
U_o &\geq 0 \\
V_{pc}^t L_x &\geq 0 \\
U_{pc}^t L_y &\geq 0 \\
U_{pc}, V_{pc}, e_i &\text{ são irrestritos em sinal}
\end{aligned} \tag{3.5}$$

onde o subscrito "o" ("pc") é o índice das variáveis originais (componentes principais); X_{pc} representa uma matriz de insumos (necessidades) $m \times n$; Y_{pc} é uma matriz de produtos (ativos de saúde) $r \times n$; X^i e Y^i são os vetores-coluna de insumos e produtos para a DMU_i , respectivamente; e U e V são os pesos relacionados às variáveis. A variável e_i , irrestrita em sinal, indica os retornos de escala. Quando negativa, indica retornos crescentes de escala; quando positiva, retornos decrescentes; e, caso seja nula, retornos constantes.

Nesta formulação, quando os componentes principais explicam 100% da variância das matrizes de insumos e produtos originais, a formulação PCA-DEA (3.5) é exatamente equivalente a formulação DEA apresentada em (3.3). Uma desvantagem do PCA-DEA com uso de variáveis transformadas é que para encontrar os alvos de melhoria os dados devem retornar à sua forma original (ADLER; YAZHEMSKY, 2010).

3.4 Dados

Os dados foram obtidos por meio das bases TabNet, Indicadores e Dados Básicos (edições de 2009 e 2012) e dos Painéis de Indicadores da Atenção Primária à Saúde do Data-SUS - Ministério da Saúde, bem como da Base dos Dados (organização não-governamental sem fins lucrativos e *open source*). Informações socioeconômicas e demográficas também foram obtidas da Síntese dos Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), PNAD-Contínua, Projeções da População e Tábuas de Mortalidade do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Os dados abrangem os períodos de 2007-2009 e 2017-2019, doravante tratados como 2009 e 2019, respectivamente, apresentados em formato de painel, ou seja, diferentes características avaliadas em diferentes anos para uma mesma observação. O uso de dados nesse formato acompanha os trabalhos de Puig-Junoy (2000) e Gasparini e Ramos (2004), que contornaram o baixo número de DMUs aumentando os anos de análise, evitando a produção de estimativas com baixo poder discriminatório. Cada base possui 81 observações (3 por estado) de 16 variáveis relativas à disponibilidade de serviços e 39 variáveis relativas às necessidades de serviços das populações dos estados (Tabela 11). Com exceção das variáveis D6, D7 e D8, relativas à disponibilidade de serviços de saúde, as outras 13 variáveis desse grupo dizem respeito à disponibilidade de saúde geral e não apenas aquelas providas pelo SUS, dado que o setor privado atua de forma complementar.

As estimações dos déficits de saúde foram feitas à luz das aplicações de Gasparini e Ramos (2004) e Adler e Yazhensky (2010). Para o primeiro utilizamos o software RStudio na Análise de Componentes Principais e nas estimações radiais da DEA-VRS com orientação ao produto (serviços de saúde). Para o segundo, utilizamos o Programa PCA-DEA disponibilizado no site de uma das autoras¹, também a partir de estimações radiais com retornos variáveis à escala e orientação aos serviços.

À luz de Adler e Yazhensky (2010) utilizamos variáveis transformadas a partir da análise de componentes principais que, pela regra indicada pelas autoras após estudos de simulação, deve-se reter 76% da variância amostral na estimação por retornos variáveis à escala. Já a partir de Gasparini e Ramos (2004) utilizamos as variáveis originais selecionadas pelo critério de que possuam o maior coeficiente absoluto dentre os componentes principais que representem no mínimo 5% da variância amostral. Assim, nesta última abordagem, foram selecionadas para 2009 as variáveis:

- Equipes de saúde da família por 10.000 habitantes (D6),
- Leitos clínicos por 10.000 habitantes (D12),
- Leitos de cuidado profilático por 10.000 habitantes (D13) e
- Leitos pediátricos por 10.000 habitantes (D15) para representar a disponibilidade de serviços de saúde; e

¹ Programa disponível para download no site: <<https://nicoleadler.huji.ac.il/pca-dea-program>>. Este programa requer interface com o MATLAB.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas de variáveis selecionadas

2007-2009					
	Variável	Média	D.P.	Mín	Máx
D1	Médicos*	2,64	0,89	1,09	4,97
D5	Técnicos de Enfermagem*	2,46	0,54	1,43	3,83
D6	Equipes de saúde da família**	1,90	0,75	0,12	3,47
D12	Leitos clínicos**	7,66	1,47	4,34	11,19
D13	Leitos de cuidado profilático**	1,96	0,69	0,84	3,97
D14	Leitos psiquiátricos **	2,03	1,36	0,00	6,36
D15	Leitos pediátricos**	3,80	0,75	2,13	5,50
D16	Leitos hospitalares*	2,30	0,33	1,52	2,91
N10	Novos casos de dengue***	2.992,21	4.047,72	3,39	25.511,77
N13	Casos típicos de acidente de trabalho***	82,11	165,68	0	951,15
N15	Casos de hanseníase***	393,47	317,09	18,32	1.305,73
N21	Mort. por doenças do aparelho circulatório***	1.457,38	446,64	486,97	2.336,14
N22	Mort. por neoplasias malignas***	725,61	256,46	306,41	1.450,27
N23	Mort. por acidente de trabalho***	19,63	13,51	2,22	60,63
N24	Mort. por diabetes <i>melitus</i> ***	254,31	85,81	69,81	437,93
2017-2019					
	Variável	Média	D.P.	Mín	Máx
D1	Médicos*	3,74	1,50	1,44	6,74
D5	Técnicos de Enfermagem*	3,69	0,86	2,14	6,16
D6	Equipes de saúde da família**	2,32	0,65	0,87	4,06
D12	Leitos clínicos**	7,29	1,60	4,05	11,62
D13	Leitos de cuidado profilático**	2,26	0,86	0,59	4,63
D14	Leitos psiquiátricos **	1,25	0,87	0,10	3,02
D15	Leitos pediátricos**	2,61	0,65	1,14	3,90
D16	Leitos hospitalares*	2,29	0,36	1,46	2,93
N10	Novos casos de dengue***	2.604,19	4.174,17	2,12	19.708,27
N13	Casos típicos de acidente de trabalho***	318,56	228,74	36,84	1.122,26
N15	Casos de hanseníase***	280,04	348,65	10,37	1.692,91
N21	Mort. por doenças do aparelho circulatório***	1.529,88	380,60	771,73	2.280,47
N22	Mort. por neoplasias malignas***	926,28	264,48	525,62	1.729,42
N23	Mort. por acidente de trabalho***	18,96	13,05	3,30	59,25
N24	Mort. por diabetes <i>melitus</i> ***	316,12	80,14	159,57	497,06

Nota: Variáveis em *1.000 habitantes; **10.000 habitantes; ***1.000.000 de habitantes.

Fonte: Elaboração própria.

- Novos casos de dengue por 1.000.000 de habitantes (N10) para representar as necessidades de saúde da população.

Os 4 componentes principais relativos à disponibilidade de serviços e o único compo-

nente principal relativo às necessidades representaram, respectivamente, 90,75% e 96,73% da variância amostral dentre os componentes criados para o ano de 2009.

Para o ano de 2019 as variáveis selecionadas para representar a disponibilidade de serviços de saúde foram:

- Médicos por 1.000 habitantes (D1),
- Técnicos de Enfermagem por 1.000 habitantes (D5),
- Leitos clínicos por 10.000 habitantes (D12),
- Leitos de cuidado profilático por 10.000 habitantes (D13) e
- Leitos psiquiátricos por 10.000 habitantes (D14)

Novamente, apenas Novos casos de dengue (N10) foi selecionado para representar as necessidades da população. Aqui, os 5 componentes principais relativos à disponibilidade de serviços e o único componente principal relativo às necessidades representaram, respectivamente, 91,82% e 96,87% da variância amostral dentre os componentes criados.

A Tabela 5 traz as estatísticas descritivas para as variáveis que apresentaram importância considerável na análise de componentes principais. É possível ver que, para as variáveis relativas à disponibilidade de profissionais de saúde (D1, D5 e D6), houve um aumento significativo em sua disponibilidade média, embora com uma ampliação das diferenças entre os estados, observada pelo desvio padrão e pelo valor máximo tanto para Médicos como para Técnicos de enfermagem. Para leitos é possível observar uma inversão de prioridades, uma vez que há uma redução na disponibilidade média de leitos psiquiátricos, pediátricos e leitos clínicos, enquanto há um aumento para leitos de cuidado profilático acompanhado de estabilidade para leitos gerais.

Finalmente, para variáveis que representam necessidades de saúde da população, observa-se um aumento considerável nos casos típicos de acidente de trabalho, bem como na mortalidade por doenças do aparelho circulatório, neoplasias malignas e diabetes *melitus*. Já para as variáveis Novos casos de dengue e Casos de hanseníase observamos uma redução, enquanto para Mortalidade por acidente do trabalho houve estabilidade.

3.5 Resultados

A Tabela 6 apresenta as estimativas dos déficits de saúde nos estados brasileiros, e representam a média dos resultados obtidos pelo PCA-DEA para os anos de 2007-2009 (2009) e 2007-2019 (2019). Para cada ano estimamos os déficits de saúde a partir das duas alternativas metodológicas apresentadas na seção 3.3: a primeira, referente a [Gasparini e Ramos \(2004\)](#) e a segunda relativa à [Adler e Yazhensky \(2010\)](#). Relembrando que o \tilde{Z} estimado via DEA representa o valor pelo qual o produto deve ser multiplicado para que o estado se localize na Fronteira de Melhor Disponibilidade de Serviços para Iguais Necessidades (FMDSIN), incluímos na Tabela 6 o seu inverso, $1/\tilde{Z}$, representando o nível da cobertura dos serviços de saúde. Se $1/\tilde{Z}$ é igual a 1 para um determinado estado, ele se encontra na FMDSIN. Caso um estado possua $1/\tilde{Z}$ inferior a 1, há déficit na provisão de serviços de saúde, com os estados mais distantes estando em piores situações em termos de atendimento às necessidades de saúde de sua população.

Para facilitar o entendimento, também inserimos uma coluna que apresenta o *ranking* de melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades, representado na coluna R. O *ranking* foi feito utilizando o maior número de casas decimais, e por isso pode existir casos em que $1/\tilde{Z}$ é igual a 1,00 na Tabela 6, mas o estado esteja posicionado em dois ou mais no *ranking*.

A Tabela 6 mostra que, em termos médios, e independentemente da estratégia de aplicação utilizada, não houve mudança significativa na cobertura de serviços para os estados brasileiros: a média situa-se entre 0,85 e 0,86 para o período analisado. Quando analisamos a média estadual através das regiões, percebemos que a região Sul se apresenta em primeiro no *ranking* em todos os anos, com destaques para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que mantêm coberturas acima de 95% em todos os anos.

Tabela 6 – Ranking de melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades

Estado	2009				2019			
	Estratégia		Estratégia		Estratégia		Estratégia	
	(1)*	(2)**	(1)*	(2)**	(1)*	(2)**	(1)*	(2)**
	1/ \tilde{Z}	R						
Região Sul	0,96	1	0,96	1	0,99	1	0,96	1
Rio Grande do Sul	1,00	1	0,99	1	1,00	1	1,00	1
Santa Catarina	1,00	1	0,95	5	1,00	1	0,97	4
Paraná	0,88	12	0,93	10	0,96	11	0,92	10
Região Sudeste	0,77	5	0,87	3	0,91	3	0,84	3
Minas Gerais	0,84	13	0,86	15	0,99	8	0,92	9
Rio de Janeiro	0,82	15	0,93	8	0,88	15	0,84	16
São Paulo	0,73	22	0,82	17	0,99	7	0,79	21
Espírito Santo	0,71	26	0,86	16	0,79	18	0,82	17
Região Norte	0,79	4	0,82	5	0,83	4	0,79	5
Rondônia	0,95	8	0,88	14	0,98	10	0,96	5
Tocantins	0,94	9	0,94	6	1,00	4	0,94	6
Roraima	0,81	16	0,92	11	0,99	6	0,85	14
Acre	0,77	18	0,81	18	0,75	19	0,76	22
Amapá	0,73	23	0,81	19	0,90	13	0,69	26
Pará	0,73	24	0,70	25	0,56	27	0,70	25
Amazonas	0,61	27	0,68	27	0,63	25	0,64	27
Região Nordeste	0,86	3	0,83	4	0,76	5	0,84	4
Piauí	1,00	1	0,94	7	0,80	17	1,00	2
Paraíba	1,00	5	0,99	2	0,95	12	0,98	3
Maranhão	0,98	6	0,81	20	0,63	26	0,80	20
Rio Grande do Norte	0,88	10	0,93	9	0,73	22	0,89	11
Alagoas	0,84	14	0,70	26	0,83	16	0,75	23
Sergipe	0,80	17	0,79	21	0,75	20	0,71	24
Pernambuco	0,77	19	0,78	22	0,74	21	0,85	15
Ceará	0,76	20	0,75	23	0,66	24	0,80	19
Bahia	0,73	25	0,75	24	0,73	23	0,80	18
Região Centro-Oeste	0,90	2	0,95	2	0,97	2	0,90	2
Mato Grosso	1,00	1	0,92	12	1,00	3	0,92	8
Goiás	0,97	7	0,98	3	0,99	5	0,89	12
Mato Grosso do Sul	0,88	11	0,92	13	0,89	14	0,86	13
Distrito Federal	0,74	21	0,97	4	0,98	9	0,94	7
Média	0,85	-	0,86	-	0,86	-	0,85	-

*Nota: Estratégia (1) se refere à utilizada por Gasparini & Ramos (2004).

**Nota: Estratégia (2) se refere à proposta por Adler & Yazhemy (2010).

Fonte: Elaboração própria.

O Centro-Oeste aparece em segundo no *ranking*, também independente da estratégia adotada, com destaque para o Estado do Mato Grosso, que apresentou estabilidade na provisão de serviços de saúde em ambas as estimações, apesar de possuir um déficit relativo de 8% pela segunda. Este estado é destaque na produção de grãos e, em termos de população, foi o terceiro que mais cresceu entre 2010 e 2022, segundo o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023). Já as regiões Sudeste, Norte e Nordeste disputam a pior colocação no *ranking* de melhor disponibilidade de serviços, sendo que esta disputa se acirra em 2019 para o Norte e Nordeste.

Em relação aos estados, quando olhamos para os dois extremos, é possível perceber que o Rio Grande do Sul apresentou a melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades nos dois anos analisados para ambas as estimações, enquanto o estado do Amazonas apresentou o pior desempenho nos três dos quatro cenários, estando na posição 25 dentre os 26 estados e o Distrito Federal no cenário divergente (estimativa para 2019 a partir da Estratégia 1), que é quando o Pará ocupa essa posição, levantando preocupações sobre os déficits de saúde nos estados amazônicos.

Para além do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso, outros destaques positivos, também independente da estratégia adotada, podem ser evidenciados para o ano de 2009 pelos estados da Paraíba, Goiás, Tocantins e Piauí; enquanto Tocantins, Distrito Federal, Paraíba, Rondônia, Paraná e Minas Gerais se apresentam como os destaques para 2019. Por outro lado, quando olhamos para os destaques negativos, temos os estados do Amazonas, Pará, Sergipe, Bahia, Ceará e Pernambuco para 2009; e os quatro primeiros estados, junto ao Acre, para 2019, todos eles com déficits iguais ou superiores a 20% e localizados nas regiões Norte e Nordeste.

Como principais diferenças entre as duas estratégias de estimação, percebemos para 2009 os estados do Distrito Federal, Espírito Santo, Roraima, Rio de Janeiro, Alagoas e Maranhão, onde as diferenças são superiores a 10%, sendo que pelo PCA-DEA utilizando as variáveis transformadas, como proposto por Adler e Yazhensky (2010), o resultado leva a uma ampliação do déficit, enquanto para os quatro primeiros esta mesma forma de estimação os impulsiona na direção da FMDSIN quando comparada à estratégia utilizada por Gasparini e Ramos (2004). Para 2019, em que consideramos haver maiores divergências, as diferenças são mais notáveis para os estados do Amapá, São Paulo, Roraima, Goiás, Piauí, Maranhão, Rio Grande do Norte, Ceará, Pará e Pernambuco, onde para os seis últimos os resultados obtidos pelo PCA-DEA utilizando as variáveis originais tendem

a subestimar os níveis de cobertura de serviços de saúde em relação à estimação com as variáveis transformadas, ao tempo que para os quatro primeiros ocorre o contrário.

Portanto, a partir das estimações para os déficits de saúde incorridos pelos estados entre 2009 e 2019 obtidos pelas duas estratégias de aplicação do PCA-DEA, podemos extrair as seguintes interpretações que servirão para embasar nossa discussão:

- As regiões Sul e Centro-Oeste provêm, com certa estabilidade, os melhores serviços de saúde para suas populações;
- Os estados que mais se destacaram positivamente na redução de seus déficits de saúde ou na manutenção de altos índices de cobertura foram: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Distrito Federal, Rondônia, Tocantins, Paraíba e Minas Gerais;
- Os estados que mais se destacaram negativamente na ampliação de seus déficits ou na manutenção de baixos índices de cobertura foram: Acre, Pará, Amazonas, Maranhão, Rio Grande do Norte e Sergipe;
- Estados como Rio de Janeiro, São Paulo, Espírito Santo, Roraima, Amapá, Pará, Piauí, Maranhão, Alagoas, Pernambuco, Ceará, Bahia, Goiás e Distrito Federal apresentaram divergências interpretativas a partir das duas estratégias de estimação, necessitando de maiores esclarecimentos;

sendo que essas divergências podem estar relacionadas, no que tange as variáveis utilizadas na estimação, a fatores como:

- O fato de estados como São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Distrito Federal apresentarem uma alta densidade de médicos, mas isso não implicar, necessariamente, em acesso igualitário a esses serviços;
- Os estados do Norte e, principalmente, Nordeste serem mais representativos na disponibilidades de insumos voltados à atenção básica, como as Equipes de Saúde da Família, fazendo com que seus desempenhos tendam a ser mais positivos em estimações que priorizem essa variável, por indicarem um esforço em prover serviços de saúde;

- A sensibilidade às variações nas necessidades, como um surto de uma determinada doença, em estados em que não há adequada disponibilidade de serviços de saúde, e que não se vê no horizonte perspectiva de melhora.

Nesse sentido, a fim de esclarecer essas divergências, apresentaremos na seção 3.6 uma discussão sobre o comportamento dos déficits de saúde nos estados à luz da literatura. Também incluíremos mais uma década em nossa análise, para que a evolução nas políticas de saúde das duas últimas décadas sejam melhor evidenciadas. Na discussão a ser trazida, nos atentaremos principalmente para trabalhos que utilizaram metodologias similares, bem como para aqueles que trataram sobre o contexto da saúde em estados ou regiões particulares.

3.6 Discussão

As tabelas 7 e 8 apresentam nossas estimativas para a evolução dos déficits de saúde nos estados a partir da aplicação do PCA-DEA com uso das variáveis originais e das variáveis transformadas, seguindo, respectivamente, [Gasparini e Ramos \(2004\)](#) e [Adler e Yazhensky \(2010\)](#), sendo que para o ano de 1999 estas foram extraídas dos trabalhos de [Gasparini e Ramos \(2004\)](#) e [Monteiro \(2015\)](#)², dado que são comparáveis com nossa estimação. Além disso, incluímos uma coluna que representa a variação no *ranking* incorrida pelos estados entre os anos 1999 e 2019, representado por ΔR , com valores negativos indicando piora relativa na disponibilidade de serviços em relação aos seus pares.

Em resumo, ao observarmos as estimativas apresentadas na Tabela 7, e que também ocorrem a partir do uso das variáveis transformadas (Tabela 8), podemos perceber que não houve mudanças na posição relativa das cinco regiões brasileiras em termos de disponibilidade de serviços de saúde, apesar de mudanças ocorridas no intermédio dos períodos. Além disso, no que se refere aos estados, podemos destacar através da Tabela 7 alguns fatos principais:

- Dos 14 estados que incorreram em variação negativa no *ranking* de melhor disponibilidade de serviços para iguais necessidades entre 1999 e 2019, 10 estão localizados

² No caso do trabalho de [Monteiro \(2015\)](#), os resultados foram obtidos a partir de uma estimativa pontual para o ano de 1999, o que representa 27 observações, podendo ter comprometido o poder discriminatório da DEA.

nas regiões Norte e Nordeste, enquanto outros 3 estão localizados no Centro-Oeste;

- Desses estados, Mato Grosso do Sul, Bahia, Paraíba e Amazonas apresentaram melhoria na cobertura de serviços de saúde, apesar de decréscimo relativo, nos remetendo a existência de *gaps* na gestão dos déficits de saúde ao longo do tempo.

Na direção oposta,

- Santa Catarina, Mato Grosso, Tocantins, Alagoas e Minas Gerais apresentaram melhora relativa na provisão de serviços de saúde, não só em relação aos seus pares, mas também em termos individuais, uma vez que todos estes passaram a compor a FMDSIN ou possuir coberturas de saúde acima de 90%;

sendo que, para este último ponto, somente Alagoas, em que houve melhora individual, mas com piora relativa em relação aos seus pares, e Santa Catarina, em que o contrário ocorreu, resultaram em interpretações divergentes quando analisados pela Tabela 8. De modo geral, divergências são encontradas, principalmente, para o Estado de São Paulo e para aqueles localizados nas regiões Norte e Nordeste, o que requer esclarecimentos.

A evolução da cobertura nacional da Estratégia Saúde da Família (ESF) pode ser um indicador inicial para verificarmos a evolução dos déficits de saúde nos estados, uma vez que esse programa é associado a melhorias nas condições de saúde da população, como aumentos na cobertura vacinal e em consultas pré-natal, reduções na mortalidade infantil, na desnutrição e nas hospitalizações sensíveis à atenção primária, além de tornar o acesso aos serviços de saúde menos desigual (POLITI, 2014; NEVES et al., 2018).

Tabela 7 – Evolução dos déficits de saúde a partir do PCA-DEA com variáveis originais

Estado	1999*		2009		2019		ΔR
	$1/\tilde{Z}$	R	$1/\tilde{Z}$	R	$1/\tilde{Z}$	R	
Região Sul	0,954	1	0,960	1	0,985	1	0
Rio Grande do Sul	1,000	1	1,000	1	1,000	1	0
Santa Catarina	0,988	16	1,000	1	1,000	1	15
Paraná	0,874	12	0,879	12	0,956	11	1
Região Sudeste	0,812	3	0,774	5	0,911	3	0
Minas Gerais	0,854	13	0,841	13	0,986	8	5
Rio de Janeiro	1,000	1	0,816	15	0,882	15	-14
São Paulo	0,841	14	0,728	22	0,991	7	7
Espírito Santo	0,553	23	0,712	26	0,786	18	5
Região Norte	0,810	4	0,790	4	0,830	4	0
Rondônia	0,892	11	0,951	8	0,978	10	1
Tocantins	0,804	17	0,935	9	0,997	4	13
Roraima	-	-	0,807	16	0,992	6	-
Acre	1,000	1	0,774	18	0,754	19	-18
Amapá	1,000	1	0,727	23	0,897	13	-12
Pará	0,632	20	0,727	24	0,561	27	-7
Amazonas	0,533	24	0,608	27	0,632	25	-1
Região Nordeste	0,745	5	0,862	3	0,756	5	0
Piauí	1,000	1	1,000	1	0,796	17	-16
Paraíba	0,928	10	1,000	5	0,952	12	-2
Maranhão	1,000	1	0,981	6	0,626	26	-25
Rio Grande do Norte	0,837	15	0,884	10	0,732	22	-7
Alagoas	0,497	25	0,835	14	0,827	16	9
Sergipe	0,491	26	0,800	17	0,749	20	6
Pernambuco	0,623	21	0,774	19	0,741	21	0
Ceará	0,749	19	0,759	20	0,655	24	-5
Bahia	0,579	22	0,726	25	0,726	23	-1
Região Centro-Oeste	0,902	2	0,897	2	0,967	2	0
Mato Grosso	0,775	18	1,000	1	0,999	3	15
Goiás	1,000	1	0,971	7	0,994	5	-4
Mato Grosso do Sul	0,832	9	0,880	11	0,894	14	-5
Distrito Federal	1,000	1	0,736	21	0,979	9	-8
Média	0,819	-	0,846	-	0,855	-	-

*Nota: Extraído de Gasparini & Ramos (2004).

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à distribuição de "Médicos da Família" e "Família e Comunidade", [Gomes et al. \(2020\)](#) observaram alguns movimentos entre 2007 e 2019. O primeiro deles ocorreu em 2013, com um acréscimo de 4.000 cadastros médicos, que pode ser explicado pela edição de 2011 do Programa Nacional de Atenção Básica (PNAB), que flexibilizou a carga horária da categoria médica, com a possibilidade de trabalho por 20 ou 30 horas semanais, visando reduzir o déficit desses profissionais nas equipes ESF. Essa ação beneficiou todas as regiões do País, em especial o Norte e o Nordeste, onde o incremento foi de 45,50% e 31,65%, respectivamente ([GOMES et al., 2020](#)).

O segundo movimento ocorreu em 2014, reflexo do Programa Mais Médicos, instituído em outubro de 2013, com a elevação de 6.709 cadastros médicos, com impacto significativo em várias regiões. Nos anos seguintes, ocorreu um incremento anual de cerca de 1.000 médicos por ano, com este movimento tendo sido anulado com a interrupção da participação dos médicos cubanos no Programa em 2018, quando ocorreu uma queda de cerca de 3.000 cadastros médicos. Estudo realizado por [Mattos e Mazetto \(2019\)](#), utilizando dados de 2010 a 2015 para 2.940 municípios, a partir da abordagem de diferenças em diferenças, mostrou que os efeitos desse Programa sobre consultas, agendamentos e encaminhamentos foram mais fortes nos municípios localizados no Nordeste e no Centro-Oeste. No caso das consultas médicas, os efeitos para o Centro-Oeste foram de 17,9% contra 17,4% para o Nordeste e apenas 9,4% para a média da amostra.

[Gomes et al. \(2020\)](#) também observaram que houve incremento de registros de Agentes Comunitários de Saúde entre 2007 e 2019, representando 40.979 novos profissionais, onde 50% destes foram concentrados na região Sudeste. Quando analisamos pela Tabela 8 a evolução dos déficits dos estados entre 1999 e 2019 à luz dos nossos dados de disponibilidade de Equipes de Saúde da Família, considerando que o PNAB estabelece como adequada taxas acima de 2,9/10 mil habitantes, observamos que, à exceção do Maranhão, os estados que obtiveram quociente recomendado em 2019 - Piauí (4,01), Paraíba (3,58), Tocantins (3,14) e Rio Grande do Norte (2,90), foram aqueles que apresentaram redução em seus déficits de saúde. O mesmo não ocorre quando analisamos os resultados pela Tabela 7 que, em termos de profissionais, utiliza Médicos e Técnicos de Enfermagem, públicos e privados, como serviços disponibilizados à população, o que pode subestimar o efeito da atenção básica em reduzir as desigualdades no acesso à saúde evidenciados por [Politi \(2014\)](#) e [Mattos e Mazetto \(2019\)](#).

Há, porém, preocupações com os estados do Norte e Nordeste em relação à atenção

básica, principalmente para o primeiro e para as capitais de ambos. [Soares Filho et al. \(2022\)](#) observaram que, para 2017, 46% dos municípios do Norte e 20% do Nordeste atingiram taxas inadequadas de Equipes de Saúde da Família, e somente uma capital dessas duas regiões atingiu taxa adequada de disponibilização desses profissionais - Teresina (PI). Não coincidentemente, os estados com maiores taxas de cobertura de Equipes de Saúde da Família nas capitais - Piauí (3,0), Tocantins (2,7) e Paraíba (2,4), tiveram redução considerável em seus déficits de saúde conforme a Tabela 8 .

Em relação às inadequações na disponibilidade de serviços relativos à atenção básica, é importante ressaltar que o Programa Saúde da Família foi criado respeitando o caráter universal e descentralizado do SUS, sem a possibilidade de priorizar territórios e populações com maior déficit de serviços e respeitando as atribuições municipais, sendo de adesão voluntária por parte das prefeituras. Neste programa, o governo federal contribui com o cofinanciamento, a partir do Piso Assistencial Básico, enquanto a decisão de apoiar ou não o programa é facultado aos estados. Existe também certa reserva sobre a adesão ao programa pelas prefeituras, uma vez que ele obriga o município a se comprometer com um valor considerável do orçamento para atender às necessidades de saúde da população, o que requer definição de prioridades pelos gestores ([CAMPOS; PEREIRA JÚNIOR, 2016](#)).

Quando atentamos para os altos índices de cobertura de serviços de saúde ostentados pelos estados da Região Sul, que fazem dessa região protagonista em ambos os rankings para o período analisado, observamos que eles são relatados em diferentes trabalhos que se utilizam do conceito de FMDSIN, não só para a saúde, mas também para outros serviços públicos, como educação, justiça e segurança ([GASPARINI; RAMOS, 2004](#); [SOUZA JÚNIOR; GASPARINI, 2006](#); [MONTEIRO, 2015](#)). No entanto, apesar da Região Sul possuir um elevado padrão de renda, [Souza Júnior e Gasparini \(2006\)](#) destacam que os déficits nos estados estão muito mais relacionados com razões históricas e administrativas do que com questões de renda.

A cobertura de planos de saúde médicos, por exemplo, um importante indicador de acesso à saúde, tido como pró-rico ([POLITI, 2014](#)), foi inferior a 25% em 2019 nos três estados dessa região, enquanto em São Paulo esse percentual foi de 37%, segundo dados da Agência Nacional de Saúde Suplementar. Entretanto, para este estado, isto não se refletiu em protagonismo na cobertura de serviços de saúde, tendo apresentado sucessivos déficits de saúde em ambas as estimativas, com exceção da estimativa para 2019 obtida pelo PCA-DEA com uso das variáveis originais.

Tabela 8 – Evolução dos déficits de saúde a partir do PCA-DEA com variáveis transformadas

Estado	1999*		2009		2019		ΔR
	$1/\tilde{Z}$	R	$1/\tilde{Z}$	R	$1/\tilde{Z}$	R	
Região Sul	0,963	1	0,959	1	0,963	1	0
Rio Grande do Sul	0,960	7	0,995	1	1,000	1	6
Santa Catarina	0,973	6	0,953	5	0,970	4	2
Paraná	0,956	9	0,929	10	0,919	10	-1
Região Sudeste	0,833	3	0,870	3	0,843	3	0
Minas Gerais	0,844	11	0,864	15	0,921	9	2
Rio de Janeiro	1,000	1	0,933	8	0,840	16	-15
São Paulo	0,801	15	0,820	17	0,795	21	-6
Espírito Santo	0,688	21	0,861	16	0,815	17	4
Região Norte	0,748	5	0,821	5	0,792	5	0
Rondônia	0,658	22	0,876	14	0,961	5	17
Tocantins	0,808	14	0,940	6	0,942	6	8
Roraima	0,788	16	0,924	11	0,850	14	2
Acre	1,000	1	0,813	18	0,758	22	-21
Amapá	1,000	1	0,806	19	0,691	26	-25
Pará	0,533	26	0,705	25	0,699	25	1
Amazonas	0,446	27	0,681	27	0,642	27	0
Região Nordeste	0,717	4	0,827	4	0,841	4	0
Piauí	0,695	20	0,936	7	1,000	2	18
Paraíba	0,870	10	0,990	2	0,976	3	7
Maranhão	0,843	12	0,805	20	0,799	20	-8
Rio Grande do Norte	0,719	19	0,933	9	0,888	11	8
Alagoas	0,729	18	0,703	26	0,748	23	-5
Sergipe	0,621	24	0,792	21	0,709	24	0
Pernambuco	0,754	17	0,777	22	0,849	15	2
Ceará	0,645	23	0,755	23	0,800	19	4
Bahia	0,581	25	0,750	24	0,803	18	7
Região Centro-Oeste	0,945	2	0,947	2	0,901	2	0
Mato Grosso	0,821	13	0,919	12	0,923	8	5
Goiás	1,000	1	0,980	3	0,888	12	-11
Mato Grosso do Sul	0,957	8	0,919	13	0,855	13	-5
Distrito Federal	1,000	1	0,970	4	0,937	7	-6
Média	0,803	-	0,864	-	0,851	-	-

*Nota: Extraído de Monteiro (2015).

Fonte: Elaboração própria.

Outro ponto importante a destacar são as transferências fundo a fundo da saúde realizadas pela União para estados e municípios. Quando analisamos as transferências médias *per capita* realizadas entre 2017 e 2019, observamos que os 10 estados com maiores transferências estão no Norte e Nordeste, sendo que Tocantins, Roraima, Piauí e Alagoas aparecem, nesta ordem, liderando o *ranking* para o período. No entanto, algo surpreendente é que estados como Pará e Amazonas, que apresentaram os maiores déficits de saúde entre os estados brasileiros, apareçam junto ao Distrito Federal como os estados com menores transferências *per capita* advindas da União, com valores próximos de 50% dos ostentados por Tocantins e Roraima, tendo aqueles dois estados ainda apresentado crescimento nessas transferências inferiores à média nacional entre 2009 e 2019.

Nesse sentido, nossos resultados levantam questionamentos sobre os esforços empreendidos para reduzir os déficits de saúde nos estados do Amazonas e do Pará. Além disso, pôde-se observar nesta seção que as políticas adotadas nas últimas décadas, principalmente aquelas voltadas à atenção básica, como a Estratégia Saúde da Família e o Programa Mais Médicos, parecem ter refletido nos resultados encontrados para a maioria dos estados do Nordeste, bem como para estados como Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso, Tocantins, Roraima e Rondônia, devido ao papel dessas políticas em reduzir o acesso desigual aos serviços de saúde. Devido as divergências encontradas entre os estados, também apresentamos nas Tabelas 12 e 13 do Apêndice B, os *benchmarks* para cada um dos estados.

Por fim, a discussão aqui evidenciada buscou esclarecer, à luz da literatura, as divergências encontradas a partir das duas estimações. Foi possível observar que os resultados obtidos a partir das variáveis transformadas podem representar melhor os déficits de saúde nos estados, por condensarem um número maior de informações. No entanto, se o objetivo for encontrar serviços-alvo de melhorias, as estimativas com variáveis originais podem ser mais úteis, permitindo a adoção de critérios que percam o mínimo de informação do conjunto de variáveis.

3.7 Considerações finais

Neste trabalho, adotamos a conceito de Fronteira de Melhor Disponibilidade de Serviços para Iguais Necessidades para medir os déficits de saúde nos estados brasileiros para

os anos de 2009 e 2019, conceito criado por Puig-Junoy (2000) e aplicado pela primeira vez ao Brasil por Gasparini e Ramos (2004). Ele se apoia na combinação da Análise de Componentes Principais com a Análise Envoltória de Dados (PCA-DEA). Nosso estudo objetivou observar a evolução dos déficits de saúde, bem como averiguar se essas evoluções possuem padrões regionais, ou seja, se estados que possuem maiores déficits de saúde continuam se concentram em uma ou mais regiões, considerando as diversas políticas adotadas durante o período de análise.

Os resultados demonstram a consistência dos estados da região Sul em fornecer os melhores serviços de saúde para atender às necessidades de sua população. Além disso, a região Centro-Oeste também se mostrou estável ao longo do período analisado. Entre essas duas regiões, Santa Catarina e Mato Grosso se destacaram na redução de seus déficits relativos.

Já em relação à região Sudeste, Minas Gerais e Espírito Santo apresentaram uma considerável melhoria na redução de seus déficits de saúde, enquanto o Rio de Janeiro e São Paulo registraram um agravamento desses resultados. É importante ressaltar que estes dois estados se destacam em termos de população coberta por planos de saúde, o que poderia refletir em menores déficits de saúde ao reduzir a dependência do Sistema Único de Saúde (SUS), o que não foi possível observar.

Por fim, ao analisarmos as regiões Norte e Nordeste, os resultados são ambíguos para o conjunto dos estados. Por um lado, as políticas públicas de saúde implementadas nas últimas duas décadas, como a Estratégia Saúde da Família e o Programa Mais Médicos, parecem ter impactado na redução dos déficits de saúde na maioria desses estados, destacando-se o Piauí, a Paraíba, Rondônia e Tocantins. Por outro lado, estados como Amazonas e Pará continuam apresentando níveis elevados de déficits ao longo do período analisado, estando relacionado ainda a um baixo nível de transferências *per capita* realizadas pelo Fundo Nacional de Saúde, o que coloca dúvidas sobre os esforços empreendidos para equalizar os déficits de saúde existentes entre os estados.

Referências

- ADLER, N.; YAZHEMSKY, E. Improving discrimination in data envelopment analysis: Pca–dea or variable reduction. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 202, n. 1, p. 273–284, 2010.
- ALATAWI, A. D.; NIESSEN, L. W.; KHAN, J. A. Efficiency evaluation of public hospitals in saudi arabia: an application of data envelopment analysis. *BMJ open*, BMJ Publishing Group, v. 10, n. 1, 2020.
- ANDRADE, M. V.; NORONHA, K. V. M. d. S.; SÁ, E. B. d.; PIOLA, S. F.; VIEIRA, F. S.; VIEIRA, R. d. S.; BENEVIDES, R. P. d. S. Desafios do sistema de saúde brasileiro. In: DI NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C. P. O. d.; BACELETTE, R. G. (Ed.). *Desafios da Nação: Artigos de Apoio*. [S.l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2018. v. 2, cap. 26.
- ARAUJO, E. C.; LOBO, M. S. C.; MEDICI, A. C. Eficiência e sustentabilidade do gasto público em saúde no brasil. *J Bras Econ Saúde*, v. 14, n. Supl 1, p. 86–95, 2022.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, INFORMS, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.
- BOING, A. C.; BERTOLDI, A. D.; BARROS, A. J. D. d.; POSENATO, L. G.; PERES, K. G. Desigualdade socioeconômica nos gastos catastróficos em saúde no brasil. *Revista de Saúde Pública*, SciELO Brasil, v. 48, p. 632–641, 2014.
- BOTEGA, L. de A.; ANDRADE, M. V.; GUEDES, G. R. Brazilian hospitals' performance: an assessment of the unified health system (sus). *Health care management science*, Springer, v. 23, p. 443–452, 2020.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. *Medida Provisória (MPV) nº 621, de 2013*. Brasília, DF: Senado Federal, 2013.
- CAMPOS, G. W. d. S.; PEREIRA JÚNIOR, N. A atenção primária e o programa mais médicos do sistema único de saúde: conquistas e limites. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 21, p. 2655–2663, 2016.
- CHARNES, A.; COOPER, W. Chance constraints and normal deviates. *Journal of the American statistical association*, Taylor & Francis, v. 57, n. 297, p. 134–148, 1962.
- CHARNES, A.; COOPER, W. Chance constraints and normal deviates. *Journal of the American statistical association*, Taylor & Francis, v. 57, n. 297, p. 134–148, 1962.

- CHARNES, A.; COOPER, W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis theory, methodology and applications. *Journal of the Operational Research society*, Taylor & Francis, v. 48, n. 3, p. 332–333, 1997.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.
- CHENG, Z.; CAI, M.; TAO, H.; HE, Z.; LIN, X.; LIN, H.; ZUO, Y. Efficiency and productivity measurement of rural township hospitals in china: a bootstrapping data envelopment analysis. *BMJ open*, BMJ Publishing Group, v. 6, n. 11, 2016.
- CHOWDHURY, H.; ZELENYUK, V. Performance of hospital services in ontario: Dea with truncated regression approach. *Omega*, Elsevier, v. 63, p. 111–122, 2016.
- COBO, B.; CRUZ, C.; DICK, P. C. Desigualdades de gênero e raciais no acesso e uso dos serviços de atenção primária à saúde no brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 26, p. 4021–4032, 2021.
- COSTA, I. E. R. d. *Eficiência técnica dos hospitais da rede estadual de saúde de Pernambuco*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Inovação Terapêutica, Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, Recife, Pernambuco, 2022.
- COSTA, R. F. R. d.; GASPARINI, C. E.; SAMPAIO, L. M. B. Análise de convergência de serviços públicos locais no brasil. *Planejamento e Políticas Públicas*, n. 47, 2016.
- DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, JSTOR, p. 273–292, 1951.
- DEYNELI, F. Analysis of relationship between efficiency of justice services and salaries of judges with two-stage dea method. *European journal of law and economics*, Springer, v. 34, p. 477–493, 2012.
- DIAS, M. R. F. d. M. *A eficiência da Atenção Primária à Saúde nos municípios pernambucanos sob a ótica da análise envoltória de dados*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Inovação Terapêutica, Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, Recife, Pernambuco, 2016.
- ERVURAL, B. C.; ZAIM, S.; DELEN, D. A two-stage analytical approach to assess sustainable energy efficiency. *Energy*, Elsevier, v. 164, p. 822–836, 2018.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, Oxford University Press, v. 120, n. 3, p. 253–281, 1957.
- FLOKOU, A.; ALETRAS, V.; NIAKAS, D. A window-dea based efficiency evaluation of the public hospital sector in greece during the 5-year economic crisis. *PloS one*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 12, n. 5, p. e0177946, 2017.
- FREIRE, Y. S. M. V. *Análise de eficiência de maternidades públicas de alto risco em Pernambuco*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, Recife, Pernambuco, 2021.

- GASPARINI, C. E.; MIRANDA, R. B. Transferências, equidade e eficiência municipal no brasil. *Planejamento e políticas públicas*, n. 36, 2011.
- GASPARINI, C. E.; RAMOS, F. S. Relative deficit of health services in brazilian states and regions. *Brazilian Review of Econometrics*, v. 24, n. 1, p. 75–107, 2004.
- GHAHREMANLOO, M.; HASANI, A.; AMIRI, M.; HASHEMI-TABATABAEI, M.; KESHAVARZ-GHORABAEI, M.; USTINOVIČIUS, L. A novel dea model for hospital performance evaluation based on the measurement of efficiency, effectiveness and productivity. *Engineering Management in Production and Services*, Politechnika Białostocka. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, v. 12, n. 1, p. 7–19, 2020.
- GOMES, C. B.; GUTIÉRREZ, A. C.; SORANZ, D. et al. Política nacional de atenção básica de 2017: análise da composição das equipes e cobertura nacional da saúde da família. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Public Health, v. 25, p. 1327–1338, 2020.
- IBGE. *Pesquisa Nacional de Saúde 2019: Informações sobre domicílios, acesso e utilização dos serviços de saúde*. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2020.
- IBGE. *Panorama do Censo 2022*. [S.l.]: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- İLGÜN, G.; SÖNMEZ, S.; KONCA, M.; YETİM, B. Measuring the efficiency of turkish maternal and child health hospitals: A two-stage data envelopment analysis. *Evaluation and program planning*, Elsevier, v. 91, p. 102023, 2022.
- KOHL, S.; SCHOENFELDER, J.; FÜGENER, A.; BRUNNER, J. O. The use of data envelopment analysis (dea) in healthcare with a focus on hospitals. *Health care management science*, Springer, v. 22, p. 245–286, 2019.
- LETTI, A. G.; BITTENCOURT, M. V. L.; VILA, L. E. Stochastic vs. deterministic frontier distance output function: Evidence from brazilian higher education institutions. *Journal of Productivity Analysis*, Springer, v. 58, n. 1, p. 55–74, 2022.
- LI, H.; DONG, S. Measuring and benchmarking technical efficiency of public hospitals in tianjin, china: A bootstrap–data envelopment analysis approach. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 52, p. 0046958015605487, 2015.
- LINDLBAUER, I.; SCHREYÖGG, J.; WINTER, V. Changes in technical efficiency after quality management certification: A dea approach using difference-in-difference estimation with genetic matching in the hospital industry. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 250, n. 3, p. 1026–1036, 2016.
- LINS, M. E.; LOBO, M. S. d. C.; SILVA, A. C. M. d.; FISZMAN, R.; RIBEIRO, V. J. d. P. O uso da análise envoltória de dados (dea) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. *Ciência & saúde coletiva*, SciELO Brasil, v. 12, p. 985–998, 2007.
- LOBO, M. S. d. C.; RODRIGUES, H. d. C.; ANDRÉ, E. C. G.; AZEREDO, J. A. d.; LINS, M. P. E. Análise envoltória de dados dinâmica em redes na avaliação de hospitais universitários. *Revista de saúde pública*, SciELO Brasil, v. 50, 2016.

- MARINHO, A.; SANTOS, M. A. B. d.; CARDOSO, S. S.; BENEVIDES, R. P. d. S. Eficiência nas macrorregiões de saúde no sistema único de saúde: uma abordagem comparativa–2008-2017. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2023.
- MATSUMOTO, K.; CHEN, Y. Industrial eco-efficiency and its determinants in china: a two-stage approach. *Ecological Indicators*, Elsevier, v. 130, p. 108072, 2021.
- MATTOS, E.; MAZETTO, D. Assessing the impact of more doctors' program on healthcare indicators in brazil. *World Development*, Elsevier, v. 123, p. 104617, 2019.
- MENICUCCI, T. M. G. História da reforma sanitária brasileira e do sistema único de saúde: mudanças, continuidades e a agenda atual. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, SciELO Brasil, v. 21, p. 77–92, 2014.
- MITROPOULOS, P.; TALIAS, M. A.; MITROPOULOS, I. Combining stochastic dea with bayesian analysis to obtain statistical properties of the efficiency scores: An application to greek public hospitals. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 243, n. 1, p. 302–311, 2015.
- MONTEIRO, J. G. R. *Saúde no Brasil: comportamentos relacionados à saúde, infraestrutura e atenção básica*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, Recife, PE, 2015.
- MUJASI, P. N.; ASBU, E. Z.; PUIG-JUNOY, J. How efficient are referral hospitals in uganda? a data envelopment analysis and tobit regression approach. *BMC health services research*, BioMed Central, v. 16, n. 1, p. 1–14, 2016.
- NEPOMUCENO, T. C.; SILVA, W. M.; NEPOMUCENO, K. T.; BARROS, I. K. A dea-based complexity of needs approach for hospital beds evacuation during the covid-19 outbreak. *Journal of healthcare engineering*, Hindawi Limited, v. 2020, 2020.
- NEVES, R. G.; FLORES, T. R.; DURO, S. M. S.; NUNES, B. P.; TOMASI, E. Tendência temporal da cobertura da estratégia saúde da família no brasil, regiões e unidades da federação, 2006-2016. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, SciELO Brasil, v. 27, 2018.
- OECD. *Estudos da OCDE sobre os Sistemas de Saúde: Brasil*. Paris: OECD Publishing, 2021.
- PAIM, J. S. A constituição cidadã e os 25 anos do sistema único de saúde (sus). *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 29, p. 1927–1936, 2013.
- PÉRICO, A. E.; SANTANA, N. B.; REBELATTO, D. A. d. N. Estimating the efficiency from brazilian banks: a bootstrapped data envelopment analysis (dea). *Production*, SciELO Brasil, v. 26, p. 551–561, 2016.
- PIRANI, N.; ZAHIRI, M.; ENGALI, K. A.; TORABIPOUR, A. Hospital efficiency measurement before and after health sector evolution plan in southwest of iran: a dea-panel data study. *Acta Informatica Medica*, The Academy of Medical Sciences of Bosnia and Herzegovina, v. 26, n. 2, p. 106, 2018.
- POLITI, R. Desigualdade na utilização de serviços de saúde entre adultos: uma análise dos fatores de concentração da demanda. *Economia Aplicada*, SciELO Brasil, v. 18, p. 117–137, 2014.

- POURMAHMOUD, J.; BAGHERI, N. Uncertain malmquist productivity index: An application to evaluate healthcare systems during covid-19 pandemic. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier, v. 87, p. 101522, 2023.
- PUIG-JUNOY, J. Radial measures of public services deficit for regional allocation of public funds. *Economics and Business Working Paper*, n. 439, 2000.
- QUEIROZ, M. d. F. M. de; SILVA, J. L. M. da; FIGUEIREDO, J. de S.; VALE, F. F. R. do. Eficiência no gasto público com saúde: uma análise nos municípios do rio grande do norte. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 44, n. 3, p. 761–776, 2013.
- SAMUT, P. K.; CAFRI, R. Analysis of the efficiency determinants of health systems in oecd countries by dea and panel tobit. *Social Indicators Research*, Springer, v. 129, p. 113–132, 2016.
- SCHEFFER, M.; CASSENOTE, A.; GUERRA, A.; GUILLOUX, A. G. A. *Demografia Médica no Brasil 2020*. São Paulo, SP: FMUSP, CFM, 2020.
- SHEPPARD, R. *Theory of Cost and Production Function*. [S.l.]: Princeton University Press, 1971.
- SILVA, B. N. da; COSTA, M. A. S.; ABBAS, K.; GALDAMEZ, E. V. C. Eficiência hospitalar das regiões brasileiras: um estudo por meio da análise envoltória de dados. *Revista de Gestão em Sistemas de Saúde*, v. 6, n. 1, p. 76–91, 2017.
- SILVA, J. W. d. F. *A eficiência dos gastos públicos municipais com saúde no estado de Pernambuco entre os anos de 2014 a 2018: uma análise com DEA e o índice de Malmquist* /. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Caruaru, Pernambuco, 2020.
- SILVA, M. E. d. L.; ALMEIDA, A. T. C. d.; ARAÚJO, I. T. d. Análise de equidade da distribuição de recursos do programa farmácia popular. *Revista de Saúde Pública*, SciELO Brasil, v. 53, 2019.
- SILVA, V. d. S. da; POKER JUNIOR, J. H. et al. Análise de eficiência dos gastos públicos em saúde nos municípios paranaenses. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, p. e2211326164–e2211326164, 2022.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management science*, INFORMS, v. 44, n. 1, p. 49–61, 1998.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of econometrics*, Elsevier, v. 136, n. 1, p. 31–64, 2007.
- SOARES FILHO, A. M.; VASCONCELOS, C. H.; DIAS, A. C.; SOUZA, A. C. C. d.; MERCHAN-HAMANN, E.; SILVA, M. R. F. d. Atenção primária à saúde no norte e nordeste do brasil: mapeando disparidades na distribuição de equipes. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 27, p. 377–386, 2022.
- SOUSA, J. L. d.; ALENCAR, G. P.; ANTUNES, J. L. F.; SILVA, Z. P. d. Marcadores de desigualdade na autoavaliação da saúde de adultos no brasil, segundo o sexo. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 36, p. e00230318, 2020.

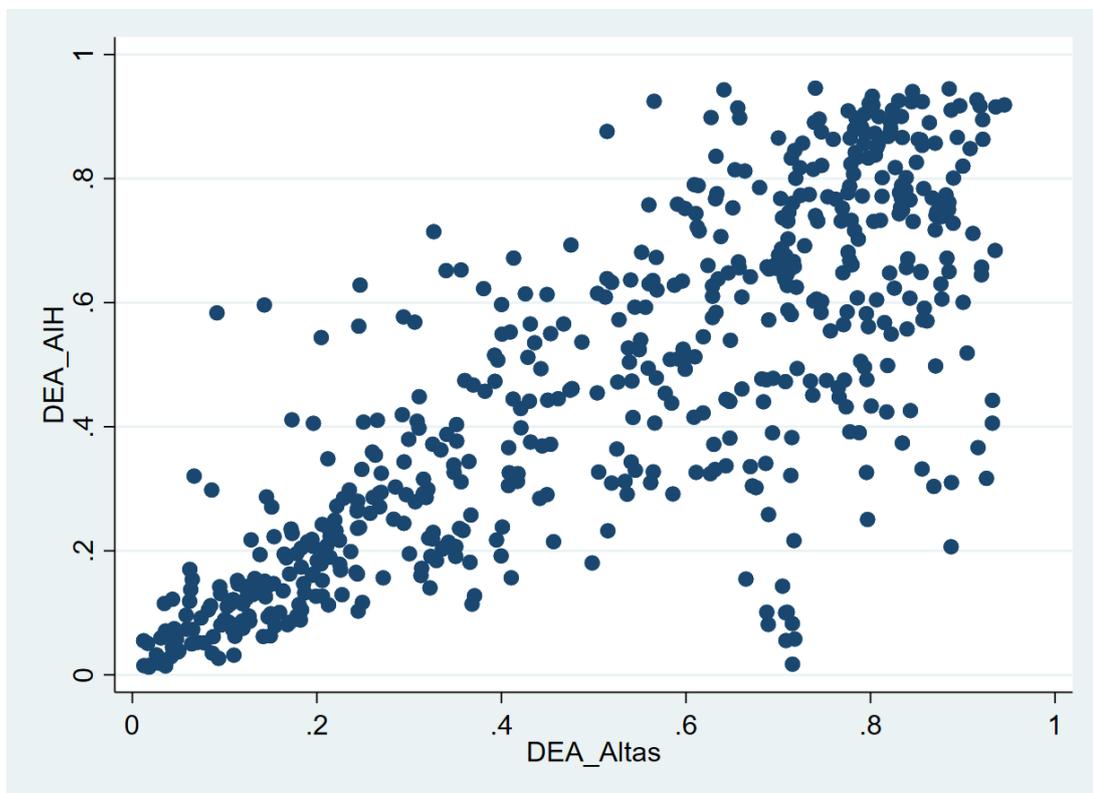
SOUZA JÚNIOR, C. V. N. d.; GASPARINI, C. E. Análise da equidade e da eficiência dos estados no contexto do federalismo fiscal brasileiro. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, SciELO Brasil, v. 36, p. 803–832, 2006.

TZIOGKIDIS, P. *Bootstrap DEA and hypothesis testing*. [S.l.], 2012.

ZHOU, L.; XU, X.; ANTWI, H. A.; WANG, L. Towards an equitable healthcare in china: evaluating the productive efficiency of community health centers in jiangsu province. *International journal for equity in health*, BioMed Central, v. 16, n. 1, p. 1–10, 2017.

A Primeiro Ensaio

Figura 12 – Correlação entre os dois modelos DEA-Bootstrap: produção (AIH) vs. qualidade (altas com status curado e melhorado)



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 9 – Índice de Produtividade de Malmquist, apenas para Administração Direta da Saúde - 2011/2019

Descrição	Mudança de Produtividade		Mudança de Eficiência		Mudança Tecnológica							
	Aumento		Redução		Aumento		Redução					
	N	%	N	%	N	%	N	%				
Natureza da gestão												
Adm. direta da saúde	22	36%	39	64%	23	38%	38	62%	17	28%	44	72%
Porte												
Pequeno (até 49 leitos)	8	24%	26	76%	8	24%	26	76%	6	18%	28	82%
Médio (50 a 150 leitos)	10	48%	11	52%	12	57%	9	43%	9	43%	12	57%
Grande (151 a 500 leitos)	3	60%	2	40%	2	40%	3	60%	2	40%	3	60%
Especial (acima de 500 leitos)	1	100%	0	0%	1	100%	0	0%	0	0%	1	100%

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 – Índice de Produtividade de Malmquist, para as demais formas de gestão hospitalar - 2011/2019

Descrição	Mudança de Produtividade			Mudança de Eficiência			Mudança Tecnológica					
	Aumento		Redução	Aumento		Redução	Aumento		Redução			
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
Natureza da gestão												
Adm indireta - autarquias	0	0%	1	100%	0	0%	1	100%	0	0%	1	100%
Adm indireta - fundação pública	5	63%	3	38%	7	88%	1	13%	0	0%	8	100%
Empresa Privada	4	36%	7	64%	4	36%	7	64%	1	9%	10	91%
Entidade beneficente sem fins lucrativos	7	33%	14	67%	11	52%	10	48%	0	0%	21	100%
Porte												
Pequeno (até 49 leitos)	5	42%	7	58%	6	50%	6	50%	1	8%	11	92%
Médio (50 a 150 leitos)	5	26%	14	74%	8	42%	11	58%	0	0%	19	100%
Grande (151 a 500 leitos)	4	57%	3	43%	5	71%	2	29%	0	0%	7	100%
Especial (acima de 500 leitos)	2	67%	1	33%	3	100%	0	0%	0	0%	3	100%

Fonte: Elaboração própria.

B Segundo Ensaio

Tabela 11 – Variáveis utilizadas na análise de componentes principais

Disponibilidade de serviços	
Variável	Descrição
D1	Médicos por 1.000 habitantes
D2	Dentistas por 1.000 habitantes
D3	Enfermeiros por 1.000 habitantes
D4	Nutricionistas por 1.000 habitantes
D5	Técnicos de Enfermagem por 1.000 habitantes
D6	Equipes de saúde da família por 10.000 habitantes
D7	Equipes de atenção básica por 10.000 habitantes
D8	Leitos hospitalares públicos por 1.000 habitantes
D9	Leitos de UTI por 10.000 habitantes
D10	Leitos cirúrgicos por 10.000 habitantes
D11	Leitos obstétricos por 10.000 habitantes
D12	Leitos clínicos por 10.000 habitantes
D13	Leitos de cuidado profilático por 10.000 habitantes
D14	Leitos psiquiátricos por 10.000 habitantes
D15	Leitos pediátricos por 10.000 habitantes
D16	Leitos hospitalares por 1.000 habitantes
Necessidades de serviços	

Tabela 11 – Continuação

Variável	Descrição
Variável	Descrição
N1	Casos confirmados de difteria por 1.000.000 de habitantes
N2	Casos confirmados de coqueluche por 1.000.000 de habitantes
N3	Casos confirmados de tétano por 1.000.000 de habitantes
N4	Casos confirmados de febre amarela por 1.000.000 de habitantes
N5	Casos confirmados de raiva por 1.000.000 de habitantes
N6	Casos confirmados de hepatite B por 1.000.000 de habitantes
N7	Casos confirmados de sífilis congênita por 1.000.000 de habitantes
N8	Novos casos de AIDS por 1.000.000 de habitantes
N9	Novos casos de tuberculose por 1.000.000 de habitantes
N10	Novos casos de dengue por 1.000.000 de habitantes
N11	Novos casos de hanseníase por 1.000.000 de habitantes
N12	Casos de doença relativa ao trabalho por 1.000.000 de habitantes
N13	Casos de acidentes típicos relativos ao trabalho por 1.000.000 de habitantes
N14	Casos de acidentes no percurso do trabalho por 1.000.000 de habitantes
N15	Casos de hanseníase por 1.000.000 de habitantes
N16	Taxa de mortalidade neonatal precoce
N17	Taxa de mortalidade neonatal tardia
N18	Taxa de mortalidade pós natal
N19	Mortes de doença diarreica por 1.000.000 de habitantes
N20	Mortes de infecção respiratória por 1.000.000 de habitantes
N21	Taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório por 1.000.000 de habitantes
N22	Taxa de mortalidade por neoplasias malignas por 1.000.000 de habitantes
N23	Taxa de mortalidade por acidente de trabalho por 1.000.000 de habitantes

Tabela 11 – Continuação

Variável	Descrição
N24	Taxa de mortalidade por diabetes melitus por 1.000.000 de habitantes
N25	Taxa de mortalidade por cirrose por 1.000.000 de habitantes
N26	Taxa de mortalidade por AIDS por 1.000.000 de habitantes
N27	Taxa de desemprego
N28	Fração da população vivendo na pobreza
N29	Expectativa de vida ao nascer - masculino
N30	Expectativa de vida ao nascer - feminino
N31	Expectativa de vida ao nascer - geral
N32	Fração da população com menos de 5 anos de idade
N33	Fração de população idosa
N34	Número de nascidos com peso baixo por 1.000.000 de habitantes
N35	Percentual de famílias sem oferta de água encanada
N36	Percentual de famílias sem coleta de esgoto
N37	Percentual de famílias sem coleta de lixo
N38	Percentual de não-cobertura da Estratégia de Saúde da Família
N39	Percentual de não-cobertura da Atenção Básica

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 – *Benchmarks* para os Estados - Estimação pelo Método de Adler & Yazhemyky (2010) para 2009

Estado	2007	2008	2009
Acre	Paraíba (2009) - 0.71299; Rio Grande do Sul (2009) - 0.16058; Roraima (2009) - 0.12642	Paraíba (2009) - 0.51453; Roraima (2009) - 0.2819; Rio Grande do Sul (2009) - 0.20357	Roraima (2009) - 0.4199; Paraíba (2009) - 0.41061; Rio Grande do Sul (2009) - 0.1695
Alagoas	Paraíba (2009)	Paraíba (2009)	Paraíba (2009)
Amapá	Roraima (2009) - 0.54251; Paraíba (2009) - 0.45749	Roraima (2009) - 0.62855; Paraíba (2009) - 0.37145	Roraima (2009) - 0.81338; Paraíba (2009) - 0.18662
Amazonas	Paraíba (2007) - 0.49434; Rio Grande do Sul (2009) - 0.44036; Paraíba (2009) - 0.065301	Rio Grande do Sul (2009) - 0.47819; Paraíba (2009) - 0.41499; Roraima (2009) - 0.10682	Rio Grande do Sul (2009) - 0.43677; Paraíba (2009) - 0.28347; Roraima (2009) - 0.27976
Bahia	Paraíba (2007) - 0.52419; Goiás (2007) - 0.33869; Rio Grande do Sul (2009) - 0.13712	Paraíba (2007) - 0.57698; Rio Grande do Sul (2009) - 0.22405; Goiás (2007) - 0.19897	Rio Grande do Sul (2009) - 0.34263; Paraíba (2007) - 0.34186; Paraíba (2009) - 0.31551

Estado	2007	2008	2009
Ceará	Paraíba (2007) - 0.6731; Goiás (2007) - 0.30772; Rio Grande do Sul (2009) -0.019176	Paraíba (2007) - 0.62467; Goiás (2007) - 0.31189; Rio Grande do Sul (2009) - 0.06344	Paraíba (2007) - 0.68386; Rio Grande do Sul (2009) - 0.20879; Goiás (2007) - 0.10736
Distrito Federal	Distrito Federal (2007)	Rio Grande do Sul (2009)	Distrito Federal (2007) - 0.60824; Rio Grande do Sul (2009) - 0.39176
Espírito Santo	Rio Grande do Sul (2009) - 0.61046; Paraíba (2009) - 0.38954	Rio Grande do Sul (2009) - 0.64258; Paraíba (2009) - 0.35742	Rio Grande do Sul (2009) - 0.61968; Paraíba (2009) - 0.38032
Goiás	Goiás (2007)	Goiás (2007) - 0.82616; Rio Grande do Sul (2009) - 0.11099; Paraíba (2007) - 0.062855	Goiás (2007) - 0.57141; Rio Grande do Sul (2009) - 0.2714; Paraíba (2007) - 0.1572
Maranhão	Paraíba (2007) - 0.87545; Goiás (2007) - 0.12455	Paraíba (2007)	Paraíba (2007)
Mato Grosso	Paraíba (2007) - 0.53859; Rio Grande do Sul (2009) - 0.29135; Goiás (2007) - 0.17006	Paraíba (2007) - 0.61262; Rio Grande do Sul (2009) - 0.36971; Goiás (2007) - 0.017668	Paraíba (2009) - 0.46774; Rio Grande do Sul (2009) - 0.38026; Paraíba (2007) - 0.152

Estado	2007	2008	2009
Mato Grosso do Sul	Goiás (2007) - 0.46359; Paraíba (2007) - 0.3771; Rio Grande do Sul (2009) - 0.15931	Paraíba (2007) - 0.44811; Rio Grande do Sul (2009) - 0.34826; Goiás (2007) - 0.20362	Rio Grande do Sul (2009) - 0.46962; Paraíba (2007) - 0.37397; Paraíba (2009) - 0.1564
Minas Gerais	Paraíba (2009) - 0.54919; Rio Grande do Sul (2009) - 0.45081	Paraíba (2009) - 0.55405; Distrito Federal (2007) - 0.2517; Rio Grande do Sul (2009) - 0.19425	Paraíba (2009) - 0.66792; Distrito Federal (2007) - 0.33208
Pará	Goiás (2007)	Goiás (2007)	Goiás (2007) - 0.94085; Rio Grande do Sul (2009) - 0.034513; Paraíba (2007) - 0.024637
Paraíba	Paraíba (2007)	Paraíba (2007) - 0.52288; Paraíba (2009) - 0.47712	Paraíba (2009)
Paraná	Rio Grande do Sul (2009) - 0.54763; Paraíba (2007) - 0.40794; Goiás (2007) - 0.044429	Rio Grande do Sul (2009) - 0.64486; Paraíba (2007) - 0.35026; Goiás (2007) - 0.0048806	Rio Grande do Sul (2009) - 0.65608; Paraíba (2009) - 0.34392

Estado	2007	2008	2009
Pernambuco	Paraíba (2007) - 0.57002; Rio Grande do Sul (2009) - 0.34616; Goiás (2007) - 0.083822	Paraíba (2009) - 0.40891; Rio Grande do Sul (2009) - 0.3585; Paraíba (2007) - 0.23259	Paraíba (2009) - 0.60858; Rio Grande do Sul (2009) - 0.39142
Piauí	Paraíba (2007)	Paraíba (2007)	Paraíba (2007)
Rio de Janeiro	Rio Grande do Sul (2009)	Rio Grande do Sul (2009)	Distrito Federal (2007) - 0.58778; Rio Grande do Sul (2009) - 0.41222
Rio Grande do Norte	Paraíba (2009) - 0.75331; Rio Grande do Sul (2009) - 0.22718; Paraíba (2007) - 0.019508	Paraíba (2009) - 0.78061; Distrito Federal (2007) - 0.11091; Rio Grande do Sul (2009) - 0.10849	Paraíba (2009) - 0.79777; Distrito Federal (2007) - 0.20223
Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul (2009) - 0.7554; Goiás (2007) - 0.2446	Rio Grande do Sul (2009) - 0.83118; Goiás (2007) - 0.16882	Rio Grande do Sul (2009)
Rondônia	Goiás (2007) - 0.99649; Rio Grande do Sul (2009) - 0.0035115	Goiás (2007) - 0.76034; Paraíba (2007) - 0.16909; Rio Grande do Sul (2009) - 0.070571	Goiás (2007) - 0.556; Paraíba (2007) - 0.25045; Rio Grande do Sul (2009) - 0.19355
Roraima	Roraima (2009) - 0.82669; Paraíba (2009) - 0.17331	Roraima- (2009) - 0.89106; Paraíba (2009) - 0.10894	Roraima (2009)

Estado	2007	2008	2009
Santa Catarina	Rio Grande do Sul (2009) - 0.4545; Paraíba (2009) - 0.32257; Paraíba (2007) - 0.22293	Rio Grande do Sul (2009) - 0.51374; Paraíba (2009) - 0.4538; Paraíba (2007) - 0.032465	Paraíba (2009) - 0.52892; Distrito Federal (2007) - 0.34108; Rio Grande do Sul (2009) - 0.13
São Paulo	Distrito Federal (2007) - 0.491; Rio Grande do Sul (2009) - 0.46361; Paraíba (2009) - 0.045395	Distrito Federal (2007) - 0.56134; Rio Grande do Sul (2009) - 0.43866	Distrito Federal (2007) - 0.87856; Paraíba (2009) - 0.075572; Rio Grande do Sul (2009) - 0.045863
Sergipe	Paraíba (2009) - 0.93857; Rio Grande do Sul (2009) - 0.051984; Roraima (2009) - 0.0094459	Paraíba (2009) - 0.86974; Roraima (2009) - 0.13026	Paraíba (2009) - 0.79653; Roraima (2009) - 0.20347
Tocantins	Paraíba (2009) - 0.77424; Roraima (2009) - 0.16171; Rio Grande do Sul (2009) - 0.064045	Paraíba (2009) - 0.5423; Roraima (2009) - 0.4577	Paraíba (2009) - 0.54285; Roraima (2009) - 0.45715

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – *Benchmarks* para os Estados - Estimação pelo Método de Adler & Yazhensky (2010) para 2019

Estado	2007	2008	2009
Acre	Piauí (2019) - 0.50608; Rio Grande do Sul (2018) - 0.49392	Rio Grande do Sul (2018) - 0.66057; Piauí (2019) - 0.33943	Rio Grande do Sul (2018) - 0.68093; Piauí (2019) - 0.31907
Alagoas	Piauí (2017) - 0.56122; Rio Grande do Sul (2018) - 0.38794; Rio Grande do Sul (2017) - 0.050834	Rio Grande do Sul (2018) - 0.76222; Piauí (2017) - 0.23778	Rio Grande do Sul (2019) - 0.94338; Rio Grande do Sul (2018) - 0.056615
Amapá	Rio Grande do Sul (2018) - 0.71485; Piauí (2017) - 0.28515	Rio Grande do Sul (2018) - 0.91845; Piauí (2019) - 0.081554	Rio Grande do Sul (2019) - 0.75975; Rio Grande do Sul (2018) - 0.24025
Amazonas	Rio Grande do Sul (2018) - 0.82078; Piauí (2017) - 0.17922	Rio Grande do Sul (2018) - 0.84913; Piauí (2017) - 0.15087	Rio Grande do Sul (2018) - 0.84783; Piauí (2017) - 0.15217
Bahia	Piauí (2017) - 0.52756; Rio Grande do Sul (2017) - 0.2756; Rio Grande do Sul (2018) - 0.19684	Piauí (2017) - 0.51169; Rio Grande do Sul (2018) - 0.48831	Rio Grande do Sul (2018) - 0.50569; Piauí (2019) - 0.37596; Piauí (2017) - 0.11835

Estado	2007	2008	2009
Ceará	Piauí (2017) - 0.67796; Rio Grande do Sul (2017) - 0.32204	Piauí (2017) - 0.65329; Rio Grande do Sul (2017) - 0.2301; Rio Grande do Sul (2018) - 0.11661	Piauí (2017) - 0.57068; Rio Grande do Sul (2018) - 0.42932
Distrito Federal	Distrito Federal (2019) - 0.65716; Rio Grande do Sul (2017) - 0.34284	Distrito Federal (2019) - 0.77074; Rio Grande do Sul (2019) - 0.18074; Rio Grande do Sul (2018) - 0.048524	Distrito Federal (2019)
Espírito Santo	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)
Goiás	Rio Grande do Sul (2017)	Rio Grande do Sul (2017) - 0.92358; Piauí (2017) - 0.076422	Rio Grande do Sul (2018) - 0.55417; Rio Grande do Sul (2017) - 0.32826; Piauí (2017) - 0.11757
Maranhão	Piauí (2017) - 0.57786; Rio Grande do Sul (2017) - 0.42214	Piauí (2017) - 0.67553; Rio Grande do Sul (2017) - 0.32447	Piauí (2017) - 0.67361; Rio Grande do Sul (2018) - 0.32639

Estado	2007	2008	2009
Mato Grosso	Rio Grande do Sul (2017) - 0.75758; Piauí (2017) - 0.24242	Rio Grande do Sul (2017) - 0.73148; Piauí (2017) - 0.26852	Rio Grande do Sul (2017) - 0.65916; Piauí (2017) - 0.31546; Rio Grande do Sul (2018) - 0.025375
Mato Grosso do Sul	Rio Grande do Sul (2018) - 0.85002; Piauí (2017) - 0.14998	Rio Grande do Sul (2019) - 0.71137; Rio Grande do Sul (2018) - 0.28863	Rio Grande do Sul (2019)
Minas Gerais	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)
Pará	Rio Grande do Sul (2017)	Rio Grande do Sul (2017) - 0.93694; Piauí (2017) - 0.063055	Rio Grande do Sul (2017) - 0.84218; Piauí (2017) - 0.15782
Paraíba	Rio Grande do Sul (2018) - 0.73336; Piauí (2017) - 0.26664	Rio Grande do Sul (2018) - 0.97266; Piauí (2017) - 0.02734	Rio Grande do Sul (2019) - 0.94468; Rio Grande do Sul (2018) - 0.055321
Paraná	Rio Grande do Sul (2018) - 0.82912; Rio Grande do Sul (2019) - 0.17088	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)
Pernambuco	Rio Grande do Sul (2017) - 0.82997; Piauí (2017) - 0.17003	Rio Grande do Sul (2018) - 0.65811; Rio Grande do Sul (2017) - 0.1793; Piauí (2017) - 0.16258	Rio Grande do Sul (2018) - 0.89507; Piauí (2017) - 0.10493

Estado	2007	2008	2009
Piauí	Piauí (2017)	Piauí (2017) - 0.55082; Piauí (2019) - 0.39241; Rio Grande do Sul (2018) - 0.056766	Piauí (2019)
Rio de Janeiro	Rio Grande do Sul (2019) - 0.73238; Distrito Federal (2019) - 0.26762	Rio Grande do Sul (2019) - 0.64743; Distrito Federal (2019) - 0.35257	Rio Grande do Sul (2019) - 0.61741; Distrito Federal (2019) - 0.38259
Rio Grande do Norte	Piauí (2017) - 0.60036; Rio Grande do Sul (2018) - 0.39964	Rio Grande do Sul (2018) - 0.56274; Piauí (2017) - 0.43726	Rio Grande do Sul (2018) - 0.65045; Piauí (2019) - 0.30203; Piauí (2017) - 0.047517
Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul (2017)	Rio Grande do Sul (2018)	Rio Grande do Sul (2019)
Rondônia	Rio Grande do Sul (2017) - 0.94776; Piauí (2017) - 0.052242	Rio Grande do Sul (2017) - 0.97331; Piauí (2017) - 0.026685	Rio Grande do Sul (2017) - 0.98349; Piauí (2017) - 0.016511
Roraima	Rio Grande do Sul (2019) - 0.96497; Distrito Federal (2019) - 0.035026	Rio Grande do Sul (2019) - 0.97866; Distrito Federal (2019) - 0.021336	Rio Grande do Sul (2019) - 0.90046; Distrito Federal (2019) - 0.099536
Santa Catarina	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)
São Paulo	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)

Estado	2007	2008	2009
Sergipe	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)
Tocantins	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)	Rio Grande do Sul (2019)

Fonte: Elaboração própria.