



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – PPGE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ECONOMIA DO SETOR PÚBLICO – MESP**

MARCIO FERNANDO SUETH DA SILVA

**Avaliação da Eficiência do Projeto Lean nas Emergências na Rede Hospitalar do SUS:
Uma Análise Integrada utilizando os Métodos DEA-SBM e Índice de Malmquist.**

João Pessoa, PB

2024

MARCIO FERNANDO SUETH DA SILVA

**Avaliação da Eficiência do Projeto Lean nas Emergências na Rede Hospitalar do SUS:
Uma Análise Integrada utilizando os Métodos DEA-SBM e Índice de Malmquist.**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Economia do Setor Público da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público. Orientador: Prof^o. Dr. Sinézio Fernandes Maia.

João Pessoa, PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Marcio Fernando Sueth da.

Avaliação da eficiência do Projeto Lean nas Emergências na rede hospitalar do SUS : uma análise integrada utilizando os métodos DEA-SBM e Índice de Malmquist / Marcio Fernando Sueth da Silva. - João Pessoa, 2024.

102 f. : il.

Orientação: Sinézio Fernandes Maia.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCSA.

1. Eficiência hospitalar. 2. Lean Healthcare. 3. Método DEA-SBM. 4. Índice de Malmquist. 5. SUS - Sistema Único de Saúde. I. Maia, Sinézio Fernandes. II. Título.

UFPB/BC

CDU 005.336.1:614.21(043)



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Economia do Setor Público

Ata da reunião da Banca Examinadora designada para avaliar o trabalho de dissertação do mestrando **Márcio Fernando Sueth da Silva** submetido para obtenção do grau de mestre em Economia área de concentração em **Economia do Setor Público**.

Aos dezoito dias do mês de dezembro do ano dois mil e vinte e quatro, às 10:00 horas, na Sala De Ações da UFPB (reunião presencial) , reuniu-se em cerimônia pública os membros da Banca Examinadora, constituída pelos professores doutores Sinézio Fernandes Maia (Orientador), Paulo Amilton Maia Leite (Examinador Interno) e Adriano Firmino Valdevino de Araújo (Examinador Externo), a fim de examinarem o candidato ao grau de mestre em Economia do Setor Público, área de concentração em **Economia do Setor Público, Márcio Fernando Sueth da Silva**. Além dos examinadores e do examinando, compareceram também, representantes do Corpo Docente e do Corpo Discente. Iniciando a sessão, o professor **Sinézio Fernandes Maia**, na qualidade de presidente da Banca Examinadora, comunicou aos presentes qual o fim da reunião e os procedimentos de encaminhamento da mesma. A seguir, concedeu a palavra ao candidato, para que fizesse oralmente a exposição do trabalho, apresentado sob o **título**: “Avaliação da Eficiência do Projeto Lean nas Emergências na Rede Hospitalar do SUS: Uma Análise Integrada utilizando os Métodos DEA-SBM e Índice de Malmquist ”. Concluída a exposição, o senhor presidente solicitou que fosse feita a argüição por cada um dos examinadores. Após o que foi concedida a palavra ao candidato para que respondesse e esclarecesse as questões levantadas. Terminadas as argüições, a Banca Examinadora passou a proceder à avaliação e ao julgamento do candidato. Em seguida, o senhor presidente comunicou aos presentes que a Banca Examinadora, por unanimidade, **aprovou** a dissertação apresentada e defendida com o conceito **APROVADO**, concedendo assim, o grau de **Mestre em Economia do Setor Público** ao mestrando **Márcio Fernando Sueth da Silva**. E, para constar, eu, Sinézio Fernandes Maia, lavrei a presente ata, que assino junto com os membros da Banca Examinadora. João Pessoa, 18 de dezembro de 2024.

Prof. Dr. SINEZIO FERNANDES MAIA
Orientador

Prof. Dr. PAULO AMILTON MAIA LEITE
Examinador Interno

Prof. Dr. ADRIANO FIRMINO VALDEVINO DE ARAUJO
Examinador Externo

Emitido em 18/12/2024

ATA Nº 01/2024 - PPESP (11.01.13.41)
(Nº do Documento: 1)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 19/02/2025 14:43)
PAULO AMILTON MAIA LEITE FILHO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1030203

(Assinado digitalmente em 19/02/2025 23:53)
ADRIANO FIRMINO VALDEVINO DE ARAUJO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1412731

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **1**,
ano: **2024**, documento (espécie): **ATA**, data de emissão: **19/02/2025** e o código de verificação: **9945ed63ba**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha esposa, pelo amor incondicional, apoio incansável e paciência nos momentos de ausência. Aos nossos filhos, pela compreensão e carinho durante essa jornada de estudos. Estendo minha gratidão também aos parentes e amigos, cuja presença e palavras de incentivo foram fundamentais para seguir em frente nos desafios enfrentados ao longo desses últimos dois anos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e sabedoria concedidas durante toda esta caminhada acadêmica.

À minha esposa, Aline Trindade, pelo amor incondicional, paciência, apoio constante e compreensão em todos os momentos de ausência. Aos nossos filhos, Maysa, Angelina, Alírio e Alicia, que foram minha maior inspiração e motivação.

Aos meus pais, Antônio (in memoriam) e Leonir, por seus ensinamentos e exemplo de dedicação e superação.

Às minhas irmãs, Eliane e Aline, pelo amor eterno.

Aos meus sogros, Alírio e Mirian, pela força e carinho.

Ao meu orientador, Prof^o. Dr. Sinézio Fernandes Maia., pelo compartilhamento de conhecimentos, pela paciência e orientação precisa ao longo deste trabalho.

Aos professores do Programa de Mestrado em Economia do Setor Público da Universidade Federal da Paraíba. Seus ensinamentos, atenção e dedicação foram fundamentais para a concretização de todo este processo de aprendizado.

Aos colegas de mestrado, que caminharam ao meu lado compartilhando experiências, angústias e momentos de descontração, tornando a jornada mais leve e enriquecedora.

Aos amigos e familiares que, mesmo à distância, estiveram presentes por meio de palavras de incentivo e gestos de apoio.

Enfim, dedico minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa da minha vida profissional e a realização de um sonho fossem possíveis.

RESUMO

Avaliação da Eficiência do Projeto Lean nas Emergências na Rede Hospitalar do SUS: Uma Análise Integrada utilizando os Métodos DEA-SBM e Índice de Malmquist.

Diante dos desafios fiscais enfrentados pelo Brasil e das crescentes demandas do setor de saúde, torna-se essencial aprimorar a eficiência operacional do SUS. Neste contexto, o Projeto Lean nas Emergências surge como uma iniciativa estratégica voltada à otimização dos processos e redução de desperdícios hospitalares. O presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos do projeto na eficiência hospitalar, utilizando uma abordagem quantitativa baseada na aplicação combinada dos modelos DEA-SBM e Índice de Malmquist, a partir de dados extraídos do DATASUS. Os resultados indicam que a eficiência técnica média dos hospitais participantes aumentou de 0,249 em 2019 para 0,376 em 2023, representando um ganho de 51% no desempenho técnico. A análise do Índice de Malmquist revelou um crescimento contínuo da produtividade total, impulsionado principalmente pelo avanço tecnológico ($mt = 1,04$). Além disso, observou-se uma significativa redução das folgas nos insumos hospitalares, como no caso da gestão de leitos, onde a proporção de hospitais sem desperdícios aumentou de 30% para 54% ao longo do período analisado. Apesar dos avanços, os dados apontam que 62,4% dos hospitais ainda operam com ineficiência técnica. A análise regional mostrou que os hospitais das regiões Sul e Sudeste apresentaram os melhores desempenhos, refletindo maior capacidade de adaptação às inovações tecnológicas e melhor estruturação dos processos. A investigação revelou também que hospitais de menor porte demonstraram maior capacidade de otimização de recursos, enquanto hospitais de maior porte, embora tenham apresentado ganhos de produtividade, enfrentaram dificuldades para alinhar eficiência técnica e operacional. E com base na eficiência observada, projeta-se que, caso os ganhos alcançados pelas DMUs fossem ampliados para toda a rede hospitalar do SUS, a economia anual potencial poderia atingir aproximadamente R\$ 3,5 bilhões. Os achados desta pesquisa destacam que a adoção contínua de estratégias de otimização e modernização hospitalar pode contribuir para um sistema de saúde mais sustentável e eficiente, garantindo a melhor alocação dos recursos públicos e a ampliação do acesso à saúde de qualidade. Por fim, sugere-se que pesquisas futuras aprofundem a análise dos fatores determinantes da eficiência hospitalar, sobretudo com a aplicação de modelos de efeito fixo, capazes de relacionar variáveis e indicadores socioeconômicos com o crescimento da produtividade.

Palavras-chave: Eficiência hospitalar; Lean Healthcare; DEA-SBM; Índice de Malmquist; SUS.

ABSTRACT

Evaluation of the Efficiency of the “Projeto Lean nas Emergências” in the SUS Hospital Network: An Integrated Analysis using the DEA-SBM and Malmquist Index Methods.

Given the fiscal challenges faced by Brazil and the growing demands of the health sector, it is essential to improve the operational efficiency of the SUS. In this context, the Lean in Emergencies Project has emerged as a strategic initiative aimed at optimizing processes and reducing hospital waste. The aim of this study was to evaluate the project's impact on hospital efficiency, using a quantitative approach based on the combined application of DEA-SBM and Malmquist Index models, based on data extracted from DATASUS. The results indicate that the average technical efficiency of the participating hospitals increased from 0.249 in 2019 to 0.376 in 2023, representing a 51% gain in technical performance. Analysis of the Malmquist Index revealed continuous growth in total productivity, driven mainly by technological advancement ($mt = 1.04$). In addition, there was a significant reduction in slack in hospital inputs, as in the case of bed management, where the proportion of hospitals with no waste increased from 30% to 54% over the period analyzed. Despite the progress, the data shows that 62.4% of hospitals still operate with technical inefficiency. The regional analysis showed that hospitals in the South and Southeast had the best performance, reflecting greater capacity to adapt to technological innovations and better structuring of processes. The investigation also revealed that smaller hospitals showed greater ability to optimize resources, while larger hospitals, although they showed productivity gains, faced difficulties in aligning technical and operational efficiency. And based on the efficiency observed, it is projected that if the gains achieved by the DMUs were extended to the entire SUS hospital network, the potential annual savings could reach approximately R\$3.5 billion. The findings of this research highlight that the continuous adoption of hospital optimization and modernization strategies can contribute to a more sustainable and efficient health system, ensuring better allocation of public resources and expanding access to quality healthcare. Finally, it is suggested that future research should deepen the analysis of the determinants of hospital efficiency, especially by applying fixed-effect models capable of relating socioeconomic variables and indicators to productivity growth.

Keywords: Hospital efficiency; Lean Healthcare; DEA-SBM; Malmquist Index; SUS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de hospitais participantes	51
Tabela 2- Relação dos hospitais e variáveis de insumos e produtos	56
Tabela 3- Estatística descritiva das variáveis - 2019	61
Tabela 4- Estatística descritiva das variáveis - 2023	61
Tabela 5- Resultado Índice de Malmquist por região geográfica	66
Tabela 6- Resultado Índice de Malmquist por faixa de leitos	67
Tabela 7- Resultado DEA-SBM por região geográfica	69
Tabela 8- Resultado DEA-SBM por faixa de leitos	71
Tabela 9- Decomposição do Índice Malmquist, 2019 e 2023	82
Tabela 10- Eficiência e folgas dos hospitais, 2019 e 2023	86

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Apresentação	10
1.2	Justificativa.....	12
1.3	Objetivo Geral de Pesquisa	16
1.4	Objetivos Específicos	16
1.5	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	Sistema Único de Saúde	18
2.2	Projeto Lean nas Emergências	22
2.3	Gestão e Eficiência Hospitalar	28
2.4	Método de Análise Envoltória de Dados – DEA	33
2.5	DEA Slacks-Based Measure (SBM)	39
2.6	Índice de Malmquist.....	43
3	METODOLOGIA	46
3.1	Seleção da Base de Dados	46
3.2	Procedimentos de Análise	52
3.3	Limitações da Pesquisa	55
4	ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS	56
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
5.1	Índice de Malmquist.....	64
5.2	DEA-SBM.....	68
6	CONCLUSÃO.....	73
7	REFERÊNCIAS	76
8	ANEXOS.....	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O Brasil, desde meados da década passada, vem apresentando sucessivos déficits primários nas contas públicas. Em 2023, o déficit do setor público consolidado – formado por União, estados, municípios e empresas estatais – registrou saldo negativo de aproximadamente R\$ 250 bilhões. Tal cenário de déficit fiscal, em todas as esferas governamentais, têm sido um dos maiores entraves para as administrações públicas, impondo sérias dificuldades no que se refere a oferta e expansão de políticas e serviços públicos, em especial nas áreas que afetam mais fortemente a parte da sociedade mais carente do País.

Vale destacar que muitos dos estados e municípios brasileiros estão com as suas contas públicas em situação crítica. Estados importantes da federação, como Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Minas Gerais, encontram-se em regime de recuperação fiscal, i.e., com suas dívidas junto à União suspensas, para que possam ter capacidade mínimas de pagar seus compromissos junto a servidores e prestadores de serviços públicos locais. Paralelamente a isso, novos desafios emergem, como o acelerado envelhecimento da população brasileira e crises sanitárias recentes, a exemplo da pandemia de Covid-19, que impõe pressões adicionais sobre as finanças públicas.

Consoante projeções divulgadas recentemente pelo IBGE, a população idosa deverá dobrar até 2054, passando dos atuais 34,2 milhões para 68,9 milhões, o que implicará em uma demanda ainda mais crescente por serviços de saúde. A combinação de uma base de contribuintes em declínio com o aumento dos custos associados ao envelhecimento da população pressiona a necessidade de reformulação das políticas públicas e a adoção de medidas que aumentem a eficiência e produtividade dos serviços públicos, particularmente no setor de saúde.

Além disso, ainda há desafios significativos quanto à efetividade dos resultados obtidos e à qualidade dos gastos nas políticas públicas. Gestores públicos enfrentam a necessidade de oferecer melhores serviços com recursos cada vez mais limitados. A ausência de indicadores claros e a falta de medições frequentes de projetos e programas governamentais dificultam a avaliação da qualidade dos investimentos, impactando diretamente o planejamento orçamentário nos três níveis de governo e influenciando a priorização dos recursos disponíveis.

Somado a isso, tem-se hoje uma sociedade que cobra cada vez mais e com mais veemência por serviços públicos mais efetivos e de melhor qualidade. A carga tributária, de

acordo com os boletins do Tesouro Nacional, já se encontra em torno dos 34% do PIB, situação que restringe maiores margens de acréscimo de impostos com o objetivo de subsidiar o aumento dos gastos públicos. Em face disso, a Administração Pública deve buscar mais eficiência na aplicação dos recursos arrecadados e em seus processos de trabalhos para que possa, assim, atender de melhor maneira as necessidades de seus cidadãos.

A universalização da saúde, garantida pela Constituição de 1988, trouxe para a população brasileira a esperança de que, sempre que preciso, suas demandas de saúde estariam garantidas e protegidas pelo Estado brasileiro. No entanto, percebe-se que manter um sistema de saúde aberto a todos é extremamente complexo, por inúmeros motivos. A escassez de recursos financeiros e a ausência de uma estrutura física capaz de atender toda a população de uma região são alguns desses motivos que tornam a gerência dos estabelecimentos de saúde um grande desafio.

As dificuldades que envolvem o setor de saúde no Brasil são amplas e multifacetadas. Impõe-se, portanto, a necessidade de uma gestão racionalizada das ações em saúde, que envolva uma análise meticulosa das relações de custo-efetividade e custo-benefício, além da minimização de falhas na alocação de investimentos e na implementação de políticas públicas direcionadas ao segmento.

Diante de todo esse contexto, o presente estudo tem como mote a seguinte pergunta de pesquisa: como o projeto Lean nas Emergências tem impactado a eficiência operacional e a produtividade dos hospitais participantes ao longo do tempo, considerando tanto a otimização dos recursos disponíveis quanto os avanços tecnológicos introduzidos?

Por sua vez, a hipótese de pesquisa a ser comprovada será a de que a implementação do projeto Lean nas Emergências na rede hospitalar do SUS aumenta a eficiência e a produtividade dos hospitais participantes ao longo do tempo. Tal argumento está fundamentado na premissa de que práticas de gestão mais ágil, enxuta e que visem a melhoria contínua têm o potencial de otimizar recursos e melhorar os resultados de desempenho.

Essa hipótese encontra respaldo na própria filosofia Lean no ambiente de trabalho, que busca reduzir desperdícios, melhorar processos e aumentar a eficiência operacional em diversas áreas nas quais se propõe de ser empregada. No contexto do setor público de saúde, onde a demanda é frequentemente elevada e os recursos são limitados, a adoção de práticas Lean pode representar uma estratégia eficaz para aprimorar o atendimento sem necessariamente aumentar os insumos. Assim, espera-se que hospitais participantes do projeto Lean melhorem seus escores de eficiência técnica e produtividade ao longo do tempo.

A escolha dessa hipótese também está alinhada com a crescente relevância de avaliar políticas públicas com base em evidências científicas, especialmente em sistemas como o SUS, que enfrentam desafios de financiamento e gestão. A utilização de métodos quantitativos, como o modelo DEA de avaliação de eficiência, proporciona uma análise robusta para testar programas e ações governamentais capazes de justificar o emprego de recursos públicos.

Além disso, contribui para o debate acadêmico e prático sobre a aplicabilidade de novas ferramentas de gestão em serviços públicos de saúde, oferecendo evidências que podem subsidiar decisões acerca de sua efetividade. Com base em tal abordagem, espera-se não apenas confirmar os benefícios do projeto Lean nas Emergências, mas também identificar os desafios e limitações que ainda precisam ser superados na gestão hospitalar.

1.2 Justificativa

A relação entre recorrentes crises fiscais, o envelhecimento populacional e o nível da produtividade nacional torna-se central nesse debate. Conforme a população ativa diminui, a necessidade de melhorar a eficiência e a produtividade, tanto do setor privado como do setor público, se torna imperativa para manter a sustentabilidade econômica. Especialistas sobre o tema destacam a importância de aumentar a eficiência dos gastos públicos, especialmente em áreas como a saúde, onde a demanda tende a crescer de forma exponencial com o envelhecimento da população. Isso significa que o Brasil precisará não apenas de ajustes fiscais nas áreas administrativas e previdenciárias, mas também de políticas que promovam a eficiência na alocação de recursos e na prestação do serviço de assistência médica.

Trabalhos recentes do sistema de controle externo do Brasil sinalizam que o monitoramento do desempenho dos hospitais que prestam serviços ao SUS apresenta desafios, especialmente no que se refere ao acompanhamento das atividades desenvolvidas, dos procedimentos médicos realizados e dos custos envolvidos. Um dos fatores que podem contribuir para essa dificuldade é a falta de diretrizes mais claras sobre a gestão desses serviços, considerando que a contratualização hospitalar e a Política Nacional de Atenção Hospitalar não parecem ter sido estruturadas a partir de um diagnóstico aprofundado das necessidades e desafios do setor.

Um das lições mais prestigiadas em gestão é **“não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende e não há sucesso no que não se gerencia”**. Essa frase é amplamente atribuída a William Edwards Deming (1986), estatístico americano conhecido por levar ao Japão pós-guerra práticas de organização

produtiva que proporcionaram um aumento sem precedentes da qualidade e da produtividade da indústria japonesa durante o século XX. A importância de se monitorar (“medir”) resultados reside na possibilidade de que decisões gerenciais tomadas sejam baseadas em evidência.

Com um cenário de agravamento da crise fiscal brasileira e seus impactos para a sustentabilidade financeira do SUS, haja vista o contexto do quadro de envelhecimento populacional, da inflação da saúde e de outras intempéries em semelhança à pandemia de Covid-19, torna-se uma grande ameaça para o agravamento da desassistência e da qualidade das ações e dos serviços públicos de saúde.

Sob a perspectiva de evolução dos gastos públicos em saúde, questões como novas fontes de financiamento, sustentabilidade e integralidade ganham uma relevância na discussão em torno de um sistema de saúde pública que venha a atender ao anseio da sociedade, que seja gerido com ferramentas de gestão mais eficientes e de resultados mais efetivos.

No setor de saúde, há forte pressão de elevação das despesas em decorrência da tendência de crescimento dos custos dos serviços em velocidade superior ao índice de inflação média da economia. Ademais, o atual processo de envelhecimento da população altera o perfil epidemiológico e tende a elevar as despesas com medicamentos e ações e serviços públicos de saúde.

Dado essa conjuntura que aponta para uma preocupação com a eficiência e qualidade da atenção de saúde pública em todo o país, cresce a importância de conhecer projetos do Ministério da Saúde, e até mesmo de outros países, que lidam com o desempenho dos hospitais que atendam a sociedade. O emprego de grandes volumes de recursos na saúde será cada vez mais desafiador, o que indica a necessidade de melhorar a relação insumos e produtos, especialmente na atenção especializada, sem perder de vista o objetivo de se entregar valor no momento de atender o cidadão.

Na tentativa de melhorar as entregas e os resultados dos hospitais públicos, o MS iniciou em 2017 o Projeto Lean nas Emergências, cujo objetivo principal é maximizar o valor para os pacientes, eliminando o desperdício de recursos e melhorando a eficiência hospitalar. A metodologia Lean é uma filosofia de melhoria de processos baseada em tempo e valor, desenhada para assegurar fluxos contínuos e eliminar desperdícios e atividades de baixo valor agregado. Na tradução livre, Lean, em português, quer dizer “enxuto”. É um projeto do Ministério da Saúde desenvolvido por meio do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Institucional do SUS – Proadi/SUS, executado em parceria com o Hospital Sírio-Libanês.

O ganho de eficiência nos hospitais públicos do Brasil é fundamental para garantir um atendimento de saúde de qualidade e acessível a toda a população, especialmente em um país com grandes desigualdades socioeconômicas. Um sistema de saúde pública mais eficiente não apenas melhora as condições de vida dos indivíduos, reduzindo taxas de mortalidade e morbidade, mas também contribui significativamente para a sustentabilidade financeira de todo o sistema.

Ao otimizar recursos públicos, reduzir desperdícios e implementar práticas de gestão inovadoras, os hospitais podem oferecer serviços mais eficazes e rápidos, aliviando a pressão sobre o sistema de saúde e permitindo que mais recursos sejam alocados para outras áreas críticas de atendimento e prevenção. Isso resulta em uma sociedade mais saudável, produtiva e, conseqüentemente, em uma economia mais forte e resiliente, evidenciando a interconexão entre saúde pública eficiente, bem-estar social e estabilidade econômica.

Por sua vez, a Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) tem se consolidado como uma ferramenta fundamental na medição da eficiência hospitalar, tanto na literatura acadêmica quanto na prática de gestão em saúde pública. Ao longo das últimas décadas, a DEA foi amplamente aplicada para avaliar a eficiência técnica dos hospitais, permitindo que gestores e pesquisadores identifiquem onde há desperdícios de recursos e onde existem oportunidades de melhoria.

A principal vantagem da DEA é sua capacidade de lidar com múltiplos inputs e outputs simultaneamente, algo essencial no contexto hospitalar, onde diversos fatores interagem para produzir serviços de saúde complexos. Modelos como o CCR (retornos constantes de escala) e o BCC (retornos variáveis de escala) têm sido os mais utilizados, pois oferecem flexibilidade na análise de hospitais de diferentes tamanhos e capacidades operacionais.

Outro ponto de destaque, tanto nacional como internacionalmente, é a evolução metodológica da DEA para extensões ou variações mais sofisticadas, como o SBM (Slacks-Based Measure) e o Índice Malmquist. Tais modelos foram desenvolvidos para oferecer análises mais detalhadas e precisas, capturando não apenas a eficiência global, mas também as ineficiências específicas de cada variável hospitalar ou mudanças na produtividade ao longo do tempo. A inclusão de variáveis de qualidade também tem se tornado uma prática comum, refletindo a preocupação crescente em não apenas maximizar a quantidade de serviços prestados, mas também assegurar que esses sejam mais efetivos.

Dessa maneira, a realização desta pesquisa justifica-se pelos indicativos dos impactos positivos que a filosofia Lean Healthcare possibilita aos hospitais que aderem à sua

implantação, uma vez que há evidências de que diversos ganhos são esperados, porém que ainda não tenham sido mensurados. Além da redução de custos com a melhoria contínua de processos, pode-se citar também, consoante estudos pretéritos, a melhora significativa da qualidade das entregas feitas pelos hospitais participantes. Nessa expectativa, importante se faz avaliar de forma criteriosa e metodológica os eventuais ganhos trazidos pelo projeto Lean Healthcare do Ministério da Saúde e seus fatores determinantes para o aumento da eficiência hospitalar.

De acordo com a pesquisa realizada por Santos, Silvino e et al. (2020), em que pese a metodologia Lean Healthcare tem se mostrado uma abordagem promissora para aumentar a eficiência hospitalar, existe uma lacuna significativa na produção acadêmica sobre o tema, especialmente no Brasil. Os estudos existentes, embora forneçam insights valiosos sobre a sua aplicação em ambientes de saúde, são insuficientes para corroborar a validade de seus processos. Esta carência de pesquisa acadêmica limita a compreensão sobre como a metodologia pode ser adaptada e otimizada para diferentes contextos hospitalares no país, deixando um vasto campo de inovação e melhorias potenciais ainda inexplorado.

Diante desse cenário, torna-se imperativo a realização de mais pesquisas quantitativas sobre a aplicação da metodologia Lean Healthcare, particularmente no Brasil. Estudos quantitativos podem não apenas fornecer uma base de evidências sólidas sobre a eficácia da metodologia em melhorar a eficiência hospitalar, mas também facilitar a identificação de melhores práticas, desafios e soluções adaptadas às realidades brasileiras, incentivando uma adoção mais ampla da metodologia Lean em hospitais e instituições de saúde em todo o País.

Sendo assim, entende-se que o estudo contribuirá de maneira inédita, não somente para a avaliação da real eficiência do projeto em questão, mas também terá o condão de despertar, no âmbito do setor público, a importância de se mensurar continuamente os impactos de uma ação governamental. A realização de uma análise empírica não paramétrica, permitirá encontrar semelhanças e divergências entre seus processos, a fronteira de eficiência e seus fatores determinantes, além de ajudar na expansão da literatura acerca do conteúdo em pauta.

A estimação do modelo DEA poderá revelar, ainda, melhorias ou piores na eficiência de hospitais específicos, permitindo uma análise mais detalhada das trajetórias de desempenho ao longo do tempo. Isso será particularmente útil para avaliar o impacto de mudanças internas ou externas nas unidades analisadas (como mudanças na gestão, políticas públicas, uso de tecnologia ou condições de mercado). Até onde sabemos, este é o primeiro artigo que analisa quantitativamente a mudança na eficiência dos hospitais públicos que passaram a empregar a metodologia Lean Healthcare em seus processos de trabalho.

1.3 Objetivo Geral de Pesquisa

A definição clara dos objetivos de um estudo é essencial para garantir sua coerência e direcionamento. Objetivos bem delineados orientam a escolha dos métodos de pesquisa, a coleta de dados e a análise dos resultados, evitando que a investigação se torne vaga ou dispersa.

Sendo assim, o objetivo geral desta pesquisa é realizar uma avaliação quantitativa da eficiência e da produtividade das unidades hospitalares que passaram a empregar a metodologia Lean Healthcare em seus processos de trabalho.

1.4 Objetivos Específicos

Adicionalmente, os objetivos específicos delimitam o escopo do estudo, assegurando que o foco permaneça nas questões mais relevantes para responder ao problema de pesquisa. Conforme destaca Creswell (2014), eles permitem estruturar a pesquisa de forma lógica, facilitando a obtenção de respostas claras e fundamentadas. Assim, foram elencados, também, os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os resultados da metodologia Lean Healthcare nos hospitais da rede pública de saúde;
- Avaliar a eficiência técnica do projeto Lean nas Emergências na rede hospitalar do SUS no período de 2019 a 2023;
- Comparar os índices de eficiência técnica dos hospitais participantes antes e pós adoção da filosofia e das ferramentas de gestão incentivadas pelo projeto Lean nas Emergências;
- Verificar os escores de produtividade dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências ao longo do 2019 a 2023;
- Analisar o desempenho da produtividade dos hospitais sob a perspectiva da mudança de tecnologia (*frontier-shift effect*) e da mudança de eficiência técnica (*catch-up effect*);
- Avaliar eventuais folgas (*slacks*) ou desperdícios existentes nos recursos utilizados pelos hospitais (*inputs*), e possíveis oportunidades de melhorias nos resultados gerados (*outputs*).

1.5 Estrutura do trabalho

O restante desta dissertação está estruturado da seguinte forma. A segunda seção descreve os conceitos e teorias relacionados ao tema proposto para o objeto de estudo, incluindo a citação de relevantes trabalhos. Na mesma seção será comentado as características e desafios enfrentados pela Sistema Único de Saúde, os custos de transação e considerações sobre a eficiência dos hospitais públicos brasileiros, aspectos referentes ao projeto Lean nas Emergências e a descrição do método DEA para a avaliação de eficiência hospitalar. A seção 3 descreve a metodologia aplicada, explicando o tipo de pesquisa científica, o método de coleta de dados, os procedimentos de análise e as limitações para a realização deste estudo. Já a seção 4 apresenta a análise dos dados utilizados. E por fim, a seção 5 relata os resultados, enquanto a seção 6 apresenta algumas observações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura deve seguir critérios de relevância, atualidade e qualidade, adotando uma abordagem sistemática na seleção e organização dos estudos. Esse processo assegura uma estrutura coerente, permitindo a integração dos diferentes trabalhos analisados e a identificação de tendências na área. Logo, a revisão contextualiza a pesquisa, destacando suas contribuições e limitações em relação ao conhecimento existente Fink (2020).

2.1 Sistema Único de Saúde

No Brasil, o direito a Saúde é garantido constitucionalmente, sendo o tema tratado nos artigos 196 a 200 da Constituição Federal de 1988. No período anterior à CF/1988, o sistema público de saúde prestava assistência apenas aos trabalhadores vinculados à Previdência Social, aproximadamente 30 milhões de pessoas com acesso aos serviços hospitalares, cabendo o atendimento aos demais cidadãos às entidades filantrópicas.

Na Constituição de 1988, os constitucionalistas estabeleceram que a saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas. **“As ações e serviços públicos de saúde integram uma rede regionalizada e hierarquizada e constituem um sistema único, organizado de acordo com as seguintes diretrizes: i) descentralização, com direção única em cada esfera de governo, ii) atendimento integral, com prioridade para as atividades preventivas, sem prejuízo dos serviços assistenciais; e iii) participação da comunidade.”** Os princípios basilares do SUS são a universalização, a integralidade e a equidade.

Nos termos do art. 195 da CF/1988, o Sistema Único de Saúde é financiado com recursos do orçamento da seguridade social da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, além de outras fontes. Com a promulgação da Emenda Constitucional (EC) 86/2015, ficou estabelecido que esses entes da Federação deveriam aplicar, anualmente, em ações e serviços públicos de saúde (ASPS) recursos mínimos correspondentes a 15% da Receita Corrente Líquida (RCL).

Quanto à prestação de serviços, o SUS compõe uma rede regionalizada e hierarquizada que abrange a atenção primária, a atenção especializada, a vigilância sanitária e epidemiológica e a assistência farmacêutica constituindo-se um dos sistemas mais complexos do mundo. As instituições privadas participam de forma complementar, tendo preferência as entidades filantrópicas e as sem fins lucrativos.

Além dos preceitos constitucionais atinentes ao tema, há um conjunto de leis voltadas à organização e implementação do Sistema Único de Saúde, como a Lei Orgânica da Saúde – Lei 8.080/1990, de 19 de setembro de 1990, e inúmeros decretos e portarias do Ministério da Saúde. A Lei 8.080 é a principal lei do SUS porquanto é a base do sistema ao dispor sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes. Ademais, é a lei que regula as ações e serviços de saúde em todo o território nacional.

Os recursos do Orçamento da Seguridade Social alocados ao FNS e destinados à cobertura dos serviços e ações de saúde, a serem implementados pelos entes estaduais, distrital e municipais, são transferidos obedecendo a programação financeira da Secretaria do Tesouro Nacional, independentemente de convênio ou instrumento congêneres e segundo critérios, valores e parâmetros de cobertura assistencial estabelecidos na Lei 8.080/1990.

Estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), denominado de Gasto Público em Saúde, demonstrou a evolução do gasto em ASPS no âmbito das três esferas de governo. Em relação à participação das esferas de governo na realização dessas despesas, observa-se uma tendência de redução da participação da União no financiamento das ASPS e o aumento da parcela financiada pelos estados, Distrito Federal e municípios. Em 2022, a participação da União foi de 45,3%; a dos estados e Distrito Federal de 25,3%; e a dos municípios de 29,4%. Em 2023, os percentuais registrados de participação foram de 37,6%, 28,4% e 34,0%, respectivamente. Em relação aos valores aplicados no último ano, em 2023, a aplicação federal no SUS foi de aproximadamente R\$ 145 bilhões (IPEA, 2023).

Apesar dos elevados valores aplicados, a alocação dos recursos tem sido ineficiente, com problemas como o desperdício, a falta de integração entre diferentes níveis de governo e a burocracia envolvida nas transferências financeiras. Um estudo realizado no Rio Grande do Norte revelou que muitos municípios, apesar de terem maior disponibilidade de recursos, são ineficientes no uso dos mesmos. A falta de planejamento adequado, gestão ineficiente e má alocação dos recursos resultam em indicadores de saúde baixos, como baixa cobertura vacinal e número reduzido de leitos hospitalares (QUEIROZ et al., 2013).

Consoante Viera (2016), a longo prazo, o financiamento do SUS enfrentará grandes desafios. O envelhecimento populacional, o aumento das doenças crônicas e os avanços tecnológicos demandarão mais recursos de seus patrocinadores. Sem novas e profundas reformas no modelo de financiamento e na gestão do sistema público de saúde, a sustentabilidade do SUS poderá vir a estar comprometida. A austeridade fiscal imposta pelas

normas de finanças públicas limitam a capacidade do governo federal de aumentar os recursos para a saúde, e estados e municípios já operam no limite de suas capacidades financeiras.

Afora o contexto de estruturação institucional do SUS, para a pesquisa que aqui apresentamos, é preciso compreender também como é a sistemática de organização e dos desafios enfrentados pelos hospitais que prestam serviços ao SUS. A relação da prestação de serviço se dá por meio da contratualização, prevista nas Portarias GM/MS 3.390/2013, da PNHOSP 3.410/2013. Toda unidade hospitalar que presta serviços assistenciais ao SUS, independentemente de sua natureza jurídica, esfera administrativa, esfera de gestão, se público ou privado, com ou sem fins lucrativos, deve formalizar sua relação com o SUS por meio de contrato assinado com um gestor público.

Sob tal aspecto, a teoria da Nova Economia Institucional, desenvolvida por Ronald Coase, Douglas North e Oliver Williamson, aborda os custos de transação e suas implicações na organização econômica e eficiência. Coase, em "The Nature of the Firm", introduziu o conceito de custos de transação, que englobam os custos de negociação, execução e monitoramento de contratos, e propôs que as firmas existem para minimizar esses custos ao internalizar as transações COASE (1937).

North (1990) ampliou essa perspectiva, destacando o papel das instituições como regras que governam a sociedade, reduzindo a incerteza e promovendo a cooperação. Instituições eficazes, como direitos de propriedade e mecanismos de resolução de disputas, são fundamentais para o desenvolvimento econômico sustentável. Williamson (1985), por sua vez, complementou essas ideias ao introduzir o conceito de governança, enfatizando que a escolha entre mercados e hierarquias depende dos custos de transação específicos, além de alertar para o oportunismo nas relações contratuais. Tais conceitos se relacionam diretamente com a eficiência dos hospitais públicos, onde a confiança nas instituições e o ambiente cultural também afetam os custos de transação e a eficiência hospitalar.

Como já dito, os serviços ofertados pelo SUS são financiados pelas três esferas de governo: federal, estadual e municipal. Esse modelo interfederativo, embora desenhado para garantir um fluxo contínuo de recursos, enfrenta inúmeros desafios. A alocação desigual de recursos, a falta de transparência e a burocracia são barreiras significativas para a eficiência do sistema. De acordo com Vieira (2016), a complexidade do financiamento e do modelo de pagamentos por serviços prestados frequentemente resultam em atrasos nos pagamentos e insuficiência de recursos, afetando a capacidade dos hospitais e unidades de saúde de prestar serviços de qualidade.

A eficiência dos hospitais públicos é diretamente impactada pela fragmentação do financiamento, por políticas públicas inadequadas e pela disputa de forças entre os responsáveis. A má gestão financeira leva a uma sobrecarga dos serviços, aumento dos tempos de espera e redução da qualidade do atendimento. Além disso, a falta de coordenação entre as esferas de governo, a ausência de uma real *accountability* por parte dos gestores responsáveis, e a inexistência de incentivos para a eficiência exacerbam esses problemas.

Segundo pesquisa concebida pelo Banco Mundial (2017), utilizando modelo de Análise Envoltória de Dados, haveria 71% de ineficiência média nos serviços de média e alta complexidade prestados no âmbito do SUS, o que se traduziria em economia potencial teórica de R\$ 12,7 bilhões, sem que houvesse prejuízo no nível de serviços prestados.

Para Hasle, Nielsen e Edwards (2016), o sistema da saúde sofre com graves crises financeiras, de modo que deve utilizar seus recursos de forma eficiente, para manter-se no orçamento planejado. Além disso, a demanda no setor cresce fortemente, criando a necessidade de tempos mais rápidos de atendimento e processos com maior qualidade.

Apesar dos reconhecidos avanços alcançados por determinadas áreas e centros de excelência do sistema público brasileiro, o setor hospitalar vem enfrentando desafios persistentes no que concerne à gestão dos serviços de urgência e emergência em diversas regiões do país. Entre esses desafios, destacam-se questões relacionadas à alocação orçamentária, infraestrutura, recrutamento e capacitação de profissionais das mais diversas áreas, além da necessidade de fortalecimento dos processos de regulação e, sobretudo, de gestão.

Ante a tal contexto desafiador e aos problemas vivenciados pelo País durante o período da pandemia de Covid-19, questões acerca da ineficiência hospitalar passaram a ser priorizadas nas ações de controle dos tribunais de contas do Brasil. Com a promulgação do Acórdão 1108/2020 - Plenário, o Tribunal de Contas da União (TCU) divulgou os resultados de auditoria realizada cujo objetivo foi de apontar critérios para realização de auditoria de avaliação de desempenho (eficiência) nas unidades hospitalares.

Com base nos riscos e evidências verificadas, o TCU passou a coordenar um amplo projeto denominado de Eficiência na Saúde, juntamente com outros órgãos parceiros, a fim de induzir maior eficiência nos serviços assistenciais de saúde do SUS, especialmente aqueles prestados por hospitais. Mais detalhes e ações em andamento relativos ao mencionado projeto podem ser verificados na página da internet do projeto acessando <https://eficiencianasaude.org/>.

2.2 Projeto Lean nas Emergências

O Projeto Lean nas Emergências, gestado no âmbito do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Institucional do Sistema Único de Saúde (Proadi-SUS), foi lançado em 2017 com o objetivo principal de reduzir a superlotação e melhorar a eficiência nos atendimentos de urgências e emergências de hospitais públicos e filantrópicos do Brasil.

Sua implementação se deu a partir de uma colaboração entre o Ministério da Saúde e hospitais de excelência, incluindo o Hospital Sírio-Libanês, a Beneficência Portuguesa de São Paulo e o Hospital Moinhos de Vento, entre outros. Esses hospitais, ao participarem do projeto, cumpriram requisitos da Certificação de Entidade Beneficente de Assistência Social (CEBAS), contribuindo com sua expertise na melhoria da gestão hospitalar.

O Proadi-SUS é financiado com recursos de isenção fiscal, concedida aos hospitais filantrópicos, com excelência reconhecida pelo Ministério da Saúde. O Programa visa promover a melhoria das condições de saúde da população, contando com aproximadamente 40 projetos sob a gestão da Secretaria de Atenção à Saúde- SAS/MS.

O Proadi-SUS permite a transferência, desenvolvimento e incorporação de novos conhecimentos e práticas em áreas estratégicas para o SUS por meio da execução de projetos de apoio e na prestação de serviços de saúde ambulatoriais e hospitalares, enquadrados em áreas específicas, estabelecidas pela Lei nº 12.101, de 27 de novembro de 2009.

A metodologia Lean foi desenvolvida pela Toyota, no Japão, após a Segunda Guerra Mundial, como resposta à necessidade de uma produção mais ágil e eficiente. O foco do Lean é a eliminação de desperdícios, buscando sempre atender às demandas com rapidez, qualidade e menor custo. No modelo Toyota, o conceito central era agregar valor ao cliente final, eliminando processos que não geravam benefícios diretos, como tempos de espera excessivos ou tarefas repetitivas.

Segundo Silberstein (2006), a introdução do pensamento Lean na área da saúde, conhecido como Lean Healthcare, aconteceu de forma estruturada e sistemática em 2006. Naquele ano, a Lean Enterprise Academy (LEA), uma organização sem fins lucrativos da Grã-Bretanha, dedicada ao estudo e disseminação do pensamento Lean, organizou o primeiro congresso sobre a aplicação dos princípios Lean nos serviços de saúde.

O Lean Healthcare vem tendo destaque na área da saúde por auxiliar os hospitais a enfrentar diversos desafios, como o aumento dos custos, a crescente demanda por cuidados de alta complexidade, o envelhecimento das populações e o aumento das doenças crônicas. Além disso, os métodos empreendidos podem ser associados ao avanço tecnológico do setor. Diante

dessas novas oportunidades, as organizações de saúde passam a contar com um novo horizonte de possibilidades utilizando-se de técnicas e ferramentas enxutas para oferecer serviços de alta qualidade (WICKRAMASINGHE et al., 2014).

Logo, o Lean Healthcare é uma adaptação da filosofia Lean que permite aos hospitais melhorar o atendimento aos pacientes, ajudando funcionários e médicos a eliminar barreiras e obstáculos que impedem a prestação de cuidados de qualidade. Além disso, auxilia na superação de adversidades entre diferentes setores do hospital, promovendo uma colaboração mais eficiente em prol dos pacientes (GRABAN, 2013).

Collar et al. (2012), ressaltou que para que o Lean seja bem-sucedido, é necessário promover uma mudança cultural, abandonando a gestão hierárquica tradicional de "cima para baixo". Para que a implementação do Lean seja efetiva e sustentável, é fundamental contar com lideranças engajadas e comprometidas com os princípios do Lean desde o início da jornada.

Na mesma linha, Santos et al. (2020) nos traz que a metodologia Lean teve como principal objetivo a eliminação de desperdícios e a maximização da eficiência nos processos produtivos. Com o tempo, a filosofia Lean foi adaptada para diversos setores, incluindo a saúde, onde ganhou o nome de Lean Healthcare. A implementação dessa filosofia em hospitais brasileiros mostrou resultados positivos, como a melhoria na qualidade do atendimento ao paciente, redução de custos operacionais e maior organização dos fluxos de trabalho.

Ainda sobre a filosofia Lean, chama atenção para os aspectos da redução no tempo de espera do paciente tendo em vista a disponibilização de indicadores gráficos na recepção, como tempo de aguardo, quantidade de pacientes em atendimento por severidade, dentre outros. Em um estudo realizado por Wzorek (2018), numa clínica médica obteve-se uma redução de 45% ou 1 hora e 30 minutos em relação ao tempo de permanência dos pacientes para a realização de procedimentos médicos, evidenciando o potencial da utilização do Lean Healthcare em relação ao tempo de espera.

Referindo-se especificamente sobre o projeto Lean nas Emergências, gerido pelo Proaudi-SUS e hospitais parceiros, cabe mencionar que tem como meta principal a redução da superlotação nas emergências hospitalares, problema crônico em muitas unidades de saúde do país. Muito embora o foco voltado para as emergências hospitalares, importante dizer, por se tratar de uma metodologia de melhoria contínua de gestão, aspectos e procedimentos afetos ao referido projeto acabam por impactar toda a unidade hospitalar.

No âmbito do referido programa, são aplicados cinco princípios fundamentais do Lean Healthcare para melhorar a eficiência e a qualidade do atendimento em emergências

hospitalares. O primeiro princípio é identificar o valor, que no contexto hospitalar é atender às necessidades dos pacientes de forma ágil e eficaz. Em seguida, o projeto foca em mapear o fluxo de valor, eliminando etapas desnecessárias nos processos de atendimento. O terceiro princípio busca criar um fluxo contínuo, evitando gargalos e interrupções no cuidado. O princípio puxado assegura que os recursos sejam utilizados conforme a demanda dos pacientes, prevenindo desperdícios. Por fim, o projeto persegue a melhoria contínua, implementando ajustes frequentes para otimizar os processos e garantir melhores resultados no atendimento.

O Lean, aplicado à área hospitalar, visa a eliminação de desperdícios e a melhoria contínua de processos, aspectos que são fundamentais para a redução de tempo de espera e a otimização dos recursos hospitalares. Desde seu lançamento, o projeto tem sido aplicado em ciclos, com cada ciclo de implementação e monitoramento durando em média 18 meses, divididos em 12 meses de implantação e seis meses de acompanhamento.

O programa se utiliza de diversas ferramentas de gestão para otimizar processos hospitalares. Entre elas estão o Kaizen, que promove a melhoria contínua, o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), que identifica atividades que agregam valor e elimina desperdícios, e o método 5S, que organiza os locais de trabalho.

Figura 1

Processo de trabalho e ferramentas utilizadas pelo projeto Lean nas Emergências.

Lean nas Emergências



Fonte: Projeto Lean nas Emergências. Lean Summit Saúde 2024, São Paulo, 2024.

A título de exemplo, conforme relato dos próprios gestores do Proadi-SUS (Brasil, 2023), o uso do Kaizen em um hospital pode ser aplicado na reorganização do fluxo de pacientes, melhorando o tempo de atendimento. O MFV tem sido amplamente utilizado para mapear o percurso de um paciente desde a triagem até a alta, eliminando etapas que não

agregam valor direto ao atendimento. Ademais, o projeto utiliza indicadores como o NEDOCS (*National Emergency Department Overcrowding Scale*) para mensurar o nível de superlotação e avaliar o impacto das intervenções realizadas, assim como o LOS (*Length of Stay*) que mede o tempo de permanência do paciente no pronto socorro.

A busca pela melhoria visa proporcionar uma maior qualidade com redução de desperdícios, ou seja, uma maior geração de valor para o paciente. As atividades desenvolvidas promovem a autonomia dos profissionais de saúde envolvidos no projeto, resultando em um ganho na trajetória do paciente pelo serviço de urgência e emergência, desde sua chegada até a sua transferência para o local adequado, com os recursos corretos e no tempo adequado. Conforme consta do site do MS, o objetivo principal do projeto é reduzir a superlotação nas urgências e emergências de hospitais públicos e filantrópicos por meio da racionalização dos recursos e otimização de espaços e insumos.

Rocha et al. (2023) realizaram um estudo sobre a aplicação do Lean em um hospital universitário no sul do Brasil, demonstrando que a metodologia foi eficaz na diminuição da superlotação nas emergências. A partir de inovações em rotinas assistenciais e gerenciais, a adoção de práticas como o *Daily huddle* e a criação de planos de contingência resultaram na otimização de recursos e na melhoria dos fluxos de pacientes.

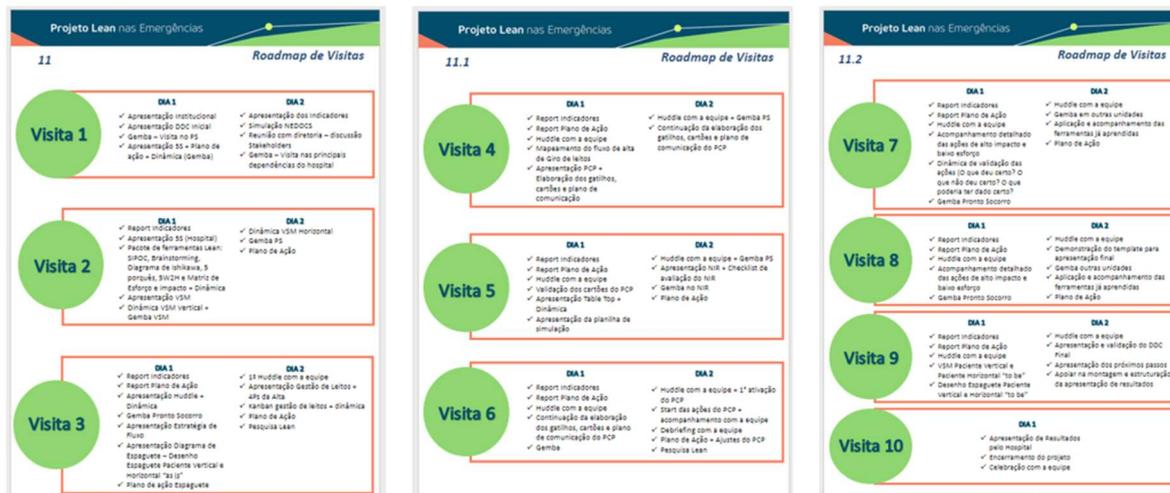
Para participar do projeto Lean nas Emergências, os hospitais precisam atender a uma série de critérios de elegibilidade. Eles devem ter, por exemplo, um número mínimo de leitos, serem referência regional e estarem localizados em regiões metropolitanas ou capitais. Além disso, as instituições precisam demonstrar engajamento das equipes de emergência e possuir estrutura mínima de governança, como sistemas informatizados e monitoramento de dados, além de implementar protocolos de classificação de risco e gestão de leitos.

Esses critérios asseguram que os hospitais estejam minimamente preparados para a aplicação das técnicas Lean e que possam se beneficiar plenamente da metodologia. O ciclo de implementação é dividido em várias fases, que envolvem visitas presenciais das equipes de consultores Lean aos hospitais, onde são ministradas capacitações, realizadas dinâmicas de simulação e implementadas as ferramentas Lean. As visitas por parte da equipe da supervisão têm a função de monitorar o progresso, ajustar o plano de ação e validar as mudanças implantadas ao longo do processo.

Figura 2

Planejamento de visitas ao longo do período da participação no projeto Lean nas Emergências.

Lean nas Emergências



Fonte: Projeto Lean nas Emergências. Lean Summit Saúde 2024, São Paulo, 2024.

Segundo Battaglia e Pinto (2014), a implantação da filosofia Lean no segmento da saúde é inquestionável, seja para melhorar as condições da qualidade dos serviços ofertados, da disposição das equipes, da redução de custos, do tempo de espera, seja também para aumentar a própria segurança do paciente. Na assistência à saúde sua utilização vem evoluindo de forma consistente e é considerada não apenas como um conjunto de ferramentas operacionais, mas como uma estratégia organizacional que leva ao crescimento da empresa e satisfação dos clientes/pacientes.

Os autores enfatizam ainda que a filosofia Lean permitiu alcançar um modelo de gestão mais sustentável e eficiente, corroborando sua aplicação na área da saúde como uma solução para problemas crônicos de superlotação. A adoção da metodologia Lean levou à criação de novas rotinas de atendimento, as quais reduziram significativamente a superlotação nas emergências e melhoraram o uso dos recursos. Essa transformação não apenas aumentou a eficiência, mas também contribuiu para uma gestão mais sustentável e de melhor qualidade no atendimento.

Os principais resultados almejados pelo projeto Lean nas Emergências são: diminuição do tempo de espera no atendimento na emergência e agilidade na busca de leito; aumento do giro de leitos; medidas assertivas de gestão e reabastecimento de medicamentos; mais qualidade nos serviços prestados; redução do tempo médio de permanência; aumento da satisfação dos usuários e dos colaboradores atuantes na unidade, dentre outros.

Conforme apresentado no Lean Summit Saúde (2024), até o ano de 2023, o Projeto Lean nas Emergências beneficiou 208 hospitais no Brasil, com o objetivo de combater a superlotação e melhorar a eficiência no atendimento nas emergências. A metodologia é implementada em fases que incluem a capacitação de profissionais, diagnóstico inicial, aplicação de ferramentas de otimização de fluxos e monitoramento contínuo. Para o triênio de 2024 a 2026, a gestão do projeto prevê expandir sua atuação para mais 253 hospitais, reforçando o compromisso de ampliar os benefícios obtidos nas unidades que já passaram pela transformação Lean.

Segundo relatos dos próprios responsáveis por sua execução, os resultados obtidos com a implementação do projeto têm sido bastante significativos. Entre os principais, destaca-se a redução de 36% no índice de superlotação dos hospitais participantes, uma redução de 40% no tempo de passagem dos pacientes sem internação e de 41% para aqueles que precisaram ser internados. Além disso, observou-se uma melhora na qualidade e segurança do atendimento, maior organização dos fluxos internos e um aumento na colaboração entre as equipes assistenciais. Os gestores destacam ainda que esses resultados foram possíveis graças à aplicação das ferramentas Lean e ao monitoramento contínuo dos indicadores de desempenho.

Destacado por Rocha et al. (2023), o futuro do Lean na saúde parece promissor, especialmente à medida que mais hospitais começam a adotar a filosofia como uma estratégia organizacional. A expansão do projeto Lean nas Emergências para novos hospitais públicos e filantrópicos tem mostrado que a metodologia pode ser replicada em diferentes contextos, trazendo benefícios como a redução de custos, maior eficiência e melhor atendimento ao paciente. Com mais ciclos de implantação previstos no âmbito do projeto Lean nas Emergências do MS, espera-se que os resultados positivos observados em emergências sejam replicados em outros departamentos hospitalares, como unidades de terapia intensiva e ambulatórios.

Apesar de vários resultados promissores, para Santos et al. (2020) a implementação do Lean na saúde enfrenta alguns desafios. A adaptação cultural é um dos maiores obstáculos, pois muitos profissionais da saúde resistem à mudança de processos. Em muitos casos, médicos e enfermeiros não estão familiarizados com a filosofia Lean, o que dificulta sua adoção. Um exemplo disso ocorreu em um hospital universitário, onde a falta de treinamento adequado fez com que o projeto Lean enfrentasse resistência inicial, sendo necessário realizar workshops e capacitações contínuas para envolver todos os colaboradores.

As ferramentas do Lean, originalmente desenvolvidas para a indústria automotiva, precisam ser adaptadas para o ambiente hospitalar, o que nem sempre ocorre de forma eficaz. Um exemplo é a dificuldade em medir os resultados de longo prazo de um projeto Lean,

especialmente em hospitais com alta rotatividade de pacientes e grande variação nas demandas diárias. A falta de continuidade nas práticas também é um obstáculo que pode limitar os benefícios a longo prazo.

Diante desse contexto e a despeito da maioria dos estudos publicados, até o momento, mencionarem o sucesso do emprego da filosofia Lean em hospitais, importante notar que tais trabalhos concentram-se principalmente na análise da eficiência operacional e nos seus impactos imediatos, medidos através de indicadores previamente estabelecidos, como a redução de tempo de espera, taxa de permanência e giro de leitos. De modo que não foram encontrados, até onde se sabe, estudos que utilizassem especificamente a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar a eficiência técnica de unidades hospitalares que adotaram a metodologia Lean.

Os estudos revisados por Santos et al. (2020) revelam que a metodologia Lean tem sido aplicada com sucesso em diversas áreas dos hospitais, incluindo emergências e setores cirúrgicos, sempre com o objetivo de melhorar processos e reduzir custos, mas a maioria das avaliações se restringe a análises qualitativas ou descrições de melhorias pontuais nos indicadores de desempenho operacional. Outros poucos estudos limitaram-se a realizar uma avaliação quantitativa descritiva de informações restritas de uma reduzida amostra de hospitais.

Portanto, reitera-se o caráter inovador da presente pesquisa, uma vez que se busca suprir uma lacuna na literatura vigente, contribuindo com o universo científico com estudo que avalie a eficiência técnica da metodologia Lean na rede hospitalar, por meio da DEA, permitindo, assim, uma análise mais robusta e quantitativa dos ganhos de produtividade tendo como parâmetro variáveis de entrada e saída utilizadas nos processos produtivos de um conjunto de hospitais, possibilitando, inclusive, a comparação entre unidades que aplicam a filosofia Lean.

2.3 Gestão e Eficiência Hospitalar

A gestão eficiente de instituições e organizações empresariais tem se mostrado um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da produtividade e na qualidade do serviço ou bem ofertado, e isso não é diferente no setor de saúde. A capacidade de gerir de forma eficaz os recursos disponíveis, sejam eles humanos, materiais ou financeiros, é determinante para garantir a sustentabilidade dos serviços prestados, principalmente em contextos de restrições orçamentárias e crescente demanda por cuidados de saúde.

Tanto a doutrina como a literatura acadêmica - Deming (1986) e Porter e Teisberg (2006) - destacam que a implementação de práticas de gestão modernas e o fortalecimento da governança corporativa são fundamentais para que as unidades hospitalares alcancem maior

eficiência operacional, melhorando a qualidade dos serviços oferecidos e otimizando os recursos disponíveis.

Figura 3

Modelo de transformação de insumos (*inputs*) em produtos ou serviços (*outputs*).



Modelo de Transformação – Input – Transformação - Output

Fonte: Adaptado de Slack et al., 2008.

No setor de saúde, especialmente em hospitais, o modelo de transformação *input* – transformação *output* refere-se a um conceito fundamental da teoria da administração de operações. Esse modelo descreve como os insumos (*inputs*) são transformados em produtos ou serviços (*outputs*) por meio de um processo de transformação. No contexto hospitalar, essa abordagem é essencial para analisar a eficiência e a produtividade das operações de saúde, uma vez que hospitais, assim como qualquer organização produtiva, dependem de um fluxo bem-organizado de recursos para entregar cuidados de qualidade.

Os *inputs* são os recursos fundamentais que entram no sistema para produzir os cuidados de saúde. Esses recursos incluem equipamentos médicos, mão de obra qualificada (médicos, enfermeiros, técnicos), infraestrutura (como salas cirúrgicas e leitos), medicamentos, materiais médicos e até informações sobre o estado de saúde do paciente.

Além disso, o tempo dos profissionais de saúde e a organização das tarefas também são componentes críticos no processo de *input*. Os *outputs* no contexto hospitalar são os produtos ou serviços de saúde entregues aos pacientes, como tratamentos realizados, cirurgias concluídas, diagnósticos feitos corretamente e, de forma mais ampla, a restauração ou a manutenção da saúde dos pacientes. A qualidade desses *outputs* está diretamente relacionada à eficiência do processo de transformação (SLACK et. al., 2008).

Os fatores de produção (*inputs*) podem estar relacionados a problemas nos processos de trabalho e cuidados dentro do sistema hospitalar de urgência, contribuindo para a superlotação. Dentre esses, estão a organização da recepção e do registro de admissão, o número e a experiência dos profissionais das várias categorias e o sistema de triagem utilizado. Outros fatores incluem o uso de protocolos, a utilização de equipamentos de tecnologia da informação

e o acesso oportuno aos resultados de investigações diagnósticas, como exames bioquímicos e de imagem, que são cruciais para a tomada de decisões seguras sobre internação ou alta (Bish; McCormick; OtegbEYE, 2016).

Já os fatores de saída referem-se aos obstáculos que dificultam o fluxo de pacientes do sistema hospitalar de urgência para outros locais de cuidado. Entre esses fatores, Viccellio et al. (2013) destacam a falta de leitos em quantidade adequada dentro do hospital, o que leva ao chamado "bloqueio de saída", situação em que os pacientes que precisam de internação não conseguem acesso a leitos disponíveis em tempo hábil. A regulação inadequada de leitos, bem como a ausência de protocolos eficazes de admissão e alta precoce também são barreiras importantes (MURPHY et al., 2014).

O entendimento é que o principal fator que contribui para a superlotação na maioria dos sistemas hospitalares de urgência e emergência é a falta de capacidade hospitalar ou a falta de coordenação dessa capacidade. Isso pode ocorrer tanto por uma insuficiência de leitos disponíveis para atender à demanda de internação dos pacientes (baixa capacidade), quanto por uma falta de sincronização entre o momento em que os leitos são liberados e o momento em que os pacientes necessitam deles (falta de coordenação) (SALWAY et al., 2017).

Como forma de mitigar as consequências negativas dos problemas acima elencados, a melhor doutrina de gestão organizacional cita os aspectos favoráveis da boa governança corporativa, cuja prática é essencial para o aumento da eficiência e da produtividade operacional. Como paradigma, a boa governança deve promover a transparência na gestão, a responsabilidade na prestação de contas (*accountability*) e a ética nas tomadas de decisão.

Como apontado por Kaplan e Norton (2008), a governança em instituições de saúde é um fator crítico para garantir que os interesses dos stakeholders, sejam eles internos ou externos, sejam devidamente considerados e atendidos. A transparência, por exemplo, permite que os hospitais adotem práticas gerenciais que garantam a correta alocação dos recursos, evitando desperdícios e reduzindo custos desnecessários, ao mesmo tempo em que promove a confiança da população e dos investidores no sistema hospitalar.

Outro fator determinante para a obtenção de uma gestão hospitalar eficaz, é a existência de uma liderança competente e comprometida com os objetivos organizacionais. De acordo com Mintzberg (1997), uma liderança sólida é o pilar sobre o qual se baseia a estratégia de qualquer organização, sendo ainda mais relevante no contexto hospitalar, onde as decisões tomadas pelos gestores afetam diretamente a vida e o bem-estar dos pacientes. A liderança hospitalar eficiente não apenas orienta a equipe em direção aos objetivos estratégicos, mas

também promove um ambiente de trabalho colaborativo, que estimula a inovação e o aprimoramento contínuo dos processos internos.

Além disso, a *accountability*, conforme destacado por Bovens (2007), reforça a responsabilidade dos gestores hospitalares em garantir que as ações e decisões tomadas sejam justificadas perante os diversos públicos da instituição, incluindo os pacientes, os profissionais de saúde e os órgãos reguladores. A aplicação de mecanismos de *accountability* fortalece a cultura organizacional, promovendo uma maior eficiência administrativa e operacional, ao exigir que os gestores avaliem constantemente o desempenho de suas equipes e ajustem as práticas conforme necessário.

Com efeito, toda ação governamental deve estar sujeita a avaliações, ainda que incipientes a princípio, pois tal procedimento confere transparência aos gastos públicos e, também, permite a retroalimentação do ciclo da política pública. Com relação a isso, Ramos e Schabbach (2012) ressaltam que: além de aprimorar o processo de tomada de decisão, vislumbrar a alocação apropriada de recursos e promover a responsabilização por decisões e ações dos governantes. A etapa de avaliação permite aos formuladores e gestores de políticas públicas desenharem políticas mais consistentes e com melhores resultados.

A fim de atingir tal propósito, a implementação de ferramentas de gestão, como o *Balanced Scorecard*, Kaizen, Mapeamento de Fluxo de Valor e 5S, também tem se mostrado eficaz na melhoria da eficiência das organizações. Essas ferramentas permitem aos gestores traduzir a estratégia em ações concretas, ao alinhar os objetivos organizacionais com indicadores de desempenho em perspectivas fundamentais: financeira, clientes (pacientes), processos internos, aprendizado e crescimento. Ao integrar esses indicadores, os gestores podem monitorar o desempenho de seus processos de forma holística, identificando áreas que necessitam de melhorias e ajustando as operações para maximizar a produtividade de suas organizações.

No contexto hospitalar, a eficiência de um hospital depende, portanto, de como os inputs são utilizados no processo de transformação, que envolve todas as atividades relacionadas ao cuidado do paciente, como diagnósticos, procedimentos cirúrgicos, tratamentos, exames laboratoriais e processos administrativos. E no âmbito dos vários fluxos de trabalho existentes dentro de um hospital, é onde as ferramentas e princípios da metodologia Lean Healthcare se tornam cruciais, uma vez que visam identificar e eliminar atividades que não agregam valor e que podem ser consideradas como desperdícios, como longos tempos de espera,

movimentações desnecessárias de pacientes e retrabalho por falta de comunicação entre equipes.

A gestão de pessoas também é um fator crucial para o aumento da produtividade. Como afirmado por Drucker (1999), “as pessoas são o recurso mais valioso de qualquer organização”. No ambiente hospitalar, essa máxima se traduz na necessidade de um gerenciamento eficaz das equipes de saúde, garantindo que os profissionais estejam motivados, capacitados e engajados nos objetivos da instituição. A capacitação contínua e a promoção de um ambiente de trabalho saudável, com boas condições laborais e oportunidades de desenvolvimento, são fundamentais para melhorar a produtividade das equipes e, conseqüentemente, a qualidade dos serviços prestados aos pacientes.

De igual forma, a gestão de processos tem um impacto direto na eficiência das operações hospitalares. A adoção de sistemas de gestão que permitam a automação de processos, o monitoramento em tempo real dos recursos hospitalares, como leitos, medicamentos e equipamentos, e a integração de informações entre diferentes departamentos, possibilitam uma melhor coordenação das atividades hospitalares. De acordo com Hammer e Champy (1993), a reengenharia de processos pode resultar em ganhos significativos de eficiência ao eliminar redundâncias, reduzir o tempo de espera dos pacientes e otimizar o fluxo de trabalho dentro das unidades hospitalares.

Por fim, é necessário destacar o impacto que uma gestão eficiente tem nos resultados financeiros das unidades hospitalares, especialmente no setor público, onde a escassez de recursos é um desafio constante. Como observado por Porter e Teisberg (2006), a eficiência hospitalar é uma das principais formas de garantir a sustentabilidade dos sistemas de saúde a longo prazo, pois permite que as unidades ofereçam mais serviços com os mesmos recursos.

Dessa forma, vê-se que a influência de uma gestão hospitalar competente é primordial para o aumento da eficiência e produtividade das unidades hospitalares de saúde. A adoção de práticas de governança corporativa, a implementação de modernas ferramentas de gestão e uma liderança efetiva são elementos essenciais para que as unidades hospitalares consigam otimizar seus recursos, melhorar os resultados operacionais e garantir a sustentabilidade dos sistemas de saúde. A eficiência hospitalar, portanto, não é apenas uma questão técnica, mas envolve uma gestão estratégica que valoriza o planejamento, a coordenação, a transparência, a responsabilidade e o compromisso com a qualidade dos serviços prestados à população.

2.4 Método de Análise Envoltória de Dados – DEA

A Análise Envoltória de Dados (DEA) desponta como uma ferramenta revolucionária no campo da economia, principalmente quando se trata de medir eficiência em setores onde a alocação de recursos é complexa e os resultados são múltiplos e variados. A DEA é uma técnica não paramétrica amplamente utilizada para medir a eficiência de unidades de decisão, conhecidas como DMUs (*Decision Making Units*), em diversos setores, incluindo a saúde pública.

Com uma abordagem matemática relativamente simples, o modelo DEA consegue avaliar a eficiência de várias DMUs simultaneamente, sem a necessidade de definir uma função de produção específica. A criação desse método remonta à década de 1970, quando Abraham Charnes, William W. Cooper e Eduardo Rhodes publicaram o seminal artigo *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*, que não apenas inaugurou uma nova era na análise de eficiência, mas também abriu caminhos para sua aplicação prática em diversas áreas, incluindo o campo das políticas e serviços públicos (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

No âmbito microeconômico, o modelo DEA tem fortes ligações com os conceitos de eficiência técnica e alocativa. A eficiência técnica reflete a capacidade de uma unidade produtiva em maximizar outputs dados os inputs disponíveis, enquanto a eficiência alocativa examina a capacidade de utilizar os recursos de maneira que minimize custos ou maximize os retornos em um contexto de preços de mercado.

Tais fundamentos encontram base na teoria da produção, que explora a relação entre fatores de produção e o produto gerado, analisando como as empresas ou organizações podem atingir níveis ótimos de produção dados os recursos escassos. No caso dos hospitais, os inputs incluem recursos como leitos, profissionais de saúde e equipamentos, enquanto os outputs envolvem serviços como diagnósticos, tratamentos e cirurgias.

A partir da perspectiva microeconômica, o DEA permite avaliar se os hospitais estão utilizando seus recursos de forma eficiente para maximizar o atendimento à população. Além disso, o modelo é capaz de identificar possíveis desperdícios ou subutilizações de recursos, auxiliando na adoção de estratégias de melhoria contínua e na alocação mais eficiente dos insumos, elementos centrais na aplicação do Lean Healthcare, metodologia adotada em iniciativas como o Projeto Lean nas Emergências.

A integração do DEA com conceitos econômicos possibilita análises mais abrangentes da eficiência no setor hospitalar, ao incorporar aspectos como custos de oportunidade e trade-offs entre *inputs* e *outputs*. Essa abordagem fornece subsídios importantes para gestores e

formuladores de políticas públicas na identificação de melhores práticas, promovendo a alocação eficiente de recursos em um contexto de restrições orçamentárias e crescente demanda por serviços de saúde.

A importância da DEA na mensuração da eficiência está, justamente, na sua capacidade de comparar empiricamente o desempenho de unidades similares que consomem múltiplos *inputs* para produzir múltiplos *outputs*, sem a necessidade de especificar previamente como esses *inputs* se transformam em *outputs*.

Destacou Scaratti (2012) que um dos desafios para avaliar a gestão em saúde – de natureza determinística, em vez de probabilística – é encontrar técnicas que permitam analisar concomitantemente todos os aspectos envolvidos. O método da Análise Envoltória de Dados é uma metodologia vastamente empregada no estudo de produtividade e eficiência técnica de organizações que empregam múltiplos insumos para gerar múltiplos produtos. Permite identificar as melhores práticas por meio de fronteiras empíricas de programação linear.

Cooper et al. (2007) afirmam que essa versatilidade é o que torna o DEA uma ferramenta tão poderosa para análises de eficiência, seja no setor privado ou público. Na saúde, por exemplo, ele permite a comparação de hospitais de diferentes portes e realidades, desde que os *inputs* e *outputs* sejam adequadamente definidos para cada contexto. O método DEA é extremamente flexível, permitindo sua aplicação em diferentes áreas com variações mínimas na sua formulação original.

A Análise Envoltória de Dados é uma metodologia que possibilita avaliar a eficiência dos hospitais na utilização de recursos para maximizar o atendimento e minimizar falhas operacionais. Um aspecto relevante da DEA é sua capacidade de respeitar as particularidades de cada unidade avaliada, sem impor uma fórmula fixa ou uniforme, permitindo uma análise personalizada. Como apontam Cooper, Seiford e Tone (2006), o modelo DEA não apenas identifica unidades eficientes e ineficientes, mas também fornece benchmarks que servem como referência para aprimorar o desempenho, configurando-se como uma ferramenta robusta para a otimização dos recursos disponíveis.

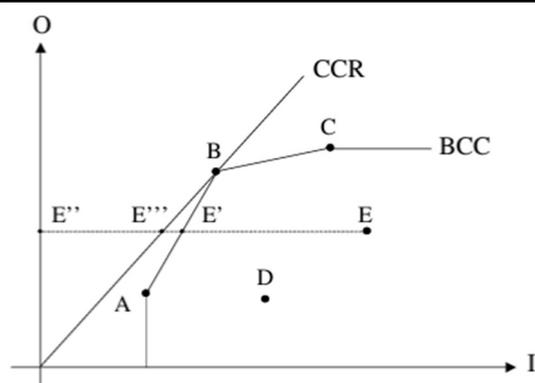
O modelo original de Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) assume que todas as DMUs operam sob retornos constantes de escala (CRS), ou seja, qualquer variação nos *inputs* resulta em uma variação proporcional nos *outputs*. Esse modelo é especialmente útil em situações em que se assume que todas as DMUs estão operando em sua escala ótima. No entanto, a realidade frequentemente desafia essa suposição. Afinal, nem todas as unidades são criadas iguais.

A partir desse entendimento que Banker, Charnes e Cooper (1984) propuseram um modelo alternativo, o BCC, que admite retornos variáveis de escala (VRS). Este modelo permite que a análise DEA leve em conta o fato de que diferentes DMUs podem operar em diferentes níveis de eficiência devido a suas diferentes escalas de operação.

Nesse contexto, para uma melhor compreensão da abordagem do método, faz-se necessário explicar com mais detalhes o conceito de Unidade de Tomada de Decisão (DMU). Esta designação refere-se às unidades produtivas, baseando-se na premissa da DEA de que tais unidades desempenham efetivamente o papel de tomadoras de decisão. No contexto específico abordado neste estudo, cada unidade hospitalar pode ser considerada uma DMU.

Figura 4

Representação das fronteiras de eficiência BCC e CCR.



Fonte: Modelos DEA BCC e CCR

Comparando as DMUs com base nos recursos empregados e serviços prestados, permite-se identificar as unidades mais eficientes e, até mesmo, grupos de unidades eficientes (de onde podem ser extraídas melhores práticas). Adicionalmente, são identificadas as unidades ineficientes nas quais são viáveis ganhos efetivos de eficiência. Tais informações resultam da comparação do mix do volume dos serviços prestados com o dos recursos consumidos por cada DMU em relação a todas as outras unidades, caracterizando a DEA como uma poderosa ferramenta de benchmarking.

Para a correta aplicação da DEA, alguns critérios mínimos precisam ser observados. Segundo Banker, Charnes e Cooper (1984), é fundamental que as DMUs sejam homogêneas, ou seja, que atuem em contextos operacionais semelhantes e tenham objetivos comparáveis. Além disso, é essencial que as variáveis de inputs e outputs sejam bem definidas e representem com precisão os recursos utilizados e os resultados produzidos por cada unidade. A qualidade e a precisão dos dados são cruciais para garantir resultados válidos.

Assim, o modelo de programação linear define a margem de eficiência com base naquelas poucas unidades que produzem com uma eficiência de 100% (melhor resultado da amostra). Conforme Fitzsimmons e Fitzsimmons (2014), as áreas que precisam de melhorias são identificadas ao comparar as práticas operacionais das unidades eficientes às das unidades menos eficientes. O compartilhamento das práticas de gerenciamento das unidades mais eficientes com as menos eficientes possibilita uma oportunidade para a melhoria dessas unidades e o incremento da produtividade do sistema total.

O uso da DEA no setor de saúde pública tem se mostrado particularmente eficaz, especialmente em hospitais, onde os recursos são limitados e os resultados podem ser complexos de mensurar. Tone (2001) destaca que a metodologia é amplamente adotada em estudos de eficiência hospitalar, permitindo a avaliação de como diferentes insumos, como leitos e horas de médicos, podem ser mais bem utilizados para maximizar os outputs, como atendimentos e taxas de sobrevivência de pacientes.

A ferramenta permite comparar unidades de saúde que operam sob diferentes condições, fornecendo um diagnóstico claro sobre quais unidades estão usando melhor seus recursos para maximizar os resultados (outputs). Segundo Garmatz et al. (2021), a DEA oferece aos gestores de saúde pública uma maneira objetiva de identificar as melhores práticas e áreas onde os recursos são subutilizados, auxiliando na tomada de decisões estratégicas para melhorar a qualidade dos serviços prestados.

A equação que define o modelo é baseada na maximização da razão entre a soma ponderada dos outputs e a soma ponderada dos inputs. Conforme apontam Silva et al. (2017), a DEA orientada a outputs pode ser representada pela equação que maximiza os outputs, sujeitos a restrições que garantem que nenhuma unidade de decisão supere a eficiência da fronteira eficiente estabelecida. Essa fórmula oferece uma base matemática clara para comparar unidades de decisão de maneira justa, levando em consideração suas diferentes combinações de inputs e outputs.

A orientação para maximização de outputs busca focar em aumentar os resultados (*outputs*) sem aumentar os recursos (*inputs*), o que é particularmente adequado em setores como o de saúde, sobretudo na esfera pública, onde se busca melhorar a eficiência dos serviços sem necessariamente reduzir os insumos dado as peculiaridades concernentes ao modelo de contratação de pessoal e contexto político.

A equação matemática fundamental da DEA, segundo Charnes, Cooper & Rhodes (1978), pode ser expressa da seguinte maneira:

(1)

$$\max \theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad \text{para todas as DMUs}$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Nesta maximização, y_{rj} representa os outputs e x_{ij} os inputs da DMU_j. A eficiência θ é maximizada ao ajustar os pesos u_r e v_i , que são variáveis livres, permitindo que cada DMU seja avaliada sob as melhores condições possíveis.

De forma geral, este modelo busca calcular a eficiência relativa de uma DMU comparando-a com as demais DMUs em um grupo. O cálculo ajusta os pesos u_r e v_i para que cada DMU seja avaliada sob as melhores condições possíveis, maximizando seus outputs. Caso a DMU em análise seja considerada eficiente, seu θ será igual a 1. Caso contrário, a DMU será ineficiente, e θ será inferior a 1, indicando que ela poderia, teoricamente, aumentar seus outputs ou reduzir seus inputs para alcançar a fronteira de eficiência.

O modelo está sujeito às seguintes restrições:

- (i) Restrição de normalização dos inputs: garante que a soma ponderada dos inputs (x_{ij}) da DMU_j seja igual a 1. Aqui, x_{ij} são os inputs da DMU_j, e v_i são os pesos atribuídos a esses inputs. Essa restrição é necessária para escalar o problema e garantir que as DMUs sejam comparáveis, independentemente da quantidade de inputs que utilizam.
- (ii) Restrição de eficiência relativa das outras DMUs: assegura que a razão entre a soma ponderada dos outputs e inputs seja menor ou igual a 1 para todas as DMUs, garantindo que a eficiência de qualquer DMU não exceda a fronteira eficiente.
- (iii) Não negatividade dos pesos: impõe que os pesos atribuídos tanto aos inputs quanto aos outputs sejam não negativos, assegurando que as variáveis u_r e v_i tenham um significado econômico ou prático.

Já o modelo introduzido por Banker, Charnes e Cooper (1984), considera retornos variáveis de escala (VRS), reconhecendo que as DMUs podem operar em diferentes níveis de

eficiência dependendo da escala em que estão. Ao invés de assumir que as DMUs operam sob a mesma condição de escala, o modelo BCC permite que a eficiência varie conforme o tamanho das operações, situação mais comumente encontrada na realidade fática da rede hospitalar do SUS.

A equação geral do modelo BCC orientado para outputs é:

(2)

$$\max \theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + z = 0 \quad \text{para todas as DMUs}$$

$$u_r, v_i, z \geq 0$$

A única diferença para a equação do modelo seminal do CCR é o termo z que é o termo de escala, podendo ser positivo, negativo ou zero, dependendo se a DMU está operando sob retornos crescentes, decrescentes ou constantes de escala, respectivamente. Esse termo adicional diferencia o modelo BCC do CCR, permitindo capturar melhor a eficiência relativa entre DMUs que operam em diferentes escalas.

Como se vê, a seleção das variáveis de input e output é fundamental para a aplicação bem-sucedida da DEA, especialmente em um modelo de retornos variáveis de escala (VRS). Silva et al. (2017) argumentam que, em estudos hospitalares, as variáveis de input comumente incluem o número de leitos, horas de médicos e horas de enfermeiros, enquanto as variáveis de output podem incluir receitas hospitalares e a taxa de sobrevivência dos pacientes. A escolha adequada dessas variáveis é crucial para garantir que o modelo reflita com precisão o desempenho das unidades hospitalares e capture as diferenças operacionais entre elas.

Em que pese a robustez dos modelos então propostos, a evolução da DEA não parou. De fato, novos modelos foram desenvolvidos para superar limitações do método originalmente criado. Por exemplo, o modelo Slacks-Based Measure (SBM), introduzido por Tone em 2001, foi um avanço significativo. Este modelo incorpora diretamente as folgas (*slacks*) dos inputs e outputs na análise, oferecendo uma medida mais robusta e detalhada da eficiência. Enquanto os modelos originais (CCR e BCC) poderiam considerar uma DMU eficiente mesmo com folgas, o SBM ajusta essa avaliação ao penalizar as ineficiências associadas às folgas.

Outro modelo derivado importante é o Índice de Malmquist, que permite avaliar a mudança na eficiência ao longo do tempo, uma questão crucial quando se deseja acompanhar o impacto de políticas públicas ou inovações tecnológicas na performance das DMUs. Segundo Färe et al. (1994), o Índice de Malmquist, que pode ser decomposto em mudança técnica (inovação) e mudança de eficiência (*catching-up*), é amplamente utilizado para avaliar o progresso de sistemas de saúde entre diferentes períodos. Isso permite, por exemplo, que um governo avalie se as reformas implementadas em hospitais ao longo de uma década resultaram em melhor uso dos recursos e melhoria nos resultados de saúde.

Apesar das vantagens evidentes, o método DEA tem seus desafios e condicionantes. A escolha de inputs e outputs é fundamental e deve refletir adequadamente as operações das DMUs. Além disso, a necessidade de homogeneidade entre as unidades comparadas impõe limitações na aplicação do modelo. É crucial que as DMUs sejam comparáveis em termos de objetivos e contextos operacionais, caso contrário, a análise pode produzir resultados enganosos.

Esse foi também um dos motivos que se optou, no presente estudo, analisar os hospitais que fossem minimamente comparáveis, no caso os integrantes do projeto Lean nas Emergências, uma vez que, para participar do programa, os hospitais são selecionados a partir de um universo com características e finalidades similares no âmbito da rede hospitalar do sistema público de saúde.

2.5 DEA Slacks-Based Measure (SBM)

Entre as várias extensões de DEA, destaca-se o modelo Slacks-Based Measure (SBM), proposto por Kaoru Tone (2001), que trouxe inovações significativas na forma de lidar com ineficiências nas variáveis de entrada (inputs) e saída (outputs). O modelo DEA-SBM foi desenvolvido como uma resposta às limitações dos modelos tradicionais de DEA, como o modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) e o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper).

Esses modelos, embora eficazes, não tratavam adequadamente as folgas (*slacks*) – isto é, os excessos nos inputs ou déficits nos outputs que não são capturados pela medida de eficiência técnica. Tone (2001) introduziu o DEA-SBM como uma abordagem capaz de incorporar diretamente essas folgas na função objetivo, proporcionando uma medida mais realista e precisa da eficiência.

Uma das principais inovações do DEA-SBM é sua capacidade de tratar a ineficiência, o que o torna um modelo não radial. Isso permite que cada variável de entrada e saída seja

analisada individualmente, oferecendo maior precisão na medição da eficiência, especialmente em ambientes onde os recursos e resultados não se alteram de forma linear, como no caso dos hospitais (Tone, 2001). Isso faz com que o SBM projete as unidades para pontos mais próximos na fronteira eficiente, evitando que os resultados sejam distorcidos por projeções inadequadas, como pode ocorrer nos modelos tradicionais.

O modelo se destaca por sua habilidade de lidar com retornos variáveis de escala, além de ser aplicável em situações em que as DMUs operam sob retornos constantes de escala. Essa flexibilidade torna o DEA-SBM especialmente relevante na análise de eficiência em políticas públicas, onde as unidades analisadas, como hospitais, podem variar significativamente em termos de escala de operação.

No contexto da saúde pública, o DEA-SBM tem sido amplamente adotado para avaliar a eficiência de hospitais, clínicas e outras instituições de saúde. A metodologia permite que gestores e formuladores de políticas identifiquem onde os recursos estão sendo desperdiçados e onde há espaço para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos à população. Cunha et al. (2023) destacam que o modelo é particularmente eficaz para medir a eficiência hospitalar ao considerar variáveis como número de médicos, enfermeiros, leitos disponíveis e pacientes atendidos. Esse enfoque permite uma análise detalhada dos recursos utilizados e dos serviços prestados, algo fundamental em um setor com recursos escassos e com uma alta demanda.

Ademais, ao considerar as folgas diretamente na função objetivo, o DEA-SBM oferece uma visão mais detalhada sobre as ineficiências específicas de cada DMU. Por exemplo, em um hospital, o modelo pode identificar tanto o excesso de recursos (como leitos ou profissionais de saúde) quanto a insuficiência na prestação de serviços (como o número de procedimentos realizados), oferecendo uma ferramenta poderosa para a alocação eficiente de recursos públicos.

O uso do DEA-SBM no setor público, especialmente na área da saúde, tem contribuído significativamente para a formulação de políticas mais eficientes e baseadas em evidências. Estudos que aplicam o DEA-SBM em hospitais, por exemplo, têm revelado padrões de eficiência e ineficiência que informam decisões estratégicas, como a redistribuição de recursos, a reformulação de processos operacionais e a implementação de práticas de melhoria contínua. Estudos realizados por Fernandes et al. (2023) sobre hospitais portugueses demonstraram que a aplicação do DEA-SBM resultou em melhorias significativas na eficiência, particularmente após ajustes nas operações hospitalares com base nas folgas identificadas pelo modelo.

O uso do DEA-SBM requer que as unidades de decisão tenham variáveis de entrada e saída não negativas, e que operem em contextos comparáveis. Essas condições são fundamentais para que os resultados sejam consistentes e possam ser interpretados adequadamente, especialmente em análises envolvendo múltiplas variáveis, como na saúde pública. Requer também a definição clara das variáveis de entrada e saída. Na saúde, inputs podem incluir número de médicos, enfermeiros, leitos etc.; enquanto os outputs podem ser o número de pacientes atendidos, cirurgias realizadas, taxa de ocupação de leitos, receitas recebidas (FERNANDES ET AL., 2023).

O DEA-SBM representa um avanço significativo na análise de eficiência, oferecendo uma ferramenta robusta para a avaliação e melhoria de políticas públicas na área da saúde. Ao incorporar folgas diretamente na análise, o modelo proporciona uma compreensão mais detalhada das ineficiências operacionais, permitindo que gestores de saúde pública façam ajustes precisos para otimizar o uso dos recursos disponíveis (CUNHA et al., 2023).

O modelo é formulado matematicamente como um problema de programação linear fracionária. A função objetivo do modelo minimiza a soma ponderada das folgas nos inputs e maximiza a soma das folgas nos outputs, sujeita a uma série de restrições lineares que garantem que a DMU avaliada seja comparada com uma fronteira eficiente. Essa formulação permite que o DEA-SBM forneça uma medida de eficiência que considera tanto a eficiência técnica quanto a escala e a alocação eficiente de recursos (TONE, 2001).

A estimação da eficiência de uma DMU (x_0, y_0) é obtida resolvendo-se o seguinte problema de programação linear:

(3)

$$\text{Min}_{\lambda, s^-, s^+} \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{S} \sum_{r=1}^S \frac{s_r^+}{y_{r0}}}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} x_0 &= X\lambda + s^- \\ y_0 &= Y\lambda - s^+ \\ \lambda &\geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{aligned}$$

Na equação (1), λ corresponde aos pesos atribuídos aos inputs e outputs, e ρ representa os vetores de folgas desses mesmos inputs e outputs. A condição a ser observada no modelo é $0 \leq \rho \leq 1$, onde ρ mensura a eficiência das DMUs, neste caso, os hospitais integrantes do Lean. Quando $\rho = 1$, as DMUs são consideradas eficientes ou ineficientes com folgas. Unidades

ineficientes apresentam $\rho < 1$ quando estão abaixo da fronteira de eficiência ou podem estar sobre a fronteira, com $\rho = 1$, mas ainda assim apresentarem folgas (TONE, 1997).

Essa metodologia incorpora duas propriedades fundamentais: (a) a mensuração é invariável em relação à unidade de medida dos inputs e outputs, ou seja, o numerador e o denominador da equação são medidos conforme suas proporções relativas entre inputs e outputs, não das unidades em que eles são medidos; e (b) as folgas de inputs e outputs são monotônicas e decrescentes, o que significa que o valor da função objetivo diminui à medida que s_i^- e s_i^+ aumentam, mantendo constantes os outros parâmetros do modelo.

As folgas, s_i^- para os inputs e s_i^+ para os outputs, representam o quanto uma DMU pode reduzir seus inputs ou aumentar seus outputs sem comprometer o nível de produção ou de serviços prestados. Estamos nos referindo, portanto, ao impacto das folgas na eficiência calculada pelo modelo. Basicamente, o aumento das folgas significa que a DMU está desperdiçando mais recursos (input) ou não está maximizando os resultados esperados (output). Isso leva a uma redução na medida de eficiência, pois quanto maior for a folga, mais distante a DMU estará da fronteira eficiente.

No modelo DEA-SBM, pode-se adotar uma orientação voltada para os inputs, outputs, ou até mesmo sem orientação específica. Nesta pesquisa, optou-se pela versão orientada ao output, cuja formulação é expressa na equação (2):

(4)

$$\rho_0^* = \min_{\lambda, s^+} \rho \frac{1}{1 + \frac{1}{S} \sum_{r=1}^S s_r}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} x_0 &\geq X\lambda \\ y_0 &= Y\lambda - s^+ \\ \lambda &\geq 0, s^+ \geq 0 \end{aligned}$$

Nesta equação, a função objetivo procura minimizar ρ_0 que é a medida de eficiência para uma DMU. A função objetivo é dada pela razão, o numerador garante que a eficiência ideal seja igual 1 quando não há folgas (ou seja, quando $s_i^+ = 0$). O termo do denominador representa a média das folgas de todos os outputs, acrescidos de uma unidade, sendo as folgas de output, as quantidades em que o output poderia ser aumentado para melhorar a eficiência da DMU. Quanto maiores forem as folgas s_i^+ , menor será ρ_0 , o que indica uma eficiência menor.

2.6 Índice de Malmquist

O Índice de Malmquist é amplamente reconhecido como uma ferramenta essencial para medir a eficiência produtiva ao longo do tempo, sendo especialmente relevante em contextos como a saúde pública, onde a avaliação de mudanças de eficiência pode orientar políticas públicas mais eficazes. Originalmente desenvolvido por Sten Malmquist (1953) para a comparação de quantidades, o índice foi posteriormente adaptado para a mensuração de mudanças na produtividade por Caves, Christensen e Diewert (1982) e aprimorado nos anos 1990 por Färe et al. (1994).

O conceito original de Malmquist estava relacionado à construção de índices de quantidades como razão de funções distância. Entretanto, a inovação significativa ocorreu quando Caves, Christensen e Diewert (1982) adaptaram este conceito para a análise de produtividade, introduzindo o Índice de Malmquist como uma medida que poderia decompor mudanças na produtividade em dois componentes: mudanças na eficiência técnica e mudanças tecnológicas (inovações). Este avanço foi crucial porque permitiu a avaliação não apenas de quão eficiente uma unidade produtiva é em comparação a outras, mas também de como a tecnologia utilizada evoluiu ao longo do tempo.

Färe et al. (1994) consolidaram a abordagem ao propor um método não paramétrico baseado na Análise Envoltória de Dados (DEA) para calcular o Índice de Malmquist. Essa metodologia permite calcular a produtividade sem necessidade de especificar uma forma funcional para a tecnologia, oferecendo uma flexibilidade que é especialmente útil em contextos em que a forma da função de produção é desconhecida ou complexa.

O uso do Índice de Malmquist no campo das políticas e programas do setor público é particularmente relevante. Governos e gestores públicos vem se utilizando deste índice para avaliar a evolução da eficiência de suas ações governamentais ao longo do tempo, identificando as melhores práticas e promovendo a inovação tecnológica na prestação de serviços públicos.

Os autores Fauvrelle & Almeida (2018), ao calcular o Índice de Malmquist para o sistema judicial brasileiro, identificaram que as variações na produtividade dos tribunais de justiça foram impulsionadas principalmente pela eficiência técnica, enquanto o progresso tecnológico mostrou-se estagnado no período analisado.

No contexto de hospitais, Kohl et al. (2018) destaca que o índice, quando aplicado ao setor de saúde, tem a capacidade de capturar a evolução da eficiência técnica das unidades hospitalares, possibilitando um diagnóstico preciso sobre o impacto de políticas públicas e mudanças institucionais."

Costa et al. (2014), em estudo que tratou da eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal, mencionaram que o Índice de Malmquist revelou que, embora houvesse melhorias em alguns estados, outros apresentaram declínio na produtividade, sugerindo ineficiências no uso dos recursos de saúde.

De acordo com os mencionados trabalhos, o Índice de Malmquist pode revelar se o aumento da eficiência em um hospital se deve à melhor utilização dos recursos existentes ou à adoção de novas tecnologias, fornecendo insights valiosos para a alocação de recursos e formulação de políticas públicas. Isso é crucial em contextos em que se busca otimizar recursos públicos e melhorar a qualidade do atendimento à população.

O Índice de Malmquist parte de algumas premissas básicas. Primeiro, ele assume que as DMUs operam em um contexto em que os retornos de escala podem variar, ou seja, nem sempre se presume que estas unidades estão operando sob retornos constantes de escala. Isso é importante na saúde pública, onde hospitais variam em tamanho e complexidade, e podem não se beneficiar igualmente de economias de escala.

Além disso, o índice utiliza variáveis de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) que podem incluir, por exemplo, o número de leitos hospitalares, profissionais de saúde, pacientes atendidos e procedimentos realizados. O modelo é flexível o suficiente para acomodar múltiplos inputs e outputs, o que é essencial para capturar a complexidade do setor de saúde (FÄRE et al., 1994).

Matematicamente, o Índice de Malmquist é expresso como uma média geométrica de dois índices baseados em diferentes períodos (t e t+1):

(5)

$$M_0 \left(\frac{x_{t+1}, y_{t+1}}{x_t, y_t} \right) = \left[\frac{D_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t(x_t, y_t)} \times \frac{D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$M_0(y_t, x_t, y_{t+1}, x_{t+1})$ = Índice de Malmquist de produtividade que mede a variação da produtividade da unidade produtiva entre os períodos t e t+1.

$D_0^t(y_t, x_t)$ e $D_0^{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})$ = São as funções de distância do período t e t+1, que avaliam o quão longe a unidade produtiva está da fronteira eficiente em cada período.

y_t, y_{t+1} = Outputs (saídas) nos períodos t e t+1.

x_t, x_{t+1} = Inputs (entradas) nos períodos t e t+1.

Aqui, $D_t(X_t, Y_t)$ representa a função de distância, que mede quão próximo uma unidade de produção está da fronteira de produção em um determinado período. O produto das funções

distância no numerador e denominador permite decompor o índice em dois componentes: mudança de eficiência (*catching up*) e mudança tecnológica (inovação).

A primeira razão da equação refere-se a mudança na eficiência técnica (*catching-up*) medindo o quanto uma unidade produtiva se aproxima ou se afasta da fronteira de eficiência entre os dois períodos. Isso reflete a melhora ou piora na utilização dos recursos dados os inputs e outputs disponíveis.

Já a segunda parte da equação trata da mudança tecnológica (fronteira tecnológica), medindo a mudança da fronteira de produção ao longo do tempo, ou seja, se houve progresso ou retrocesso tecnológico. Isso avalia se a própria fronteira se deslocou devido a inovações tecnológicas.

De acordo com Färe et al. (1994), o cálculo fornece uma visão completa das variações na eficiência e tecnologia, permitindo aos gestores identificar se a produtividade melhorou por meio de uma utilização mais eficiente dos recursos ou se houve uma mudança tecnológica significativa.

Logo, o Índice de Malmquist é uma ferramenta versátil e robusta para a análise de eficiência, especialmente relevante para o setor da saúde pública, onde a medição e a comparação do desempenho ao longo do tempo são essenciais para a melhoria contínua dos serviços. Contexto que se enquadra perfeitamente com o escopo da presente pesquisa, uma vez que se busca verificar o ganho de eficiência dos hospitais pós internalização das ferramentas propostas pelo projeto Lean nas Emergências.

Ao decompor as mudanças de produtividade em componentes claros comparando a produtividade dos hospitais em dois períodos distintos 2019 e 2023, a intenção é verificar insights valiosos ocorridos nas áreas realmente impactadas pela filosofia Lean Healthcare que passaram por intervenção, seja na adoção de novas tecnologias ou na melhoria das práticas de gestão.

3 METODOLOGIA

O presente estudo utiliza uma abordagem quantitativa, caracterizada pela aplicação de métodos estatísticos e matemáticos para a análise de dados numéricos. Conforme destacado por Marinho e Cardoso (2007), a metodologia quantitativa é amplamente empregada em estudos que buscam mensurar a eficiência e a produtividade de unidades decisórias, especialmente no campo da saúde pública, onde a Análise Envoltória de Dados se mostra particularmente eficaz.

Com base na metodologia proposta e a fim de atingir os objetivos traçados, esta análise empírica tomará como base o estudo publicado em Cadernos de Saúde Pública, de autoria Costa, Balbinotto e Sampaio (2014), quando da pesquisa sobre a “Eficiência dos estados brasileiros e do Distrito Federal no sistema público de transplante renal: uma análise usando método DEA (Análise Envoltória de Dados) e índice de Malmquist”.

De igual modo, as análises basear-se-ão, no que for cabível, na metodologia empreendida por Fauvrelle e Almeida (2018) no estudo intitulado “*Determinants of Judicial Efficiency Change: Evidence from Brazil*”, no qual buscou-se calcular a produtividade dos tribunais de justiça brasileiros.

Assim, pretende-se com o trabalho ora proposto, analisar a mudança na eficiência técnica e seus possíveis determinantes dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências, em uma abordagem em dois estágios. Para isso, será utilizado dados do DATASUS e o método da Análise Envoltória de Dados, em especial, os modelos DEA-SBM e Índice de Malmquist.

3.1 Seleção da Base de Dados

Para a realização deste estudo, os dados foram coletados a partir de fontes secundárias, especialmente dos registros disponíveis na base de dados do DATASUS, que oferece informações gerenciais detalhadas acerca das atividades operacionais ocorridas no âmbito da rede hospitalar vinculada ao Sistema Único de Saúde, por exemplo, recursos disponíveis (infraestrutura, equipamentos e pessoal), resultados obtidos e valores financeiros repassados em contrapartida a serviços ofertados.

O DATASUS é o departamento responsável pela gestão da base de dados do SUS. Criado com o objetivo de centralizar e gerir as informações relacionadas à saúde pública, o DATASUS oferece suporte fundamental para a formulação de políticas públicas, a tomada de decisões e a gestão eficiente dos recursos no setor de saúde. Essa base de dados é composta por diversos sistemas de informação que coletam e armazenam dados, por exemplo, sobre

morbidade, mortalidade, internações, atendimentos ambulatoriais, infraestrutura dos hospitais, relevantes para a análise da saúde pública no país [DATASUS – Ministério da Saúde \(saude.gov.br\)](https://datasus.gov.br).

Por meio dos sistemas de informação, como o Sistema de Informações Hospitalares (SIH/SUS) e o Sistema de Informações Ambulatoriais (SIA/SUS), é possível obter dados detalhados sobre o número de leitos, taxa de ocupação hospitalar, internações, custos hospitalares e outros indicadores essenciais para medir a eficiência das unidades hospitalares. Além disso, o DATASUS permite a integração de dados em nível nacional, estadual e municipal, possibilitando uma visão abrangente e detalhada da saúde pública no Brasil.

Para escolha e seleção das variáveis a serem utilizadas nesta pesquisa, observou os critérios estabelecidos em estudos basilares como o de Tone (2001) e Färe et al. (1994), que estudaram, respectivamente, os modelos DEA-SBM e Índice Malmquist. Esses dois estudos reforçam a importância de utilizar variáveis que refletem de maneira precisa os recursos utilizados (inputs) e os resultados obtidos (outputs) pelas DMUs (hospitais). De sorte que a estimação da eficiência de unidades hospitalares, aqui proposta, procurou utilizar dados que representassem fielmente as entradas e saídas dos principais fluxos de trabalho dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências.

Com base nisso, importante notar que os estabelecimentos de saúde brasileiros são obrigados, por força legal, a fornecer ao Ministério da Saúde informações relacionadas a seus recursos e produções, que são armazenadas, em sua maior parte, nos bancos de dados de três sistemas: CNES (Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde), SIA (Sistema de Informações Ambulatoriais) e SIH (Sistema de Informações Hospitalares).

Sobre tais fontes de bases de dados, cabe repisar que o CNES, conforme estipulado no Art. 359 da Portaria de Consolidação GM/MS nº 1, datada de 28 de setembro de 2017, é o sistema oficial de registro de dados de todos os estabelecimentos de saúde no território nacional, independentemente de sua natureza jurídica ou de pertencerem ao Sistema Único de Saúde. Este sistema abrange informações referentes aos estabelecimentos de saúde em todas as esferas da administração pública, incluindo tanto instituições públicas ligadas ao SUS quanto estabelecimentos privados.

O CNES engloba não apenas dados cadastrais essenciais, mas também informações detalhadas sobre as instalações físicas e recursos utilizados pelos estabelecimentos de saúde para a prestação de serviços, tais como quantidade de leitos por especialidade, consultórios,

salas obstétricas, ambulatoriais e cirúrgicas, equipamentos médicos, e quadro de profissionais empregados.

Por outro lado, o Sistema de Informações Ambulatoriais (SIA), estabelecido pela Portaria GM/MS nº 896/1990, é um sistema destinado ao registro de informações relacionadas a internações hospitalares, com o propósito de viabilizar a remuneração das mesmas financiadas pelo SUS. Tal remuneração é efetuada mediante o pagamento de valores fixos de acordo com os serviços e procedimentos realizados, bem como os recursos utilizados durante as internações hospitalares.

As informações inseridas no SIA provêm de formulários denominados Autorização de Internação Hospitalar (AIH), que contêm dados de identificação do paciente, do estabelecimento, características da internação (incluindo diagnósticos primários e secundários, período de internação etc.), procedimentos realizados e os custos correspondentes.

Similarmente ao SIA, o Sistema de Informações Hospitalares (SIH) foi instituído em 1992 e gradualmente implementado ao longo da década de 90, especialmente em âmbito municipal após a publicação da Norma Operacional Básica do SUS (NOB-SUS/96), datada do Diário Oficial da União de 6 de novembro de 1996. O SIH também é utilizado para a remuneração dos serviços hospitalares financiados pelo SUS, tanto em instituições públicas quanto em prestadores privados contratados.

Tanto o SIA quanto o SIH possuem campos que descrevem quais foram os procedimentos realizados. Os valores destes campos foram padronizados por meio da Portaria SAS/MS nº 3.848/07, que implantou Tabela Unificada de Procedimentos, Medicamentos, Órteses e Próteses e Materiais Especiais do SUS, conhecida como tabela SIGTAP. Esta é composta por dígito verificador e quatro campos, que descrevem todos os procedimentos registrados no SIA e no SIH, por códigos numéricos em quatro níveis de agregação, facilitando dessa maneira a tabulação dos dados.

Dessa forma, considerando o nível de parametrização, consolidação e confiabilidade das informações disponíveis, as variáveis para comporem os inputs e outputs dos modelos a serem trabalhados neste estudo foram selecionadas destas 3 fontes de dados CNES, SIA e SIH. No que tange especificamente as variáveis utilizadas neste estudo, foram escolhidos como inputs: o número de leitos/SUS disponíveis, as horas médicos e as horas enfermeiros, enquanto para outputs foram selecionados: os valores pagos pelos serviços prestados e o número de sobreviventes.

Quadro 1

Variáveis selecionadas para aplicação dos métodos de Análise Envoltória de Dados (DEA).

Orientação	Variáveis (total/ano)	Identificação da variável	Fonte dos dados	Estudos correlatos
Input (insumos)	Número total de leitos SUS	LEITOS	CNES	Mota, Oliveira e Vasconcelos (2021); Souza et al. (2016); Silva et al. (2017); Kohl et al. (2019); Garmatz, Vieira e Sirena (2021); Cetin e Bahce (2016)
	Número total de horas hospitalares médicas SUS	HORAS MED	CNES	Lins et al. (2007); Silva et al. (2017); Kohl et al. (2019); Mota, Oliveira e Vasconcelos (2021); Pereira et al. (2021); Cetin e Bahce (2016)
	Número total de horas hospitalares de enfermeiros SUS	HORAS ENF	CNES	Souza et al. (2016); Silva et al. (2017); Kohl et al. (2019); Mota, Oliveira e Vasconcelos (2021); Pereira et al. (2021)
Output (produtos)	Valor total recebido no faturamento hospitalar SUS	SIA_SIH_VALOR	SIA; SIH	Souza et al. (2016); Lins et al. (2007); Pedroso et al. (2012); Silva et al. (2016); Kohl et al. (2019); Mota, Oliveira e Vasconcelos (2021)
	<i>Prox</i> de qualidade	Nr de Sobrevivência	SAI; SIH	Souza et al. (2016); Lins et al. (2007); Asandului, Roman e Fatulescu (2014); Mota, Oliveira e Vasconcelos (2021); Tonelotto et al. (2019)

A decisão por utilizar tais variáveis baseou-se no estudo de Emrouznejad, Yang e Amin (2019), intitulado The Use of Data Envelopment Analysis (DEA) in Healthcare with a Focus on Hospitals, publicado na revista Health Care Management Science. O referido artigo apresenta uma revisão abrangente de mais de 260 pesquisas que aplicaram a Análise Envoltória de Dados (DEA) no setor de saúde, com ênfase especial em hospitais. Os autores compilaram

informações relevantes dos estudos analisados, incluindo os modelos de DEA utilizados, os tipos de retornos de escala, as variáveis de inputs e outputs, a orientação dos modelos e as inovações metodológicas apresentadas, oferecendo uma visão abrangente sobre a aplicação do DEA no setor hospitalar.

O Quadro 1 apresenta as variáveis que foram utilizadas na aplicação dos dois modelos DEA utilizados nesta pesquisa, e ainda a fonte na qual as informações foram obtidas e os estudos correlatos já realizados. A inclusão de uma variável *proxy* de qualidade como *output* em pesquisas sobre eficiência hospitalar é fundamental para capturar a complexidade dos serviços de saúde prestados. Ao considerar variáveis relativas à taxa de mortalidade, número de sobreviventes ou taxa de reinternação, o modelo de análise vai além da simples mensuração de recursos utilizados (*inputs*) e se aproxima da avaliação do impacto real sobre a saúde dos pacientes.

Indicadores de qualidade são cruciais para avaliar não apenas a quantidade de atendimentos, mas também a eficácia e a segurança dos procedimentos realizados. Em um contexto hospitalar, onde o foco principal é salvar vidas e proporcionar uma recuperação efetiva, variáveis que refletem diretamente a qualidade dos cuidados prestados oferecem uma visão mais completa da eficiência das unidades de saúde. Sem essas variáveis, a análise pode se limitar a medir a eficiência técnica, ignorando resultados clínicos que, muitas vezes, são mais importantes para os pacientes e para a sociedade (TONELOTTO et al., 2019).

Outra observação que deve ser feita é a respeito da variável SIA_SIH_VALOR. No DATASUS, esse dado refere-se à consolidação dos valores financeiros relacionados aos procedimentos realizados no âmbito do SUS, que são geridos pelo Sistema de Informações Ambulatoriais (SIA) e Sistema de Informações Hospitalares (SIH). Essas fontes de informação são responsáveis por registrar e monitorar todos os serviços de saúde prestados em nível ambulatorial e hospitalar, respectivamente, em todo o Brasil.

Neles são incluídos os valores financeiros que correspondem aos montantes aprovados e pagos pelos serviços prestados. Esses serviços podem variar desde consultas e exames ambulatoriais até internações e cirurgias hospitalares. O SIA capta dados de atendimentos que não requerem internação, enquanto o SIH abrange internações hospitalares e procedimentos mais complexos, como cirurgias. Os valores contemplam tanto os procedimentos realizados quanto os valores repassados aos estabelecimentos de saúde pela prestação desses serviços, de acordo com a tabela de procedimentos e os critérios estabelecidos pelo SUS.

Dito de outra, a variável SIA_SIH_VALOR é capaz de capturar, de uma maneira bastante abrangente, as principais saídas (outputs) obtidas pelos hospitais, uma vez que nela é possível concentrar as principais receitas hospitalares em contrapartida aos serviços prestados.

Os anos de referência usados na pesquisa foram 2019 e 2023, por se tratar de períodos compreendidos entre a instituição do projeto Lean nas Emergências (2017), no âmbito do Proadi-SUS, o tempo necessário para a conclusão de todas as fases previstas para um ciclo completo do programa, assim como a oportunidade de abranger ciclos pré e pós pandemia de Covid-19. Nesse sentido, a decisão de fazer parte do projeto Lean nas Emergências será considerado, aqui, de mudança institucional. A relação dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências consta de sua página da internet, acessada por meio do link <https://www.leannasemergencias.com.br/hospitais/>.

Portanto, o critério de seleção da amostra foi a participação de cada hospital no projeto Lean nas Emergências, dentro do período elencado, a sua completa conclusão no programa e validação via gestão do programa, e a disponibilidade de informações referentes ao respectivo hospital no bojo dos sistemas acessados.

Procurou-se, assim, baixar a lista de todos os hospitais participantes do programa conforme disponível na página da internet do projeto. Nesta, verificou-se de início a informação de que 231 hospitais aderiram ao projeto do Ministério da Saúde, incluindo hospitais de todas as regiões do País. Acontece que, posteriormente em entrevista realizada com os gestores do Lean, constatou-se que efetivamente 208 concluíram todas as etapas do projeto dentro do período aqui proposto.

Tabela 1

Número de hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências entre os anos de 2019 e 2023.

CICLO	CONCLUÍDO	RETIRADO	TOTAL
0	5	1	6
1	8	2	10
2	17	3	20
3	20	0	20
4	33	7	40
5	17	3	20
6	37	2	39
7	35	2	37
8	36	3	39
TOTAL	208	23	231

3.2 Procedimentos de Análise

O objetivo da análise é mensurar e entender como os hospitais da rede do Sistema Único de Saúde (SUS), que adotaram o Projeto Lean nas Emergências, estão utilizando seus recursos para maximizar os serviços prestados e melhorar a qualidade do atendimento. A combinação dos métodos DEA-SBM (Slacks-Based Measure) e do Índice de Malmquist permitirá não apenas avaliar a eficiência técnica, mas também analisar a evolução dessa eficiência ao longo do tempo, capturando mudanças tecnológicas e gerenciais que impactam os hospitais.

O primeiro estágio da análise envolverá o uso do modelo DEA-SBM, orientado para outputs e com retornos variáveis de escala (VRS). A orientação para outputs é apropriada no contexto hospitalar, uma vez que o objetivo é maximizar os resultados (mais atendimentos e maior taxa de sobrevivência) com os recursos disponíveis. O método DEA-SBM é especialmente indicado para essa pesquisa, pois considera as folgas (*slacks*) nos inputs e outputs, oferecendo uma avaliação mais detalhada da eficiência. Ou seja, se um hospital tem um excesso de médicos ou leitos, mas não está convertendo esses recursos em maior taxa de sobrevivência ou mais faturamento, essa folga será identificada.

A escolha pelos retornos variáveis de escala (VRS) se justifica pela heterogeneidade dos hospitais que compõem a rede do SUS. Alguns hospitais podem operar em uma escala menor ou maior do que o ideal, e o modelo VRS ajusta essas diferenças, permitindo uma comparação mais justa entre instituições de diferentes tamanhos e capacidades. Será utilizado o software R Studio, amplamente reconhecido para pesquisas e estudos no meio acadêmico.

Cada hospital terá sua eficiência técnica medida com base em como ele converte seus recursos (*inputs*) em serviços prestados e resultados de saúde (*outputs*). Aqueles que se encontram na fronteira de eficiência serão considerados eficientes, enquanto aqueles abaixo da fronteira terão suas ineficiências identificadas.

A segunda etapa da análise envolverá o cálculo do Índice de Malmquist, que será utilizado para medir a evolução da produtividade dos hospitais ao longo do tempo. Essa ferramenta é fundamental para identificar mudanças na eficiência técnica pura (*catch-up*) e na fronteira de produção (mudanças tecnológicas). O Índice de Malmquist decompõe as variações na produtividade em dois componentes: (1) a mudança na eficiência técnica, que reflete a capacidade dos hospitais de se aproximarem da fronteira de eficiência, e (2) a mudança tecnológica, que mede os avanços em termos de práticas gerenciais e tecnologias adotadas pelos hospitais ao longo dos anos.

Ao aplicar o Índice de Malmquist, será possível verificar se os hospitais, que passaram a adotar tanto a filosofia como o emprego das técnicas e ferramentas sugeridas pelo Projeto Lean nas Emergências, conseguiram não só melhorar sua eficiência ao longo do tempo, mas também se essas mudanças foram motivadas por inovações gerenciais ou tecnológicas. Hospitais que apresentam uma melhoria na produtividade total estarão contribuindo para a eficiência do SUS como um todo, enquanto aqueles com baixo desempenho poderão ser alvo de políticas de intervenção mais específicas.

Dessa forma, ao avaliar o Projeto Lean sob várias perspectivas, busca-se fornecer uma visão ampla e detalhada da eficiência hospitalar. O uso do DEA-SBM permitirá uma análise precisa ao incorporar folgas e ajustar a escala dos hospitais, enquanto o Índice de Malmquist oferece uma perspectiva temporal, possibilitando a avaliação das mudanças na produtividade ao longo do tempo (pré e pós Lean).

Com relação aos critérios e condições considerados na seleção e utilização das variáveis utilizadas nos modelos DEA deste estudo, importante registrar que procurou-se seguir alguns insights teóricos para a obtenção de resultados mais fidedignos possíveis.

O primeiro que é crucial que as variáveis de *inputs* e *outputs* utilizadas sejam comparáveis em termos de escala e natureza, ou seja, devem ser coerentes entre si. Dados absolutos (quantidades totais, como o número de leitos ou o número de atendimentos) e relativos (taxas ou proporções, como taxa de mortalidade ou taxa de ocupação) têm naturezas diferentes, e sua mistura pode levar a resultados distorcidos na análise de eficiência. Como destacado por Cooper, Seiford e Tone (2007), misturar esses tipos de dados pode gerar uma avaliação equivocada da eficiência, já que os dados relativos já são normalizados em relação a outra variável, enquanto os absolutos não.

Ao misturar dados absolutos e relativos, corre-se o risco de exagerar ou subestimar o impacto de certas variáveis no modelo DEA, o que pode distorcer as fronteiras de eficiência. Por exemplo, um hospital com uma alta taxa de sobrevivência pode ser considerado eficiente, mesmo que tenha menos leitos e menos médicos, porque as variáveis relativas "escondem" a ineficiência em termos absolutos de capacidade. Portanto, ao selecionar variáveis de entrada e saída, é recomendado manter consistência nas escalas dos dados para garantir que o modelo DEA reflita corretamente as ineficiências de cada DMU.

Considerando que, dentre as variáveis selecionadas, temos tanto valores absolutos, como os números de leitos e quantidade de médicos e valores monetários, como é o caso da variável SIA_SIH_VALOR, como também temos valores relativos, no caso da variável da taxa

de sobrevivência, para lidar com essa situação, decidiu-se normalizar todos os dados antes da aplicação do modelo DEA, convertendo-os para uma escala comum.

A normalização ajusta os valores para que todos fiquem em uma escala proporcional, eliminando a influência de grandezas absolutas e relativas. Uma forma comum é a normalização min-max que é especialmente útil quando se deseja que todas as variáveis estejam em uma mesma faixa numérica, o que facilita a interpretação dos resultados da DEA.

Normalizar os dados não apenas melhora a consistência dos resultados obtidos, mas também assegura que nenhuma variável tenha um peso desproporcional na análise de eficiência. Isso porque a análise DEA se baseia na comparação relativa entre DMUs, e a falta de normalização pode interferir na construção da fronteira de eficiência, uma vez que variáveis de escalas diferentes afetam diretamente o cálculo dos pesos ótimos atribuídos a cada input e output.

Uma segunda observação é a respeito da ocorrência de correlação entre variáveis de entrada e saída é comum em estudos que utilizam o método DEA, especialmente quando há variáveis relacionadas a diferentes aspectos de um mesmo processo produtivo. Por exemplo, o número de médicos em um hospital pode estar altamente correlacionado com o número de atendimentos realizados. No entanto, conforme Cooper, Seiford e Zhu (2011), excluir variáveis apenas com base em alta correlação pode remover informações valiosas sobre o processo de produção, subestimando aspectos importantes da eficiência.

Excluir variáveis correlacionadas sem uma análise cuidadosa pode simplificar o modelo a ponto de ele perder capacidade descritiva. Além disso, a DEA, sendo um método não paramétrico, lida bem com a correlação entre variáveis, já que seu objetivo é identificar os melhores desempenhos relativos e não estimar coeficientes que reflitam relações causais diretas. Portanto, ao invés de excluir variáveis correlacionadas, procurou-se focar em assegurar que todas as variáveis escolhidas sejam relevantes e representem de forma abrangente o processo produtivo da DMU.

E por fim, um dos critérios mais críticos na aplicação da DEA, que foi devidamente observado ao rodar os modelos, foi de garantir que o número de DMUs seja suficientemente grande em relação ao número de inputs e outputs. Segundo Banker, Charnes e Cooper (1984), uma regra prática amplamente aceita é que o número total de variáveis (inputs + outputs) não deve exceder metade do número de DMUs. Ou seja, o dobro do número de entradas e saídas juntas não deve ser maior que o número de DMUs analisadas. Se essa condição for

desrespeitada, o modelo corre o risco de classificar muitas DMUs como eficientes simplesmente porque não há DMUs suficientes para gerar uma comparação robusta.

Se há muitas variáveis para um número limitado de DMUs, a DEA terá dificuldade em discriminar entre as DMUs, resultando em uma "superclassificação" de unidades como eficientes. Isso ocorre porque o método DEA constrói a fronteira de eficiência com base na melhor performance relativa de cada DMU. Logo, é essencial garantir que a quantidade de DMUs seja significativamente maior do que o número de variáveis utilizadas, o que permite uma avaliação mais precisa da eficiência e evita que o modelo se torne "superajustado". No presente caso buscou trabalhar com um total de 5 variáveis para um universo de 208 DMUs.

3.3 Limitações da Pesquisa

Após a inserção da base de dados no programa R Studio e a execução dos modelos DEA-SBM e Malmquist, verificou a expressão NA (Not Available) para um número reduzido de DMUs. Tal fato pode ser devido pela identificação de resultados inconsistentes, mesmo com a normalização adequada dos dados. Essas inconsistências geralmente estão relacionadas a características atípicas de certas DMUs, como desempenhos extremos ou dados que desviam significativamente da tendência observada nas demais unidades. Por exemplo, hospitais que apresentam características estruturais ou operacionais muito diferentes do padrão, como uma especialização em procedimentos de alta complexidade ou baixa capacidade instalada, podem gerar escores de eficiência que não refletem adequadamente a realidade comparativa e, por isso, acabam sendo desconsiderados no modelo.

O modelo do Índice de Malmquist depende da avaliação de mudanças de produtividade entre períodos consecutivos, e a ausência de dados em um ou mais períodos impossibilita o cálculo completo. Nesse contexto, algumas DMUs podem não apresentar valores válidos devido a lacunas na disponibilidade de informações específicas ou à incapacidade do modelo de estimar resultados confiáveis para unidades com dados marginais ou discrepantes. Dessa forma, para uma melhor avaliação e demonstração dos resultados obtidos, foi preciso excluir 36 DMUs dentro do universo de 208 hospitais inicialmente tratados, priorizando uma comparação justa e consistente entre as unidades restantes.

4 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

O presente capítulo tem por finalidade apresentar e descrever os dados coletados para as análises de eficiência e produtividade de acordo com os objetivos propostos para este estudo. Essa etapa é fundamental pois possibilita compreender a base empírica utilizada e estabelecer uma visão geral das características dos hospitais do universo da pesquisa (DMUs), sobretudo das variáveis de input e output selecionadas.

Tabela 2

Relação dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências e variáveis insumos e produto para a metodologia Análise Envoltória de Dados (DEA), 2019 e 2023.

CNES	LEITOS_SUS		HORAS_ENFERM		HORAS_MEDICOS		SIA_SIH_VALOR		TX_SOBREV	
	2019	2023	2019	2023	2019	2023	2019	2023	2019	2023
426	600	630	18.923	26.319	7.717	8.555	4.488.184	4.345.064	94	95
655	822	822	38.943	62.020	18.614	23.530	10.204.166	8.450.603	89	90
3859	702	717	97.568	159.007	30.618	26.428	7.319.630	7.778.042	95	93
3980	159	144	7.450	9.592	3.517	2.729	688.113	830.689	96	94
9628	362	382	31.102	31.394	20.037	24.333	3.158.922	3.870.766	94	95
9717	535	683	49.268	85.717	25.301	36.563	7.826.374	12.319.178	96	95
9725	352	371	30.910	41.349	17.210	18.157	3.117.614	3.963.680	92	92
10456	657	696	76.289	80.033	40.529	51.154	6.939.557	10.129.937	94	93
10464	332	320	29.675	31.300	25.978	26.522	1.785.386	1.809.246	97	97
10480	400	537	33.891	37.944	17.577	17.770	1.677.698	1.543.390	97	98
10499	417	408	26.240	37.911	24.766	29.918	3.250.568	3.614.136	97	98
10502	214	209	22.491	20.998	9.746	12.043	1.597.416	1.549.806	98	98
11800	251	168	21.543	27.096	8.653	9.335	1.162.733	1.434.347	99	99
12521	224	234	27.727	28.729	6.969	7.092	1.511.527	1.907.174	93	94
15245	476	425	27.186	34.591	33.971	40.489	5.124.045	9.826.746	96	95
15334	163	272	18.991	35.121	6.399	6.780	4.282.673	5.424.431	96	94
15407	206	206	23.709	19.845	4.650	10.986	4.187.769	6.261.680	97	96
25135	175	165	18.357	16.546	8.119	8.051	1.245.073	1.880.583	95	96
26921	484	482	62.972	63.817	21.603	23.669	4.302.055	4.707.533	97	97
26948	157	157	19.731	19.323	5.609	8.112	886.008	812.743	99	99
27022	333	327	22.857	28.806	13.291	11.723	1.715.994	1.625.839	95	96
27049	504	465	51.445	54.167	63.460	60.360	9.245.557	9.190.171	97	96
27863	358	415	36.299	38.998	17.525	23.297	2.381.038	2.572.141	96	95
2001578	200	274	15.094	16.308	4.105	6.640	761.842	1.579.687	91	93
2006510	275	369	32.613	44.860	13.327	16.886	1.875.627	1.528.751	87	88
2010151	136	140	6.497	7.187	2.191	4.129	909.030	1.217.168	98	97
2013649	389	340	8.528	23.852	5.369	4.626	2.886.415	3.440.248	87	88
2019574	217	241	11.389	27.433	4.676	8.378	2.006.157	2.829.081	88	90
2021064	99	104	10.900	16.466	2.372	2.455	433.989	553.559	97	97
2025507	286	316	31.136	34.641	22.130	18.103	3.793.668	4.787.573	93	93
2069776	175	274	14.412	22.058	7.694	12.379	1.612.856	1.641.162	94	94
2077396	636	753	89.364	119.831	60.426	70.112	16.453.130	22.719.322	94	94
2077434	177	198	18.420	19.243	4.530	4.429	1.301.648	1.580.766	93	93

2077671	254	254	27.281	24.419	7.566	10.276	2.362.847	2.614.023	95	95
2078775	284	266	29.136	39.863	4.930	7.442	4.160.593	5.395.419	89	89
2079798	603	615	66.378	73.266	54.023	54.612	14.562.615	15.935.769	95	95
2080028	197	221	16.820	19.491	4.613	4.782	911.894	1.273.365	94	92
2080273	285	325	30.431	33.154	35.444	45.524	3.837.288	5.011.613	94	93
2080338	287	319	26.790	25.327	9.682	9.674	1.936.096	2.212.963	92	92
2080346	384	385	18.642	17.006	12.862	14.615	1.883.798	2.738.026	93	89
2080583	172	192	15.930	31.984	3.099	4.900	863.059	1.295.749	94	95
2081970	202	199	19.676	21.752	3.735	2.708	1.310.274	1.465.999	92	92
2082128	196	220	37.490	40.850	32.530	36.895	4.965.164	5.803.452	96	96
2082225	207	252	10.995	13.116	5.236	4.916	1.246.950	1.104.352	93	92
2082527	128	162	16.992	18.405	4.081	7.797	2.491.566	3.040.174	92	92
2082829	280	256	20.384	22.715	9.883	7.196	2.204.973	2.221.798	94	94
2084414	163	169	19.809	22.243	3.501	4.695	2.390.972	2.789.899	95	94
2089327	135	139	19.980	18.590	6.707	7.188	2.948.174	3.398.558	95	95
2092611	189	211	23.862	24.136	7.179	10.503	2.145.695	2.684.109	92	93
2109867	127	147	6.586	15.504	2.690	3.080	759.190	1.104.549	92	92
2127989	239	289	26.378	31.737	7.293	8.594	4.900.343	7.037.505	93	94
2146355	493	472	44.260	57.222	32.569	32.918	8.347.436	8.436.499	96	95
2149990	303	290	33.551	32.553	15.703	19.059	5.936.153	7.436.646	94	95
2171988	130	130	6.186	9.444	2.832	3.014	1.708.133	1.863.973	93	95
2192896	524	547	50.401	60.558	27.385	30.857	4.093.144	4.297.274	96	96
2200473	251	284	16.510	29.288	7.071	8.218	1.557.963	2.139.147	91	91
2205440	290	329	21.140	58.722	8.491	8.083	6.522.063	7.938.133	95	95
2206595	302	288	34.489	36.635	22.198	23.513	3.773.428	4.561.285	94	93
2222043	294	366	16.376	24.516	7.054	7.283	2.721.163	5.090.032	93	95
2223538	236	238	22.513	25.144	5.578	5.445	3.553.537	4.862.571	95	95
2223546	179	176	27.506	26.726	11.741	12.485	3.210.962	3.048.341	95	95
2232022	167	208	11.049	10.496	12.120	20.215	1.843.379	2.789.290	91	93
2232162	176	208	16.269	16.674	11.787	6.001	1.047.549	1.337.770	93	94
2232995	295	267	20.266	21.200	4.404	4.140	2.216.458	2.972.570	91	92
2237822	128	184	13.342	20.518	13.482	17.189	1.117.011	1.564.461	100	100
2246929	246	258	23.546	15.874	10.195	9.945	4.000.810	4.250.599	95	94
2246988	479	374	54.980	59.208	14.496	20.950	8.280.674	7.771.018	95	96
2248190	198	157	9.237	9.188	2.745	2.226	1.200.310	1.198.992	92	92
2254964	142	152	4.330	10.205	10.485	13.681	1.734.718	1.789.009	96	95
2266474	130	136	13.944	18.331	5.466	4.927	1.526.713	1.974.423	94	95
2270234	287	287	33.668	32.279	10.007	10.290	2.727.275	2.674.290	86	91
2270269	307	315	21.807	26.940	17.094	18.372	2.075.304	2.169.668	92	93
2280183	372	375	25.254	36.230	14.166	15.451	1.515.355	2.857.315	90	92
2287579	180	228	18.207	18.905	7.155	7.961	1.049.608	1.634.453	90	94
2296306	307	319	22.110	27.776	10.944	13.187	1.443.828	2.106.133	89	88
2298120	301	316	29.546	28.788	6.099	6.931	1.952.468	1.879.997	90	90
2308762	156	162	20.575	25.749	6.375	5.935	1.601.446	2.808.539	89	87
2308800	221	229	14.753	22.359	5.263	4.398	1.624.302	1.832.679	88	89
2309254	168	206	19.267	26.413	2.545	2.916	1.523.667	2.006.339	98	98
2319659	315	317	27.365	59.891	8.898	10.910	1.461.576	2.628.836	90	91

2329905	267	160	8.900	10.898	1.824	3.571	1.239.008	1.290.073	95	96
2334321	222	255	18.709	21.145	7.923	6.893	3.739.912	5.561.071	84	83
2337339	209	209	10.626	9.948	5.240	12.653	1.720.764	2.353.079	87	92
2339196	137	173	15.042	15.203	3.217	4.730	816.651	1.103.739	98	98
2362856	286	296	12.786	16.610	5.810	6.559	855.582	1.612.336	91	92
2365146	188	205	9.542	16.787	1.799	2.019	865.827	1.202.034	94	95
2385171	199	219	10.806	13.828	1.432	3.279	1.291.310	1.710.197	85	87
2391635	180	204	10.051	11.199	2.666	5.177	1.377.947	1.270.576	93	93
2399628	186	196	4.157	5.826	5.060	5.129	875.936	1.094.344	96	96
2400324	181	181	13.247	16.840	4.119	4.318	1.084.871	1.057.466	93	94
2400693	231	331	12.302	18.644	4.226	5.437	1.120.136	1.799.322	92	92
2402076	305	325	10.660	25.555	3.882	3.655	2.610.123	2.864.669	88	90
2411393	143	143	10.357	11.842	2.109	3.540	1.915.215	2.578.754	94	94
2427419	197	174	21.845	30.490	6.504	8.315	2.237.653	2.708.828	90	91
2436450	279	282	20.189	22.944	6.527	9.975	2.613.214	2.873.939	93	94
2446030	152	165	7.783	12.640	3.856	3.816	252.325	490.437	91	92
2458799	88	99	9.360	10.327	2.352	2.213	511.309	559.278	96	98
2479214	443	458	9.382	9.873	3.777	5.323	4.544.241	4.920.354	86	87
2481286	254	210	28.241	29.703	10.001	9.731	1.475.327	1.432.348	99	99
2485680	171	173	12.640	14.450	2.429	2.791	1.990.612	2.218.867	93	95
2491710	280	254	29.038	25.524	5.167	7.328	3.693.695	4.535.977	94	95
2493888	187	195	24.325	39.939	8.617	14.312	1.597.035	2.178.208	86	94
2493896	132	112	9.947	11.000	2.863	4.090	308.564	202.861	100	100
2497654	539	572	14.339	64.177	16.910	22.150	5.413.243	7.017.553	93	91
2499363	317	308	14.059	42.287	6.246	10.836	1.721.676	2.277.919	98	97
2522691	330	330	24.939	34.086	16.994	23.488	5.339.873	7.210.447	94	93
2526638	342	406	4.709	10.480	789	1.823	701.600	882.915	100	100
2546957	80	95	8.634	11.768	3.002	3.654	572.124	852.865	94	95
2550687	192	244	14.032	10.735	3.965	3.434	983.703	1.634.941	93	91
2550792	152	152	36.406	37.512	8.510	9.683	1.633.585	2.001.415	93	94
2555646	319	345	360	20.841	7.693	11.527	2.831.855	4.004.049	95	96
2562316	113	136	7.076	11.279	1.731	4.174	485.672	690.513	94	92
2563681	356	371	9.465	60.738	7.312	13.282	2.812.782	3.841.375	97	98
2568713	150	153	9.599	15.628	2.608	2.315	2.545.369	3.218.545	96	96
2576341	309	309	12.416	13.428	4.771	6.896	7.639.579	7.011.690	94	94
2580055	166	178	19.407	32.986	10.460	13.348	3.114.779	3.677.296	92	92
2593262	163	249	14.910	18.459	5.808	5.624	1.878.046	3.476.586	89	93
2600536	266	258	27.042	28.331	8.207	9.035	1.666.207	1.806.881	92	92
2645157	222	246	23.627	25.532	9.520	12.617	1.068.266	1.349.259	98	99
2651610	107	120	6.780	20.096	1.671	2.415	488.905	808.352	96	96
2653923	377	385	29.034	28.890	13.875	18.392	3.067.259	2.791.553	93	96
2678179	142	206	3.966	14.777	5.916	8.395	941.989	1.412.568	99	99
2678403	118	130	8.900	9.609	1.443	1.746	939.314	975.160	95	96
2687127	133	97	10.520	11.473	3.012	3.065	732.483	846.826	93	94
2688689	1.176	1.078	57.191	56.087	62.819	71.276	9.623.931	10.391.856	94	94
2691868	136	226	13.078	20.333	4.143	5.032	1.330.742	1.787.650	99	99
2693801	415	635	20.078	49.078	2.618	4.804	2.513.494	3.939.144	91	91

2707918	186	182	11.940	10.710	4.159	6.537	3.160.310	3.602.197	97	95
2716097	231	241	23.246	26.431	3.206	8.410	1.159.003	1.543.368	93	95
2738368	236	255	19.393	48.739	11.682	14.701	1.920.340	2.985.949	96	96
2748223	490	518	51.674	51.050	51.151	55.563	10.101.223	10.991.201	95	94
2781859	291	384	22.875	26.340	14.845	20.224	3.531.349	5.847.470	95	94
2786109	120	152	13.445	21.892	4.118	4.683	538.418	899.723	95	96
2786117	450	466	31.043	35.596	16.108	19.981	2.936.442	4.239.381	92	94
2786435	232	232	28.853	34.736	15.489	20.759	3.477.709	4.990.440	92	92
2786680	256	303	24.288	25.930	14.441	14.813	2.198.530	3.057.165	96	94
2791722	185	193	29.730	28.812	4.169	6.472	2.153.276	2.674.590	93	93
2792141	133	159	13.412	14.844	3.945	6.084	1.442.707	1.613.379	96	95
2792176	194	200	18.507	17.273	7.192	7.496	1.896.879	2.106.909	95	94
2798298	180	216	21.267	27.552	6.792	8.524	4.107.139	4.622.195	95	95
2799758	282	322	18.803	36.220	5.898	7.519	1.283.162	2.506.984	88	88
2802783	471	433	25.990	38.691	8.583	10.926	3.450.376	4.477.760	93	92
2816210	569	666	60.509	66.906	25.770	30.006	3.682.850	5.898.620	87	88
3015408	92	175	8.783	11.579	6.061	7.342	409.562	970.268	94	89
3157245	231	214	25.977	30.478	14.496	16.186	2.637.776	3.533.884	96	96
3212130	201	181	18.343	19.572	5.620	4.853	1.420.932	1.315.150	94	95
3698548	75	80	10.240	11.520	3.454	5.558	460.194	576.151	91	90
4009622	133	169	8.043	10.011	2.156	2.938	400.357	867.036	97	94
4056752	130	130	7.106	10.882	1.221	1.537	1.132.142	1.472.274	95	95
5169976	201	215	4.295	7.725	3.830	7.035	1.364.133	1.872.418	91	90
5200105	139	151	8.648	6.700	9.119	3.680	978.899	1.335.826	93	93
5223962	168	169	5.271	3.298	4.347	5.286	892.816	955.063	91	85
5336171	90	103	8.035	9.656	2.404	2.166	500.147	807.826	96	97
5412447	208	246	18.279	25.788	9.508	11.337	1.002.127	1.440.034	93	94
5419662	94	88	12.849	6.789	4.342	1.884	764.290	613.898	96	97
6042414	135	150	14.148	17.784	5.695	7.593	815.805	763.553	96	96
6048692	164	154	14.292	15.829	9.545	9.470	1.893.310	2.244.377	99	99
6414702	150	150	5.972	7.979	1.889	2.259	1.133.437	1.272.333	93	94
6424341	122	143	8.233	12.667	1.397	2.929	973.966	1.804.721	97	96
6483089	112	121	12.161	14.769	1.920	1.406	693.814	898.522	93	92
6559379	173	153	11.683	13.990	3.763	5.157	1.961.690	1.532.330	92	93
6595197	313	318	33.381	30.397	7.643	5.492	2.627.536	2.904.452	92	95
6627595	175	175	6.480	17.229	977	2.056	1.029.723	947.040	100	99
6779522	238	284	7.221	28.496	4.418	6.319	1.405.852	1.992.711	88	90
6848710	300	453	9.157	43.135	4.798	6.095	1.367.166	2.195.753	87	92
6908268	170	170	9.027	12.127	3.800	4.739	1.618.322	1.637.588	90	94
7257406	373	368	35.491	37.148	8.508	11.907	2.441.202	3.330.976	95	96
7498810	245	239	26.533	44.630	5.554	9.215	1.043.083	1.615.996	90	93
7621442	177	181	21.129	19.205	3.361	4.593	1.364.668	1.891.424	90	97
7743068	292	466	34.848	63.245	11.123	13.406	2.693.518	3.876.699	94	95
8015899	152	269	7.914	18.093	4.101	6.304	815.552	1.294.531	94	94
9443665	180	220	21.606	44.672	6.211	11.685	1.327.941	2.017.820	95	96

A Tabela 2, extraída de uma base mais ampla, inclusive, com os dados cadastrais das unidades hospitalares analisadas, traz informações sobre os valores das variáveis-chave para os anos de 2019 e 2023, de forma a fornecer uma visão comparativa antes e após a implementação do projeto Lean. De início, é importante destacar que os dados se encontram com seus valores originais, i. e., antes de serem normalizados para execução dos modelos DEA.

Outro ponto importante de se ressaltar é que, dos 208 hospitais que concluíram o projeto Lean no período, foi possível obter dados completos para 192 DMUs, representando aproximadamente 92% do universo estudado. Essa limitação na coleta de informações para alguns hospitais pode ser atribuída à inconsistência no registro ou disponibilidade de dados administrativos e operacionais em sistemas públicos, no caso o DATASUS, ou mesmo a diferenças na sistematização de informações entre os hospitais participantes, especialmente em regiões onde os processos de gestão e tecnologia da informação são menos consolidados.

Das informações cadastrais dos hospitais, foi possível extrair também que as DMUs estão distribuídas entre as cinco regiões do país, com maior concentração no Sudeste (68 hospitais, representando 35% do universo do estudo), já no Nordeste encontram-se 27% dos hospitais. As demais regiões apresentam os seguintes números: Sul com 38 DMUs (19%), Centro-Oeste com 18 hospitais (9%) e Norte com 20 unidades hospitalares (10%). Tal distribuição evidencia uma representatividade significativa entre as regiões, refletindo a abrangência nacional do projeto Lean e possibilitando uma análise comparativa regional.

Quanto à faixa de leitos existentes, os hospitais foram categorizados em cinco grupos: unidades com até 50 leitos, que correspondendo apenas a 1 hospitais; hospitais com 51 a 150 leitos (6%); e aqueles entre 101 a 200 leitos (35%), de 201 a 300 leitos representando 58 hospitais (30%); e com mais de 300 leitos que totalizam 30% do universo das DMUs. Essa classificação é relevante para identificar como a capacidade instalada influencia a eficiência e os resultados, especialmente no contexto das práticas do projeto Lean, que busca melhorar a utilização de recursos e a produtividade hospitalar.

Por fim, é possível também verificar a natureza jurídica da unidade hospitalar, informação que pode possibilitar algum tipo de inferência de como se realiza a gestão hospitalar. O conjunto de DMUs é gerido majoritariamente pela administração pública (140 unidades, ou 71%) ou por instituições filantrópicas (51 hospitais, representando 26%). Essa composição reflete o perfil dos participantes do projeto Lean, entretanto, dificulta de certa maneira avaliações complementares acerca do reflexo do tipo de gestão institucional na eficiência operacional e os resultados obtidos.

Tabela 3

Estatística descritiva das variáveis selecionadas para a mensuração da eficiência, 2019.

2019	Insumos			Produtos	
Métrica	LEITOS_SUS	HORAS_MEDICOS	HORAS_ENFERM	SIA_SIH_VALOR	TX_SOBREV
Min.	50	493,3	258,0	82.846,00	83,6
1st Qu.	152	3.360,5	9.237,0	978.899,00	91,9
Median	201	5.810,2	16.992,0	1.666.207,00	94,1
Mean	246	9.365,4	19.781,0	2.476.341,00	93,6
3rd Qu.	300	10.459,6	25.990,0	2.948.174,00	95,8
Max.	1.176	63.460,2	97.568,0	16.453.130,00	99,9

Nas Tabelas 3 e 4, são abordadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na pesquisa. Para os inputs, são analisados o número total de leitos, as horas dedicadas por médicos e enfermeiros. Já para os outputs, são explorados os valores recebidos pelos procedimentos hospitalares (SIA_SIH_VALOR) e a taxa de sobrevivência dos pacientes, que é uma proxy da qualidade do atendimento. Nelas são apresentados os valores médios, mínimos, máximos, mediana e quartis de cada variável, com o intuito de descrever a variabilidade e as características gerais dos dados em ambos os anos analisados.

Tabela 4

Estatística descritiva das variáveis selecionadas para a mensuração da eficiência, 2023.

2023	Insumos			Produtos	
Métrica	LEITOS_SUS	HORAS_MEDICOS	HORAS_ENFERM	SIA_SIH_VALOR	TX_SOBREV
Min.	45	598,8	211,5	202.861,00	83,0
1st Qu.	162	4.377,7	12.659,9	1.293.416,00	92,3
Median	227	7.391,9	21.821,8	2.022.663,00	94,2
Mean	267	11.150,6	26.395,2	3.045.466,00	93,8
3rd Qu.	320	12.626,0	33.028,0	3.892.310,00	95,6
Max.	1.078	71.276,0	159.007,4	22.719.322,00	99,8

Em relação aos insumos, observa-se que a média do número de leitos (LEITOS_SUS) apresentou uma ligeira alta de 246 em 2019 para 267 em 2023, o que pode indicar um esforço de melhoria na infraestrutura hospitalar. Similarmente, a média de horas de médicos (HORAS_MEDICOS) e enfermeiros (HORAS_ENFERM) teve um aumento relativo, o que sugere um esforço na disponibilidade da força de trabalho utilizada, mesmo com possíveis ajustes no fluxo de trabalho. Em relação aos produtos, destaca-se a estabilidade na mediana e na média da taxa de sobrevivência (TX_SOBREVIVENCIA), possivelmente em virtude da dificuldade de crescer os índices já elevados quando do início do período. Já os valores

recebidos por procedimentos (SIA_SIH_VALOR) tiveram variação positiva, indicando provavelmente o reflexo do aumento dos procedimentos realizados nas receitas hospitalares de 2019 para 2023.

Uma análise preliminar das variações positivas observadas tanto nos insumos quanto nos produtos pode indicar uma aparente estabilidade ou correspondência na relação entre entradas e saídas nos processos operacionais dos hospitais participantes do projeto Lean. No entanto, essa interpretação pode ser limitada ou até mesmo imprecisa, pois as estatísticas descritivas, por si só, não são adequadas para medir a eficiência de maneira robusta. Essas métricas apresentam uma visão estática e agregada dos dados, sem levar em consideração as interações dinâmicas entre os recursos empregados (inputs) e os resultados alcançados (outputs), tampouco consideram a posição relativa de cada unidade em comparação às demais.

Para avaliar de forma mais precisa a eficiência hospitalar, é essencial empregar métodos que sejam capazes de capturar a complexidade do processo produtivo, como a Análise Envoltória de Dados (DEA). Esse tipo de abordagem considera a fronteira de eficiência, permitindo identificar como cada hospital utiliza seus recursos em relação às melhores práticas observadas no conjunto analisado. Tal análise é imprescindível para compreender os fatores que mais contribuíram para os resultados observados e validar, com maior rigor, a hipótese de que o projeto Lean impactou positivamente a eficiência e a produtividade dos hospitais.

Por fim, este capítulo examina as correlações entre as variáveis de input e output, buscando identificar relações que podem subsidiar ainda mais a discussão dos resultados. A análise da correlação entre as variáveis é uma etapa importante na compreensão da dinâmica operacional e produtiva das unidades hospitalares. Isso porque auxilia na identificação de padrões que podem indicar como os insumos (leitos e horas de trabalho) influenciam diretamente os outputs (valores recebidos e taxa de sobrevivência).

A matriz de correlação evidencia as relações entre as variáveis de inputs e outputs utilizadas na pesquisa para análise da eficiência hospitalar no projeto Lean. Os valores indicam a força e o sentido das associações entre as variáveis, oferecendo uma visão preliminar de como os insumos e produtos podem estar inter-relacionados.

Os inputs mostram correlações positivas moderadas entre si, com destaque para a relação entre CNES_LEITOS_SUS e HORAS_MEDICOS (0,73), bem como entre CNES_LEITOS_SUS e HORAS_ENFERMAGEM (0,73). Isso sugere que hospitais com maior número de leitos tendem a empregar mais horas de trabalho de médicos e enfermeiros, o que é esperado dada a maior capacidade instalada dessas unidades. Entre os outputs, a variável

SIA_SIH_VALOR apresenta uma correlação moderada com HORAS_MEDICOS (0,75), indicando que o volume financeiro recebido pelos hospitais está associado ao maior uso de mão de obra médica. Por outro lado, a TAXA_SOBREVIVENCIA apresenta correlações muito baixas ou próximas de zero com as demais variáveis, destacando sua natureza distinta como uma medida mais qualitativa do desempenho hospitalar.

Figura 5

Matriz de Correlação entre as variáveis de insumo e produto, 2023.



Apesar de algumas correlações moderadas entre inputs e entre inputs e outputs, o método DEA não exige a ausência de correlação entre as variáveis, uma vez que seu objetivo é avaliar a eficiência relativa das DMUs com base no uso combinado dos insumos para gerar produtos. Como destacado por Cooper, Seiford e Zhu (2011), o DEA é robusto frente a situações de alta correlação entre variáveis, já que não assume relações funcionais ou causais entre elas, mas avalia o desempenho relativo em um espaço multidimensional. Assim, a existência ou ausência de correlações não compromete a aplicabilidade ou a validade dos resultados gerados pelo modelo DEA.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo é dedicado à apresentação e análise detalhada dos resultados obtidos a partir da aplicação dos modelos Índice de Malmquist e DEA-SBM no contexto da avaliação da eficiência hospitalar das unidades participantes do projeto Lean nas Emergências do SUS. A discussão é conduzida com o objetivo de interpretar os escores de produtividade, de eficiência, e as implicações desses índices no desempenho dos hospitais ao longo do período analisado.

Inicialmente, são explorados os resultados do Índice de Malmquist, destacando a decomposição da produtividade total em mudanças de eficiência técnica (*catch-up*) e mudanças tecnológicas (*frontier-shift*). Essa abordagem possibilita compreender os impactos do projeto Lean na evolução da produtividade entre os anos de 2019 e 2023.

5.1 Índice de Malmquist

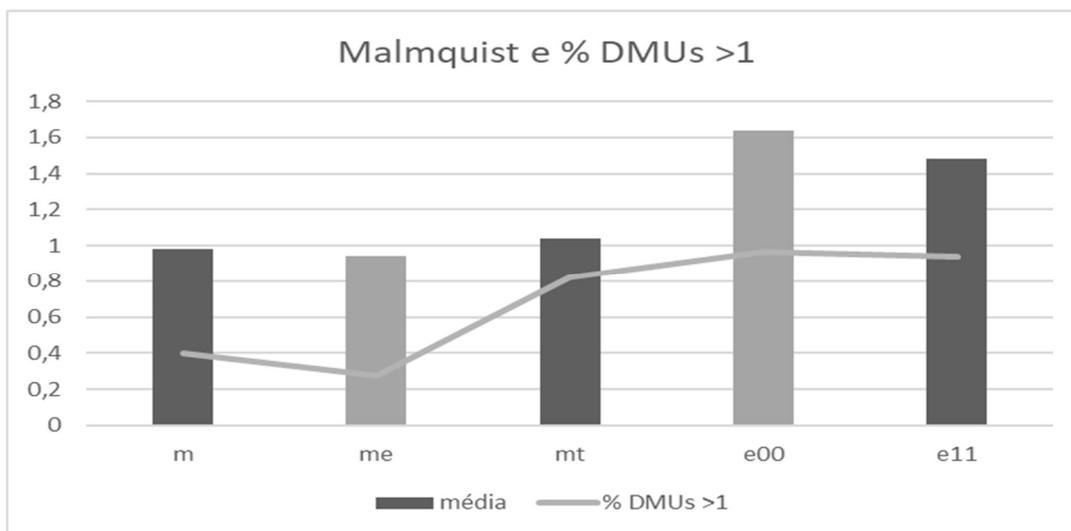
Os resultados do Índice de Malmquist apresentados na tabela 9 (vide anexo) evidenciam a diversidade de desempenhos dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências, com destaque para as DMUs que obtiveram escores acima de 1, representando 37% da amostra. Esse grupo demonstra ganhos de produtividade, sugerindo que esses hospitais conseguiram combinar melhorias na eficiência técnica com avanços tecnológicos, componentes fundamentais do índice. Esse resultado reforça o impacto positivo da implementação das técnicas e ferramentas sugeridas pelo Lean, as quais buscam intervenções estruturadas à otimização de processos hospitalares e ao aumento da produtividade global (BATTAGLIA e PINTO, 2014).

Por outro lado, quase 50% das DMUs apresentam escores entre 0,8 e 1, indicando certa estabilidade na produtividade durante o período analisado. Essa proporção representa a maior parte do universo analisado e sugere que, embora esses hospitais tenham mantido um desempenho próximo à fronteira de eficiência, faltaram avanços mais expressivos. Esse cenário, conforme destacado por Santos et al. (2020), pode refletir determinados desafios na adoção de inovações ou dificuldades na alocação eficiente dos recursos.

Um aspecto não favorável dos resultados está relacionado às DMUs com escores inferiores a 0,8, que representam 14% da amostra. Esses hospitais, divididos entre escores de 0,5 a 0,8 (12%) e abaixo de 0,5 (2%), refletem dificuldades estruturais e operacionais que prejudicam a produtividade. A análise desses casos aponta para a necessidade de intervenções mais direcionadas, especialmente em hospitais localizados em regiões menos favorecidas ou com menor capacidade de adaptação às exigências de eficiência e inovação tecnológica.

Gráfico 1

Percentual de DMUs com escores superiores a 1 para cada componente do Índice de Malmquist.



Fonte: elaboração com base nos resultados do Índice Malmquist.

Ao decompor o índice de Malmquist, a mudança tecnológica (mt) se destacou positivamente, com uma média de 1,04 e 83% das DMUs apresentando $mt > 1$. Esses resultados indicam que a fronteira de eficiência geral foi deslocada positivamente ao longo do período, possivelmente devido à adoção de novas práticas, inovações ou melhor organização dos processos, coerentes com os princípios do projeto Lean. Esse avanço é consistente com a literatura e com os resultados apontados Wickramasinghe et al. (2014), que informam que a implementação de práticas Lean tem o potencial de promover melhorias significativas na qualidade e eficiência operacional, especialmente em sistemas hospitalares complexos.

No entanto, observa-se um desafio significativo na melhoria da eficiência técnica (me), pois apenas 28% das DMUs conseguiram, de fato, ser operacionalmente mais eficientes. Isso indica que, apesar das mudanças tecnológicas, os hospitais ainda não conseguem operar de maneira totalmente eficiente com os recursos disponíveis. Esse cenário sugere que a simples adoção de tecnologias inovadoras não é suficiente para garantir ganhos na eficiência operacional, sendo necessário um esforço paralelo para aprimorar processos internos e capacitar as equipes para uma melhor alocação de recursos (KOHL et al., 2019).

Com base em algumas das informações cadastrais disponíveis, e com o objetivo de detalhar melhor os resultados, é possível realizar análises adicionais agrupando as DMUs por determinados critérios. A tabela 5 evidencia a média dos índices de Malmquist (m, me e mt),

conforme a localização geográfica, revelando variações significativas nos desempenhos produtivos, de eficiência técnica e de mudança tecnológica entre as regiões do Brasil.

Tabela 5

Resultado Índice de Malmquist agrupado por região geográfica do Brasil.

Região Geográfica	Média de me Eficiência Técnica	Média de mt Mudança Tecnológica	Média de m Produtividade
CENTRO-OESTE	0,985	0,875	0,837
NORDESTE	0,918	0,873	0,810
NORTE	0,861	0,889	0,737
SUDESTE	0,948	1,000	0,950
SUL	0,994	0,995	0,985
Total Geral	0,943	0,944	0,888

A análise regional dos resultados revela que os hospitais das Regiões Sul e Sudeste demonstram os maiores níveis de produtividade, enquanto a Região Norte apresenta os piores desempenhos. Essa disparidade pode estar relacionada a diferenças estruturais, investimentos tecnológicos e capacidade gerencial entre as regiões. Conforme apontado por Costa et al. (2014), variações regionais na eficiência hospitalar frequentemente derivam de fatores como qualificação profissional, disponibilidade de recursos, políticas de gestão, infraestrutura, acesso a tecnologias inovadoras, e cultura organizacional.

Além disso, a mudança tecnológica teve um impacto significativo na produtividade total dos hospitais (m), sugerindo que os hospitais das regiões mais produtivas podem estar melhor posicionados para absorver e implementar inovações. Essa evidência corrobora a literatura sobre eficiência hospitalar, que destaca a influência do contexto socioeconômico e do financiamento público na gestão dos serviços de saúde.

A região Sul apresenta, praticamente, os melhores desempenhos em todos os índices, com me de 0,994, m de 0,985 e mt de 0,995. Isso sugere que os hospitais dessa região combinaram alta eficiência técnica com mudanças tecnológicas significativas, permitindo avanços expressivos na produtividade.

Assim como ressaltado por Kohl et al. (2018), melhorias simultâneas na eficiência técnica e no progresso tecnológico são características de sistemas de saúde bem gerenciados, com recursos adequados e políticas de suporte efetivas. O mt igual a 1 na região Sudeste também evidencia um ambiente propício para inovações tecnológicas, corroborando que essas regiões historicamente mais desenvolvidas conseguem aproveitar melhor as oportunidades de inovação e modernização.

Em contrapartida, as regiões Norte e Nordeste apresentam os menores valores de m (0,737 e 0,810, respectivamente) e me (0,861 e 0,918), indicando limitações tanto na eficiência técnica quanto no progresso tecnológico. Esses resultados, provavelmente, refletem desafios enfrentados por hospitais localizados em áreas mais remotas ou economicamente desfavorecidas, onde a falta de recursos estruturais e humanos impacta diretamente a capacidade de alcançar níveis mais elevados de eficiência e produtividade.

No entanto, esses hospitais enfrentam desafios para aprimorar sua eficiência técnica, o que pode ser atribuído à complexidade inerente à gestão de grandes estruturas e ao uso de um volume substancial de recursos. Esse cenário é consistente com estudos que apontam para uma possível ineficiência gerencial em organizações maiores, conforme sugerido por Salway et al. (2017), especialmente quando há dificuldades em alinhar a gestão operacional à eficiência técnica ideal.

Tabela 6

Resultado Índice de Malmquist agrupado por faixa de leitos.

Faixa de Leitos	Média de me Eficiência Técnica	Média de mt Mudança Tecnológica	Média de m Produtividade
101 a 200	0,955	0,948	0,912
201 a 300	0,896	1,013	0,896
51 a 100	1,008	0,484	0,535
Mais de 300	0,954	0,990	0,935
Total Geral	0,943	0,944	0,888

Sob outra perspectiva, na Tabela 6, as médias do Índice de Malmquist indicam que hospitais da faixa de 51 a 100 e 101 a 200 leitos apresentaram os maiores escores de eficiência técnica ($me = 1,008$ e $0,955$), mas menores mudança tecnológica e produtividade ($m = 0,535$). Isso sugere que, embora esses hospitais otimizem seus recursos atuais, a falta de avanços tecnológicos pode limitar o crescimento sustentável de sua produtividade.

Ademais, hospitais com mais de 300 leitos apresentaram as maiores folgas em insumos (slack leitos = 0,165, slack médicos = 0,226), mas ainda assim demonstraram uma média de produtividade superior ($m = 0,935$) no Índice de Malmquist. Esse desempenho positivo em produtividade parece estar relacionado à sua maior capacidade de absorver avanços tecnológicos, evidenciada pela média de mudança tecnológica ($mt = 0,990$).

5.2 DEA-SBM

Para uma análise mais robusta e fundamentada, é essencial interpretar os resultados do Índice de Malmquist em conjunto com os obtidos pelo DEA-SBM. Enquanto o primeiro modelo avalia as mudanças de produtividade ao longo do tempo, o segundo oferece uma análise estática e detalhada da eficiência relativa em um dado período, destacando folgas específicas nos insumos e produtos, permitindo identificar com precisão áreas de desperdício e oportunidades de melhoria.

A combinação dessas abordagens integra a perspectiva dinâmica do Malmquist com a análise técnica detalhada do DEA-SBM. Isso porque promove uma visão mais abrangente das relações entre inovação tecnológica, eficiência operacional e gestão de recursos hospitalares, essenciais para que se tenha uma avaliação de eficiência mais fidedigna e uma otimização dos serviços prestados no contexto do SUS.

Na tabela 10 (vide anexo) são apresentados os resultados do modelo DEA-SBM, com ênfase nos escores de eficiência para cada DMU e nas folgas identificadas nas variáveis de *input* e *output*. Essa análise permite identificar os hospitais que atuaram de forma eficiente e aqueles que eventualmente apresentaram recursos subutilizados ou oportunidades de melhorar seus resultados.

As variáveis de *input* mostraram avanços significativos, especialmente na redução de folgas relacionadas ao número de leitos, onde o número de DMUs passou de 30% em 2019 para 54% em 2023 com zero folgas. Resultado esse que representa um aumento de 79% no universo de hospitais com melhor utilização de seus leitos. Isso indica que mais hospitais conseguiram alinhar a quantidade de leitos disponíveis à demanda por serviços, reduzindo ociosidade.

No mesmo sentido, as folgas relacionadas às horas de médicos e enfermagem também diminuíram, com ganhos de 30% e 13%, respectivamente. Esses resultados são consistentes com a literatura sobre eficiência hospitalar, que destaca a importância de um uso adequado dos insumos para melhorar a produtividade global (FÄRE et al., 1994).

Já a média de eficiência técnica aumentou de 0,249 em 2019 para 0,376 em 2023, representando um crescimento de 51%. Esse resultado demonstra que, ao longo do período analisado, os hospitais conseguiram utilizar melhor seus recursos, reduzindo ineficiências e otimizando os processos internos. Contudo, o índice de eficiência geral ainda está distante de 1, indicando que há um potencial significativo para melhorias no uso dos insumos e na geração de resultados hospitalares.

No âmbito regional, o Norte e o Sul se destacaram com os maiores ganhos de eficiência técnica. O Norte saltou de 0,281 para 0,463, enquanto o Sul foi de 0,356 para 0,471. Esses resultados podem estar relacionados à maior adesão às práticas Lean, que proporcionaram melhorias expressivas nos processos hospitalares, mesmo em contextos estruturais e geográficos desafiadores.

Tabela 7

Resultado DEA-SBM agrupado por região geográfica do Brasil.

Região Geográfica	slacks Leitos	slacks Enferm	slacks Médico	Média de eff 2023
CENTRO-OESTE	0,105	0,180	0,175	0,316
NORDESTE	0,077	0,129	0,061	0,343
NORTE	0,036	0,083	0,048	0,463
SUDESTE	0,054	0,141	0,137	0,338
SUL	0,037	0,106	0,086	0,471
Total Geral	0,059	0,128	0,100	0,376

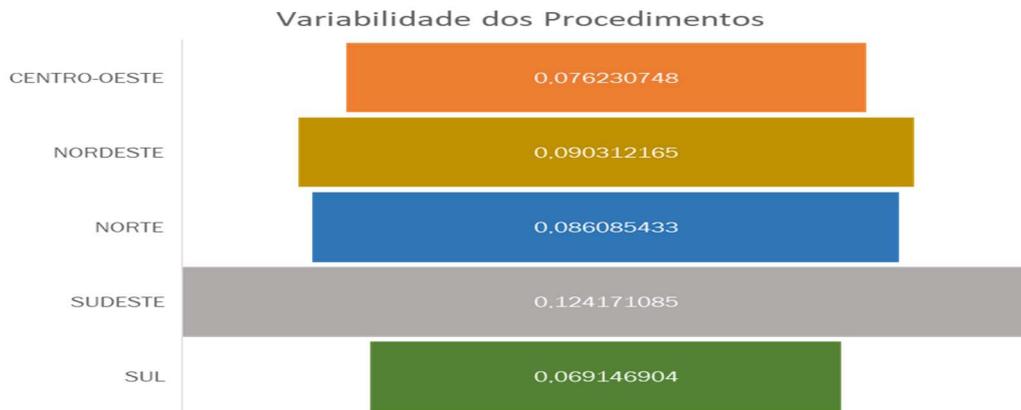
Por outro lado, regiões como o Centro-Oeste e o Sudeste apresentaram avanços mais modestos, com ganhos de 0,093 e 0,130, respectivamente, sugerindo que os desafios de implementação do projeto Lean podem estar associados a questões específicas como a disponibilidade de recursos humanos ou a complexidade administrativa dos hospitais dessas regiões.

Apesar dos avanços, o nível médio de eficiência em 2023, de 0,376, indica que os hospitais ainda operam com 62,4% de ineficiência técnica, ou seja, ainda há espaço significativo para melhorias. Isso sugere que os hospitais poderiam, em média, aumentar sua eficiência em mais de 60% apenas com a otimização dos recursos já disponíveis. Tal constatação está alinhada com os resultados apresentados no estudo concebido pelo Banco Mundial (2017). Pelo referido trabalho haveria 71% de ineficiência média nos serviços de média e alta complexidade prestados no âmbito do SUS, o que se traduziria em economia potencial teórica de R\$ 12,7 bilhões, sem que houvesse prejuízo no nível de serviços prestados.

Nas regiões Norte e Sul, que apresentaram maior eficiência relativa, ainda há folgas consideráveis a serem trabalhadas, especialmente na variável SIA_SIH_Valor, que reflete o pagamento recebido pelos hospitais pelos procedimentos realizados. A média dessa variável caiu de 0,122 em 2019 para 0,070 em 2023, o que indica que, embora a eficiência tenha aumentado, os hospitais ainda apresentam certo desperdício no que concerne a capacidade de realização de procedimentos hospitalares, enfrentando, portanto, dificuldades em maximizar seus resultados.

Gráfico 2

Desvio-padrão da variável SIA_SIH_Valor de acordo com a região geográfica.

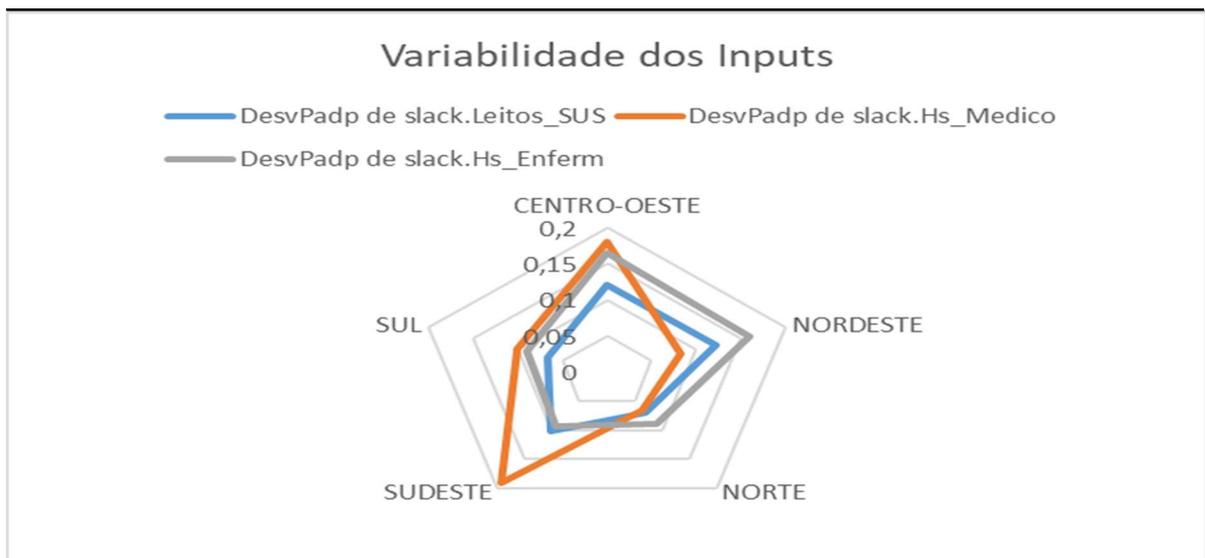


Fonte: elaboração com base nos resultados do DEA_SBM.

O estudo aponta que o desvio padrão das folgas varia significativamente entre as regiões, com o Centro-Oeste apresentando a maior média, sugerindo inconsistências na utilização de recursos hospitalares. Em contraste, a região Sul demonstra uma baixa variabilidade no produto, indicando maior uniformidade na gestão hospitalar. Já a região Sudeste apresenta gaps expressivos na realização de procedimentos, o que pode sinalizar potenciais ineficiências nos processos de atendimento, mesmo em regiões com maior número de pacientes e infraestrutura hospitalar.

Gráfico 3

Variabilidade dos Inputs de acordo com a região geográfica.



Fonte: elaboração com base nos resultados do DEA_SBM.

Na Tabela 8, observa-se que as faixas de hospitais com menor número de leitos, como os que possuem menos de 200 leitos, apresentaram menores folgas (*slacks*) em relação aos insumos utilizados, especialmente em leitos e médicos, assim como a maior média de eficiência técnica (0,661 e 0,492). Esses resultados destacam que hospitais menores são capazes de otimizar melhor seus recursos, alinhando-se ao princípio de eficiência descrito por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), que sugere que unidades menores podem estar mais próximas da fronteira eficiente devido à simplicidade de suas operações e maior controle sobre os processos.

Tabela 8

Resultado DEA-SBM agrupado por faixa de leitos.

Faixa de Leitos	slacks Leitos	slacks Médico	slacks Enferm	Média de eff 2023
101 a 200	0,006	0,030	0,060	0,492
201 a 300	0,031	0,078	0,125	0,307
51 a 100	0,000	0,018	0,017	0,661
Mais de 300	0,165	0,226	0,237	0,244
Total Geral	0,060	0,101	0,129	0,376

Por outro lado, hospitais com mais de 300 leitos enfrentam maiores dificuldades em ajustar seus recursos à demanda, acumulando recursos ociosos, como leitos e profissionais de saúde. No entanto, observa-se que, no Centro-Oeste, o porte dos hospitais não teve impacto significativo na eficiência, sugerindo que outros fatores, como gestão operacional ou políticas regionais, podem desempenhar papel mais relevante.

Os resultados indicam ainda que seria possível aumentar em até 10% a realização de procedimentos hospitalares sem a necessidade de ampliar os insumos, demonstrando um potencial significativo para otimizar os recursos. Estados como Rio Grande do Norte (RN), Rio de Janeiro (RJ), Piauí (PI), Mato Grosso (MT) e Acre (AC) apresentam maior margem de crescimento nos procedimentos, enquanto Santa Catarina (SC), Rondônia (RO), Paraíba (PB) e Espírito Santo (ES) registram menores folgas em leitos, sugerindo que estão operando próximos à sua capacidade máxima de eficiência, pelo menos no que se refere a esse *input*.

Muito embora as importantes contribuições trazidas pelas análises por segmentos, importante observar que os resultados por regiões geográficas e faixas de leitos devem ser interpretadas com cautela, uma vez que a distribuição dos hospitais no âmbito do projeto Lean não ocorre de forma uniforme em relação às suas características físicas e aos recursos humanos disponíveis. Tal fato pode introduzir vieses nas comparações inter-regionais, especialmente

considerando que os modelos DEA, baseados em programação linear, avalia a eficiência relativa das DMUs com base nos pesos determinados para as variáveis de insumos e outputs.

Por fim, com o devido cuidado e tendo como base os resultados apresentados pelo estudo do Banco Mundial (2017), é possível estimar o impacto econômico-financeira que seria alcançado caso toda a rede hospitalar do SUS alcançasse os níveis de eficiência observados nos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências, ainda que distantes de um cenário ideal (37,6%). Considerando os avanços demonstrados pelo DEA-SBM, com a elevação da eficiência média de 0,249 em 2019 para 0,376 em 2023, é possível projetar um significativo potencial de economia de recursos públicos na área da saúde.

O estudo do Banco Mundial identificou uma ineficiência média de 71% nos hospitais brasileiros em 2017, resultando em um desperdício estimado de R\$ 12,7 bilhões frente aos R\$ 350 bilhões gastos em ações e serviços públicos de saúde naquele ano. Para 2023, considerando um aumento nos gastos totais para R\$ 405 bilhões e uma redução da ineficiência média para 62,4%, estima-se que o desperdício relacionado à ineficiência hospitalar seja de aproximadamente R\$ 12,92 bilhões em valores nominais, representando 3,19% dos gastos totais. Ajustando os valores pela inflação acumulada de 40% no período, o desperdício real seria de R\$ 9,23 bilhões.

Assim, caso a eficiência média alcançada pelos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências fosse replicada em toda a rede hospitalar do SUS, seria possível projetar uma economia anual potencial aproximada de R\$ 3,5 bilhões. Esse cenário evidencia de forma contundente o impacto positivo da busca pelo aprimoramento da eficiência hospitalar. E reforça também a importância de ações governamentais e projetos públicos, em parceria com a iniciativa privada como o Lean nas Emergências, na promoção da sustentabilidade financeira do sistema público de saúde.

6 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo confirmam a hipótese de pesquisa de que o Projeto Lean nas Emergências, ao ser implementado no Sistema Único de Saúde (SUS), contribuiu para a melhoria da eficiência técnica e produtividade hospitalar no período de 2019 a 2023. A análise realizada, com base na Análise Envoltória de Dados (DEA-SBM) e no Índice de Malmquist, revelou que houve um deslocamento positivo da fronteira de eficiência, indicando ganhos de desempenho associados à adoção das ferramentas e práticas sugeridas pelo Lean.

Entretanto, os avanços observados não foram homogêneos entre os hospitais analisados, refletindo disparidades estruturais e regionais. Enquanto algumas unidades hospitalares conseguiram otimizar recursos e aprimorar seus processos, outras ainda enfrentaram dificuldades na adaptação às novas metodologias.

A eficiência técnica média aumentou de 0,249 em 2019 para 0,376 em 2023, o que representa um crescimento de 51%, demonstrando impactos positivos das intervenções Lean. Entretanto, os dados apontam que apenas 40% das DMUs analisadas apresentaram ganho de produtividade significativo, evidenciando que há espaço para melhorias, sobretudo no que se refere na implementação do projeto de acordo com as particularidades de cada unidade hospitalar.

A decomposição do Índice de Malmquist revelou que a produtividade total foi impulsionada principalmente pelo componente tecnológico (1,04), sugerindo que os ganhos observados foram mais decorrentes de inovações e aprimoramentos tecnológicos do que de eficiência técnica pura.

A análise segmentada por região mostrou que os hospitais do Sul e Sudeste tiveram melhor desempenho, provavelmente devido a uma infraestrutura mais robusta e maior acesso a tecnologias e recursos especializados. Em contrapartida, hospitais localizados no Norte e Nordeste apresentaram menor crescimento na produtividade, reforçando a necessidade de políticas mais direcionadas para minimizar essas desigualdades.

A investigação revelou também que hospitais de menor porte demonstraram maior capacidade de otimização de recursos, enquanto hospitais de maior porte, embora tenham apresentado ganhos de produtividade, enfrentaram dificuldades para alinhar eficiência técnica e operacional.

Ademais, as folgas identificadas nos insumos hospitalares sugerem que ainda há oportunidades para melhorar a alocação de recursos, com destaque para a necessidade de aprimoramento na gestão de leitos e de pessoal. Apesar dos avanços promovidos pelo projeto

Lean, 62,4% dos hospitais analisados ainda operam com ineficiência técnica, o que indica um potencial significativo para novas estratégias de otimização.

A partir dos resultados encontrados, algumas implicações importantes podem ser destacadas. Primeiro, a combinação do DEA-SBM com o Índice de Malmquist provou ser uma abordagem metodológica robusta para avaliar políticas públicas na área da saúde, fornecendo evidências quantitativas sobre os impactos da metodologia Lean no desempenho hospitalar. Segundo, os dados reforçam a necessidade de que futuras expansões do Projeto Lean nas Emergências levem em consideração particularidades regionais e estruturais dos hospitais participantes, garantindo que os benefícios observados sejam distribuídos de forma mais equitativa.

Além disso, a continuidade do projeto também pode se beneficiar da adoção de novas ferramentas de gestão e inovação tecnológica, com foco na redução de desperdícios e no aprimoramento da governança hospitalar conforme o porte da unidade hospitalar, assim como de sua localização geográfica.

A pesquisa também identificou limitações importantes. A heterogeneidade das DMUs e o acesso a dados mais detalhados podem qualificar ainda mais a precisão dos resultados. Estudos futuros podem explorar variáveis adicionais, sobretudo alinhadas especificamente com as metas e indicadores estabelecidos pela própria coordenação do projeto Lean.

Em síntese, esta pesquisa científica contribui para o campo da economia quantitativa da área da saúde pública ao demonstrar, de forma inédita, que a implementação do projeto Lean pode ser uma ferramenta eficaz para melhorar a eficiência e produtividade dos hospitais da rede SUS. Contudo, os resultados ainda apontam para um índice de ineficiência elevado no âmbito da gestão hospitalar. E sinalizam também que o sucesso de ações e projetos governamentais dependem não somente da padronização de ferramentas e aspectos de gestão, mas da avaliação prévia de determinadas particularidades e condições regionais, estrutura hospitalar e gestão adequada dos recursos.

Adicionalmente, com base nos ganhos de eficiência observados no DEA-SBM, estima-se um potencial significativo de economia de recursos no SUS. Comparando-se com o estudo do Banco Mundial (2017), que identificou um desperdício hospitalar anual de R\$ 12,7 bilhões, caso o aumento da eficiência média observado nos hospitais do Projeto Lean nas Emergências fosse ampliado para toda a rede hospitalar do SUS, a economia anual projetada poderia atingir cerca de R\$ 3,5 bilhões. Esse impacto positivo reforça a necessidade de que ações governamentais estejam permanentemente focadas na otimização de recursos e na melhoria da

produtividade de suas unidades, assegurando uma gestão mais eficiente e sustentável dos serviços públicos de saúde.

Projetos estratégicos, como o Lean nas Emergências, evidenciam como a adoção de práticas inovadoras e a reavaliação contínua dos processos podem reduzir desperdícios, aprimorar o atendimento e garantir um melhor aproveitamento dos investimentos públicos. Assim, políticas públicas voltadas para aumento da eficiência e produtividade hospitalar não devem ser iniciativas isoladas, mas parte de um compromisso contínuo com a modernização e sustentabilidade do sistema público de saúde.

Ao concluir, entende-se que pesquisas complementares, como a aplicação de modelos de efeito fixo para estimar os fatores associados ao crescimento da produtividade hospitalar, poderiam oferecer uma compreensão mais detalhada sobre os determinantes e as razões por trás das diferenças nos níveis de eficiência. Por exemplo, a estimação de variáveis e indicadores socioeconômicos com os escores do Índice de Malmquist obtidos para cada grupo de DMUs. Com isso, seria possível desenvolver estratégias mais precisas para superar as limitações regionais observadas e potencializar os benefícios do projeto Lean nas Emergências.

7 REFERÊNCIAS

AMARU, Maximiano e NOHARA, Irene. Gestão Pública: abordagem integrada da Administração e do Direito Administrativo. - 1. ed. - São Paulo: Atlas, 2017.

ASANDULUI, Laura; ROMAN, Monica; FATULESCU, Puiu. A eficiência dos sistemas de saúde na Europa: uma abordagem de análise envoltória de dados. *Procedia Economics and Finance*, v. 10, p. 261-268, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BARROS, F. P. C., LOPES, J. S., MENDONÇA, A. V. M., & Sousa, M. F. (2016) Acesso e equidade nos serviços de saúde: uma revisão estruturada. *Saúde debate*, Rio de Janeiro. 40(110):264- 271.

BATTAGLIA, F.; PINTO, C. F. Aplicando Lean na saúde. Lean Institute Brasil. São Paulo, 27 de maio de 2014. Disponível em: <https://www.lean.org.br/artigos/262/aplicando-lean-na-saude.aspx>. Acesso em: 8 jul. 2021.

BISH, A.; MCCORMICK, B.; OTEGBEYE, M. Factors influencing patient flow in emergency departments: a review of the literature. *Journal of Emergency Nursing*, v. 42, n. 3, p. 253-264, 2016.

BOOTE, David N.; BEILE, Penny. Scholars Before Researchers: On the Centrality of the Dissertation Literature Review in Research Preparation. *Educational Researcher*, v. 34, n. 6, p. 3-15, 2005.

BRASIL. Decreto 9.203, de 22 de novembro de 2017. Dispõe sobre a política de governança da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, 23 nov. 2017. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9203.htm>. Acesso em: 16 mar. 2024.

BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 20 set. 1990.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 3.390, de 30 dez. 2013. Institui a Política Nacional de Atenção Hospitalar (PNHOSP) no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS).

BRASIL. Ministério da Saúde. Projeto de Apoio ao Desenvolvimento Institucional do SUS – PROADI-SUS. Brasília: MS, 2023.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão nº 1108/2020 - Plenário. Relator: Benjamin Zymler. Sessão de 6 de maio de 2020. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/pesquisa/acordao-completo>.

BANCO MUNDIAL (2017). Um Ajuste Justo: Análise da Eficiência e Equidade do Gasto Público no Brasil. Banco Mundial Brasília/DF. <https://www.worldbank.org/pt/country/brazil/publication/brazil-expenditure-review-report>.

BOVENS, Mark. Public Accountability. Oxford Handbook of Public Management, 2007.

CAVES, D. W., CHRISTENSEN, L. R., & DIEWERT, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.

CETIN, Volkan Recai; BAHCE, Serdal. Medir a eficiência dos sistemas de saúde dos países da OCDE através da análise envoltória de dados. *Applied Economics*, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00036846.2016.1139682>.

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

COOPER, W. W., SEIFORD, L. M., & TONE, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses*. Springer.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Springer Science & Business Media, 2007.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. *Handbook on data envelopment analysis*. Springer Science & Business Media, 2011.

COASE, R. H. The nature of the firm. *Economica*, v. 4, n. 16, p. 386-405, 1937.

COLLAR, R. M.; SHUMAN, D. J.; FEINSTEIN, A. J.; SANTIBANEZ, M.; STONE, A. E.; STONE, M. M. Lean management in academic surgery. *Journal of the American College of Surgeons*, v. 214, n. 6, p. 928-936, 2012. Disponível em: [https://www.journalacs.org/article/S1072-7515\(12\)00274-3/fulltext00274-3/fulltext](https://www.journalacs.org/article/S1072-7515(12)00274-3/fulltext00274-3/fulltext)). Acesso em: 21 set. 2024.

- COSTA, C. K. F., BALBINOTTO Neto, G., & SAMPAIO, L. M. B. (2014). Eficiência dos estados brasileiros e do Distrito Federal no sistema público de transplante renal: uma análise usando método DEA (Análise Envoltória de Dados) e índice de Malmquist. *Cadernos de Saúde Pública*, 30(8), 1667-1679. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00121413>.
- CRESWELL, John W. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 4th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014.
- DEMING, W. E. *Out of the Crisis*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1986.
- DRUCKER, Peter F. *Management Challenges for the 21st Century*. HarperBusiness, 1999.
- FÄRE, R., GROSSKOPF, S., LINDGREN, B., & Roos, P. (1994). Productivity developments in Swedish hospitals: A Malmquist output index approach. In *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications* (pp. 253-272). Springer, Dordrecht.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, v. 84, n. 1, p. 66-83, 1994.
- FAUVRELLE, Thiago A. and TONY C ALMEIDA, Alessio. "Determinants of Judicial Efficiency Change: Evidence from Brazil" *Review of Law & Economics*, vol. 14, no. 1, 2018, pp. 20170004. <https://doi.org/10.1515/rle-2017-0004>.
- FINK, Arlene. *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*. 5th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2020.
- FITZSIMMONS JA, FITZSIMMONS MJ. *Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia da informação*. Porto Alegre: AMGH; 2014.
- FREITAS, M. A. Lima. *Viabilidade Econômica e Eficiência do Sistema de Saúde: O Caso do Polo Médico da Cidade do Recife*. 2002. Dissertação (Mestrado em Economia – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002).
- GARMATZ, C. A.; DE SOUZA, M. S.; SOARES, A. M. Avaliação da eficiência dos hospitais de ensino do Brasil: um estudo com DEA-SBM. *Revista Brasileira de Gestão e Economia da Saúde*, v. 11, n. 2, p. 45-67, 2021.
- GARMATZ, Aline; VIEIRA, Guilherme Bergmann Borges; SIRENA, Sérgio Antonio. Avaliação da eficiência técnica dos hospitais de ensino do Brasil utilizando a análise envoltória de dados. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, supl. 2, p. 3447-3457, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/R3Dv9wvgXwJFPFtcRQ9GCzR/?lang=pt>.

- GRABAN, M. Lean Hospitals: Improving Quality, Patient Safety, and Employee Satisfaction. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.
- HAMMER, Michael; CHAMPY, James. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. HarperBusiness, 1993.
- HASLE, P.; NIELSEN, A. P.; EDWARDS, K. Application of Lean Manufacturing in Hospitals-the Need to Consider Maturity, Complexity, and the Value Concept. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing And Service Industries*, [s. l.], n. 4, p. 430, 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeções da população: Brasil e unidades da federação: estimativas e projeções: revisão 2024. Notas metodológicas, 2024.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Gasto público em saúde. Disponível: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=14054:gasto-publico-em-saude&catid=175&Itemid=101. Acesso em: 10 mar. 2024.
- KAPLAN, Robert; NORTON, David. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Harvard Business School Press, 1992.
- KAPLAN, Robert; NORTON, David. The Execution Premium: Linking Strategy to Operations for Competitive Advantage. Harvard Business School Press, 2008.
- Kohl, S., Schoenfelder, J., Fügenger, A., & Brunner, J. O. The Use of Data Envelopment Analysis (DEA) in Healthcare with a Focus on Hospitals. *Health Care Management Science*, v. 22, p. 245–286, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9436-8>.
- LEAN NAS EMERGÊNCIAS. Metodologia Lean. Disponível em: <https://www.leannasemergencias.com.br/a-comunidade-lean-nas-emergencias/metodologia-lean/>. Acesso em: 17 de fev. 2024.
- MALMQUIST, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, 4(2), 209-242.
- MINTZBERG, Henry. The Rise and Fall of Strategic Planning. The Free Press, 1997.
- MURPHY, M. K.; et al. Barriers to timely admission from the emergency department to the hospital. *Academic Emergency Medicine*, v. 21, n. 4, p. 503-512, 2014.
- MOTA, Samuel Cavalcante; OLIVEIRA, Antonio Rafael Valério de; VASCONCELOS, Alessandra Carvalho de. Eficiência do atendimento assistencial nos hospitais universitários.

Contabilidade Vista & Revista, Belo Horizonte, v. 32, n. 3, p. 242-266, set./dez. 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/356926105>.

NORTH, D. C. *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

PIRES, Carina Tischler. Projeto Lean nas Emergências. Lean Summit Saúde 2024, São Paulo, 2024.

PEREIRA, Miguel Alves; FERREIRA, Diogo Cunha; FIGUEIRA, José Rui; MARQUES, Rui Cunha. *Measuring the efficiency of the Portuguese public hospitals: A value modelled network data envelopment analysis with simulation*. *Expert Systems with Applications*, v. 181, p. 115169, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115169>.

PORTER, Michael E.; TEISBERG, Elizabeth O. *Redefining Health Care: Creating Value-Based Competition on Results*. Harvard Business School Press, 2006.

QUEIROZ, Maria de Fátima Medeiros de; SILVA, Jorge Luiz Mariano da; FIGUEIREDO, Jonilson de Souza; VALE, Fábio Freire Ribeiro do. Eficiência no Gasto Público com Saúde: uma análise nos municípios do Rio Grande do Norte. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 761-776, jul./set. 2013.

RAMOS, Marília P.; SCHABBACH, Leticia M. O estado da arte da avaliação de políticas públicas: conceituação e exemplos de avaliação no Brasil. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 46, n. 5, set/out. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122012000500005.

ROCHA, C. R. et al. Implementação da Metodologia Lean na emergência de um hospital universitário: gestão e desenvolvimento sustentável. *Texto & Contexto Enfermagem*, v. 32, e20230122, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2023-0122pt>.

ROSS, M. A.; et al. Hospital observation units: A clinical and operational review. *The New England Journal of Medicine*, v. 368, n. 23, p. 2195-2203, 2013.

RUDIO, F. V. O problema da pesquisa. In: _____. *Introdução ao projeto de pesquisa científica*. 32. ed. Petrópolis: Vozes, 2004, p. 87.

SALAMON, Lester. *The New Governance and the Tools of Public Action: An Introduction*. *Fordham Urban Law Journal*, Vol, 28, Issue 5, p. 1609-1674, 2000.

SALWAY, R.; et al. Emergency department crowding: A review of causes, consequences, and solutions. *Annals of Emergency Medicine*, v. 69, n. 1, p. 34-42, 2017.

- SANTOS, LM, Silvino, ZR, Souza, DF, Moraes, EB, Souza, CJ & Balbino, CM. (2020). Applicability of lean methodology in the organization of health services: an integrative review. *Research, Society and Development*, 9(7):1-22, e345974054.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- SILBERSTEIN, M. Assessment methodology for Lean Practices in healthcare organizations: case study in a Brazilian public hospital. *Production*, v. 26, n. 3, p. 515-526, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/txJbt6zQz6FPMsYcyvxb5vr/>. Acesso em: 21 set. 2024.
- TONELOTTO, D. P., CROZATTI, J., MORAES, V. M., & RIGHETTO, P. (2019). Hospitais de alta complexidade do Estado de São Paulo: uma análise comparativa dos níveis de eficiência obtidos pelos modelos de gestão de administração direta e de organização social. *Administração Pública e Gestão Social*, 11(4), 59-77. <https://doi.org/10.21118/apgs.v4i11.7175>.
- TONE, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498-509.
- VICCELLIO, P.; et al. Emergency department overcrowding: An evidence-based review. *Annals of Emergency Medicine*, v. 61, n. 6, p. 661-670, 2013.
- VIEIRA, F. S. Implicações de decisões e discussões recentes para o financiamento do Sistema Único de Saúde. *Saúde em Debate*, v. 40, n. 109, p. 187-199, 2016.
- WICKRAMASINGHE, N.; AL-HAKIM, L.; GONZALEZ, C.; TAN, J. Lean Thinking for Healthcare. *Healthcare Delivery in the Information Age*. Springer, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-8036-5>. Acesso em: 21 set. 2024.
- WILER, J. L.; et al. Optimizing emergency department front-end operations. *Journal of Emergency Medicine*, v. 38, n. 3, p. 340-347, 2010.
- WILLIAMSON, O. E. The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting. New York: Free Press, 1985.
- WZOREK, L. Melhoria de desempenho no processo de atendimento de clínica médica utilizando a filosofia lean office: um estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Empresarial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/23750>.
- YIN, Robert K. Case Study Research and Applications: Design and Methods. 6th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2015.

8 ANEXOS

Tabela 9

Decomposição do índice de Malmquist dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências, 2019 e 2023.

cnes	Índice de Malmquist	Deslocamento da Fronteira (frontier-shift)	Emparelhamento (catch-up)
426	0,91	1,04	0,88
655	1,16	1,07	1,08
3859	1,09	1,02	1,08
3980	1,15	1,08	1,06
9628	0,95	1,01	0,94
9717	0,96	1,02	0,94
9725	0,99	1,01	0,97
10456	0,95	1,01	0,94
10464	0,98	1,00	0,98
10480	0,94	1,00	0,94
10499	0,94	1,00	0,94
10502	0,99	1,00	0,99
11800	0,98	1,00	0,98
12521	0,98	1,01	0,98
15245	0,98	1,03	0,95
15334	1,32	1,07	1,23
15407	0,95	1,04	0,91
25135	0,88	1,01	0,88
26921	1,01	1,01	1,00
26948	0,99	1,00	0,99
27022	0,98	1,00	0,98
27049	1,05	1,01	1,03
27863	1,06	1,00	1,05
2001578	0,78	1,01	0,78
2006510	0,84	1,03	0,81
2010151	1,08	1,09	0,99
2013649	0,75	1,10	0,68
2019574	0,79	1,06	0,75
2021064	1,01	0,99	1,02
2025507	0,97	1,02	0,96
2069776	1,02	1,01	1,02
2077396	0,80	0,80	1,00
2077434	1,02	1,01	1,01
2077671	1,00	1,01	0,99
2078775	0,75	1,18	0,63
2079798	0,99	1,00	0,99
2080028	1,20	1,00	1,20
2080273	1,10	1,01	1,08
2080338	0,93	1,01	0,92

2080346	1,58	1,02	1,54
2080583	0,89	1,01	0,88
2081970	0,99	1,03	0,96
2082128	1,01	1,04	0,97
2082225	1,20	1,01	1,19
2082527	1,16	1,17	0,99
2082829	0,99	1,01	0,98
2084414	1,04	1,04	1,00
2089327	0,93	1,09	0,86
2092611	0,95	1,03	0,93
2109867	0,96	1,05	0,91
2127989	0,92	1,09	0,85
2146355	1,09	1,02	1,07
2149990	0,91	1,06	0,86
2171988	0,89	1,02	0,87
2192896	1,02	1,00	1,01
2200473	0,98	1,02	0,97
2205440	1,02	1,07	0,96
2206595	0,99	1,01	0,98
2222043	0,82	1,03	0,79
2223538	0,98	1,05	0,94
2223546	0,97	1,03	0,94
2232022	0,85	1,04	0,81
2232162	0,94	1,00	0,93
2232995	0,91	1,04	0,87
2237822	1,00	1,00	1,00
2246929	1,05	1,03	1,01
2246988	1,01	1,04	0,97
2248190	1,00	1,07	0,94
2254964	1,22	1,10	1,11
2266474	0,91	1,01	0,90
2270234	0,52	1,09	0,48
2270269	0,93	1,01	0,93
2280183	0,79	1,01	0,79
2287579	0,67	1,01	0,66
2296306	1,19	1,02	1,17
2298120	0,88	1,02	0,86
2308762	0,74	1,10	0,68
2308800	0,73	1,04	0,70
2309254	1,00	1,03	0,97
2319659	0,78	1,01	0,77
2329905	0,96	1,05	0,92
2334321	0,79	1,18	0,67
2337339	0,48	1,06	0,45
2339196	1,00	1,01	0,99
2362856	0,88	1,01	0,87
2365146	0,99	1,07	0,93

2385171	1,59	1,33	1,19
2391635	1,06	1,04	1,01
2399628	1,00	1,20	0,83
2400324	0,92	1,01	0,91
2400693	0,94	1,02	0,92
2402076	0,75	1,11	0,67
2411393	0,97	1,09	0,89
2427419	0,80	1,05	0,77
2436450	0,90	1,02	0,88
2446030	0,93	1,05	0,89
2458799	0,92	0,99	0,92
2479214	1,35	1,57	0,86
2481286	0,98	1,00	0,99
2485680	0,88	1,07	0,82
2491710	0,94	1,04	0,91
2493888	0,39	1,07	0,37
2493896	0,99	0,99	1,00
2497654	1,20	1,05	1,14
2499363	1,02	1,01	1,01
2522691	0,96	1,05	0,92
2537788	0,98	1,04	0,94
2546957	1,01	1,07	0,94
2550687	1,24	1,02	1,22
2550792	0,89	1,01	0,88
2558246	1,00	1,09	0,92
2562316	1,36	1,02	1,33
2563681	0,93	1,02	0,92
2568713	0,92	1,07	0,86
2576341	1,09	1,10	0,99
2580055	0,94	1,06	0,89
2593262	0,72	1,04	0,69
2600536	1,02	1,01	1,01
2645157	0,94	1,00	0,94
2651610	1,02	1,03	0,99
2653923	0,78	1,01	0,77
2678179	1,16	1,14	1,02
2678403	1,00	1,08	0,92
2687127	0,81	1,01	0,80
2688689	0,97	1,02	0,95
2691868	1,00	1,00	1,00
2693801	1,02	1,10	0,92
2707918	1,05	1,05	1,00
2716097	0,85	1,01	0,84
2738368	1,04	1,00	1,04
2748223	1,03	1,03	1,00
2781859	1,01	1,03	0,99
2786109	0,95	0,99	0,96

2786117	0,80	1,01	0,80
2786435	0,89	1,06	0,84
2786680	1,17	1,00	1,17
2791722	0,97	1,04	0,94
2792141	1,10	1,01	1,09
2792176	1,04	1,01	1,03
2798298	1,06	1,05	1,01
2799758	1,06	1,04	1,02
2802783	1,03	1,03	0,99
2816210	0,73	1,04	0,70
3015408	2,11	1,00	2,11
3157245	1,01	1,01	1,00
3212130	0,94	1,01	0,93
3698548	1,11	1,24	0,89
4009622	1,31	1,06	1,23
4056752	1,00	1,17	0,85
5169976	1,23	1,12	1,11
5200105	1,02	1,06	0,97
5223962	2,75	1,26	2,18
5336171	0,94	0,99	0,94
5412447	0,90	1,00	0,90
5419662	0,87	0,99	0,88
6042414	0,97	1,00	0,97
6048692	0,98	1,01	0,97
6414702	0,94	1,09	0,86
6424341	1,11	1,05	1,05
6483089	1,04	1,09	0,96
6559379	0,98	1,03	0,95
6595197	0,78	1,02	0,76
6627595	1,08	1,08	1,00
6779522	0,68	1,04	0,66
6848710	0,43	1,03	0,42
6908268	0,72	1,03	0,70
7257406	0,88	1,01	0,87
7498810	0,77	1,00	0,77
7621442	0,51	1,03	0,49
7743068	0,91	1,01	0,90
8015899	1,05	1,04	1,01
9443665	0,93	1,00	0,93

Tabela 10

Eficiência e folgas dos hospitais participantes do projeto Lean nas Emergências, 2019 e 2023.

CNES Ano	eff		SIA_SIH_Valor		Tx Sobrev		Leitos		Hs Médico		Hs Enferm	
	2019	2023	2019	2023	2019	2023	2019	2023	2019	2023	2019	2023
426	0,15	0,22	0	0	0,15	0,11	0,4	0,36	0,08	0,08	0,1	0,14
655	0,11	0,13	0	0	0,4	0,34	0,48	0,47	0,21	0,26	0,24	0,37
3859	0,11	0,15	0	0	0,09	0,17	0,43	0,4	0,39	0,31	0,6	0,98
3980	0,13	0,35	0,18	0,09	0,01	0,15	0	0	0,02	0	0,03	0,02
9628	0,11	0,2	0	0	0,1	0,13	0,21	0,19	0,26	0,3	0,18	0,17
9717	0,16	0,23	0	0	0,03	0,02	0,27	0,26	0,32	0,42	0,3	0,53
9725	0,11	0,18	0	0	0,22	0,27	0,21	0,18	0,22	0,21	0,18	0,23
10456	0,1	0,17	0	0	0,15	0,13	0,4	0,32	0,53	0,64	0,47	0,49
10464	0,1	0,15	0,42	0,23	0	0	0,01	0,05	0,31	0,29	0,18	0,16
10480	0,09	0,12	0,42	0,17	0	0	0,07	0,27	0,19	0,18	0,2	0,2
10499	0,14	0,23	0,32	0,07	0	0	0,1	0,16	0,3	0,35	0,15	0,2
10502	0,2	0,29	0,17	0,13	0	0	0	0	0,1	0,1	0,12	0,09
11800	0,19	0,48	0,11	0,02	0	0	0,03	0,02	0,1	0,07	0,1	0,11
12521	0,12	0,24	0	0,2	0,15	0,17	0,12	0	0,08	0,04	0,16	0,16
15245	0,14	0,3	0	0	0	0,03	0,27	0,09	0,45	0,49	0,16	0,2
15334	0,41	0,41	0	0	0	0,15	0,01	0,06	0,06	0,04	0,1	0,19
15407	0,42	1	0	0	0	0	0,03	0	0,04	0	0,13	0
25135	0,14	0,36	0	0,08	0,07	0,05	0,09	0	0,1	0,07	0,1	0,07
26921	0,13	0,18	0	0	0	0	0,28	0,25	0,28	0,28	0,38	0,37
26948	0,39	0,5	0,04	0,01	0	0	0	0,02	0,04	0,05	0,07	0,06
27022	0,1	0,14	0	0,37	0,04	0	0,22	0	0,17	0,08	0,13	0,17
27049	0,19	0,25	0	0	0	0	0,2	0,14	0,85	0,77	0,31	0,32
27863	0,1	0,13	0	0,46	0,01	0	0,23	0,01	0,23	0,23	0,21	0,24
2001578	0,1	0,19	0	0,28	0,31	0,19	0,12	0	0,05	0,02	0,08	0,08
2006510	0,05	0,07	0	0	0,56	0,57	0,16	0,23	0,17	0,21	0,19	0,24
2010151	0,41	0,48	0,05	0,06	0	0,02	0	0	0,01	0,02	0,02	0,01
2013649	0,11	0,21	0	0	0,53	0,49	0,24	0,12	0,06	0,04	0,04	0,12
2019574	0,13	0,22	0	0	0,45	0,43	0,11	0,09	0,05	0,08	0,05	0,14
2021064	0,21	0,42	0,05	0,03	0	0	0	0	0,02	0	0,05	0,06
2025507	0,15	0,25	0	0	0,15	0,19	0,13	0,11	0,29	0,21	0,18	0,19
2069776	0,18	0,16	0	0,28	0,11	0,12	0,08	0	0,09	0,11	0,07	0,12
2077396	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2077434	0,15	0,29	0	0,15	0,16	0,22	0,09	0	0,05	0,01	0,1	0,09
2077671	0,15	0,27	0	0,2	0,04	0,06	0,13	0	0,09	0,08	0,15	0,13
2078775	0,16	0,27	0	0	0,44	0,44	0,12	0,05	0,04	0,05	0,17	0,22
2079798	0,22	0,56	0	0	0,04	0,01	0,2	0,1	0,69	0,43	0,41	0,26
2080028	0,12	0,21	0,25	0,2	0,1	0,25	0	0	0,03	0,01	0,09	0,1
2080273	0,15	0,21	0	0	0,1	0,22	0,13	0,11	0,48	0,59	0,18	0,18
2080338	0,1	0,18	0	0,33	0,26	0,2	0,17	0	0,12	0,06	0,15	0,15
2080346	0,1	0,15	0	0,43	0,17	0,37	0,26	0	0,17	0,11	0,1	0,1
2080583	0,14	0,25	0	0,15	0,14	0,1	0,09	0	0,03	0,02	0,08	0,17
2081970	0,13	0,33	0	0,08	0,25	0,3	0,11	0	0,04	0,01	0,11	0,11

2082128	0,29	0,38	0	0	0,01	0,05	0,03	0	0,43	0,46	0,22	0,23
2082225	0,15	0,17	0,25	0,27	0,16	0,27	0	0	0,04	0,01	0,06	0,06
2082527	0,29	0,38	0	0	0,26	0,32	0,02	0,01	0,04	0,07	0,09	0,08
2082829	0,13	0,26	0	0,22	0,12	0,13	0,16	0	0,12	0,04	0,11	0,12
2084414	0,28	0,47	0	0	0,07	0,17	0,05	0,02	0,03	0,03	0,11	0,1
2089327	0,33	1	0	0	0,08	0	0,02	0	0,07	0	0,11	0
2092611	0,16	0,28	0	0	0,23	0,27	0,08	0,06	0,08	0,11	0,13	0,12
2109867	0,19	0,35	0,12	0,08	0,26	0,28	0	0	0,02	0	0,03	0,06
2127989	0,26	0,43	0	0	0,17	0,15	0,07	0,03	0,07	0,06	0,15	0,18
2146355	0,18	0,24	0	0	0,01	0,08	0,23	0,16	0,42	0,39	0,27	0,34
2149990	0,22	0,38	0	0	0,1	0,08	0,11	0,03	0,19	0,2	0,2	0,18
2171988	0,35	0,67	0	0,02	0,15	0,14	0,04	0	0,03	0,01	0,02	0,02
2192896	0,1	0,14	0	0	0	0,07	0,34	0,32	0,36	0,39	0,3	0,35
2200473	0,11	0,19	0	0	0,29	0,36	0,15	0,14	0,09	0,08	0,09	0,15
2205440	0,31	0,45	0	0	0,04	0,09	0,08	0,05	0,08	0,05	0,12	0,35
2206595	0,14	0,24	0	0	0,14	0,19	0,15	0,09	0,29	0,28	0,2	0,2
2222043	0,16	0,36	0	0	0,15	0,07	0,16	0,11	0,08	0,06	0,09	0,13
2223538	0,25	0,49	0	0	0,06	0,11	0,09	0,04	0,06	0,03	0,13	0,13
2223546	0,24	0,37	0	0	0,09	0,11	0,05	0,02	0,14	0,14	0,16	0,13
2232022	0,17	0,31	0	0,11	0,29	0,14	0,07	0	0,16	0,22	0,05	0,05
2232162	0,12	0,23	0,2	0,18	0,17	0,17	0	0	0,13	0,03	0,09	0,08
2232995	0,13	0,33	0	0	0,3	0,32	0,17	0,07	0,05	0,03	0,11	0,1
2237822	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2246929	0,22	0,37	0	0	0,07	0,16	0,09	0,07	0,12	0,09	0,13	0,07
2246988	0,21	0,31	0	0	0,04	0,04	0,21	0,09	0,16	0,23	0,34	0,35
2248190	0,18	0,45	0	0,07	0,24	0,21	0,11	0	0,03	0	0,04	0,02
2254964	0,35	0,39	0,09	0,05	0	0	0	0	0,12	0,14	0,01	0,04
2266474	0,23	0,48	0	0,02	0,14	0,15	0,04	0	0,06	0,03	0,07	0,08
2270234	0,06	0,19	0	0	0,59	0,36	0,16	0,13	0,12	0,11	0,2	0,17
2270269	0,1	0,15	0	0,33	0,22	0,17	0,19	0	0,23	0,18	0,12	0,16
2280183	0,06	0,16	0	0	0,34	0,31	0,26	0,2	0,19	0,18	0,14	0,19
2287579	0,1	0,22	0	0,2	0,34	0,15	0,09	0	0,09	0,05	0,1	0,09
2296306	0,07	0,11	0	0	0,4	0,54	0,2	0,17	0,14	0,15	0,12	0,14
2298120	0,09	0,18	0	0,34	0,38	0,31	0,18	0	0,07	0,02	0,17	0,17
2308762	0,12	0,22	0	0	0,41	0,59	0,06	0,02	0,08	0,04	0,11	0,13
2308800	0,09	0,24	0	0	0,49	0,45	0,12	0,05	0,06	0,04	0,07	0,1
2309254	0,35	0,57	0,09	0,07	0	0	0	0	0,01	0	0,1	0,1
2319659	0,07	0,16	0	0	0,37	0,33	0,21	0,16	0,11	0,12	0,15	0,34
2329905	0,24	0,4	0,13	0,1	0,04	0,06	0,11	0	0	0,01	0,04	0,04
2337339	0,1	0,29	0	0,13	0,54	0,16	0,11	0	0,06	0,11	0,05	0,05
2339196	0,31	0,41	0,04	0,09	0	0	0	0	0,03	0	0,07	0,05
2362856	0,08	0,18	0,43	0,32	0,29	0,22	0	0	0,03	0,02	0,07	0,09
2365146	0,2	0,37	0,15	0,09	0,1	0,13	0,04	0,01	0	0	0,05	0,07
2385171	0,09	0,21	0	0	0,63	0,58	0,11	0,05	0,01	0,03	0,05	0,05
2391635	0,21	0,24	0	0,17	0,17	0,22	0,09	0	0,02	0,02	0,05	0,04
2399628	0,15	0,28	0,23	0,17	0,02	0	0	0	0,04	0,02	0,01	0,01
2400324	0,15	0,24	0	0,14	0,16	0,15	0,09	0	0,05	0,01	0,06	0,08

2400693	0,13	0,2	0	0,34	0,25	0,21	0,14	0	0,05	0	0,06	0,1
2402076	0,13	0,25	0	0	0,47	0,41	0,17	0,12	0,04	0,03	0,05	0,13
2411393	0,34	0,62	0	0,01	0,11	0,19	0,04	0	0,01	0,01	0,05	0,04
2427419	0,13	0,28	0	0	0,38	0,39	0,09	0,03	0,07	0,08	0,12	0,16
2436450	0,15	0,26	0	0,24	0,18	0,11	0,15	0	0,07	0,07	0,11	0,13
2446030	0,04	0,14	0,19	0,14	0,3	0,29	0	0	0,03	0,01	0,03	0,05
2458799	0,24	0,84	0,04	0	0	0	0	0	0,02	0	0,04	0,01
2479214	0,11	0,2	0	0	0,61	0,57	0,26	0,2	0,03	0,03	0,04	0,04
2481286	0,25	0,59	0,05	0	0	0	0,05	0,03	0,12	0,07	0,14	0,09
2485680	0,27	0,57	0	0,06	0,16	0,11	0,07	0	0,02	0	0,06	0,06
2491710	0,22	0,4	0	0	0,1	0,12	0,13	0,06	0,05	0,05	0,17	0,13
2493888	0,06	0,24	0	0	0,59	0,2	0,09	0,06	0,11	0,17	0,14	0,21
2493896	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2497654	0,15	0,16	0	0	0,17	0,32	0,32	0,28	0,21	0,25	0,08	0,38
2499363	0,18	0,24	0,29	0,18	0	0	0,02	0,05	0,04	0,08	0,07	0,23
2522691	0,19	0,3	0	0	0,15	0,17	0,14	0,07	0,21	0,27	0,14	0,19
2537788	0,26	0,41	0	0	0,03	0,06	0,08	0,04	0,11	0,08	0,12	0,18
2546957	0,26	0,61	0,03	0	0,1	0,13	0	0	0,03	0,02	0,04	0,03
2550687	0,14	0,29	0,24	0,17	0,16	0,31	0	0	0,02	0	0,08	0,04
2550792	0,15	0,32	0	0	0,18	0,19	0,06	0,03	0,11	0,1	0,21	0,2
2555646	1	0,28	0	0,26	0	0	0	0,02	0	0,08	0	0,12
2562316	0,17	0,25	0,1	0,08	0,13	0,32	0	0	0	0,02	0,03	0,03
2563681	0,21	0,29	0,33	0	0	0	0,04	0,16	0,05	0,12	0,05	0,34
2568713	0,4	1	0	0	0,02	0	0,04	0	0,02	0	0,04	0
2576341	0,42	0,49	0	0	0,1	0,15	0,08	0,05	0,03	0,03	0,07	0,06
2580055	0,22	0,34	0	0	0,26	0,27	0,04	0,01	0,13	0,14	0,11	0,17
2593262	0,15	0,37	0	0	0,39	0,25	0,06	0,08	0,07	0,04	0,08	0,08
2600536	0,1	0,19	0	0,24	0,22	0,25	0,16	0	0,1	0,06	0,15	0,16
2645157	0,14	0,3	0,2	0,05	0	0	0	0,07	0,1	0,11	0,13	0,1
2651610	0,2	0,43	0,09	0,05	0	0,06	0	0	0,01	0	0,03	0,09
2653923	0,11	0,17	0	0,25	0,19	0	0,23	0,09	0,18	0,19	0,17	0,16
2678179	1	0,58	0	0	0	0	0	0,06	0	0,06	0	0,03
2678403	0,31	0,63	0	0,03	0,07	0	0,04	0	0,01	0	0,04	0,02
2687127	0,16	0,57	0,13	0,01	0,2	0,22	0	0	0,02	0,01	0,05	0,03
2688689	0,08	0,12	0	0	0,12	0,08	0,8	0,66	0,84	0,92	0,35	0,34
2691868	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2693801	0,17	0,2	0	0	0,3	0,35	0,27	0,37	0,02	0,03	0,11	0,28
2707918	0,39	0,55	0	0,03	0	0,08	0,04	0	0,04	0,04	0,06	0,04
2716097	0,12	0,19	0	0,23	0,19	0,11	0,14	0	0,03	0,06	0,13	0,14
2738368	0,17	0,24	0,27	0	0	0,09	0	0,09	0,12	0,17	0,11	0,27
2748223	0,19	0,25	0	0	0,05	0,06	0,19	0,15	0,67	0,7	0,32	0,31
2781859	0,16	0,25	0	0	0,08	0,15	0,14	0,14	0,19	0,23	0,13	0,14
2786109	0,12	0,25	0,11	0,1	0,08	0,08	0	0	0,04	0,03	0,07	0,1
2786117	0,09	0,18	0	0	0,23	0,15	0,3	0,25	0,21	0,23	0,18	0,19
2786435	0,16	0,29	0	0	0,24	0,28	0,09	0,03	0,2	0,24	0,17	0,19
2786680	0,15	0,23	0	0,27	0	0,11	0,13	0	0,19	0,13	0,13	0,15
2791722	0,19	0,34	0	0	0,17	0,23	0,08	0,05	0,04	0,05	0,17	0,15

2792141	0,25	0,36	0	0,08	0,03	0,12	0,05	0	0,04	0,04	0,07	0,06
2792176	0,18	0,31	0	0,13	0,06	0,13	0,09	0	0,09	0,05	0,1	0,08
2798298	0,33	0,43	0	0	0,06	0,1	0,03	0,02	0,07	0,07	0,12	0,14
2799758	0,07	0,13	0	0	0,46	0,57	0,18	0,16	0,07	0,07	0,1	0,19
2802783	0,12	0,21	0	0	0,17	0,25	0,3	0,22	0,1	0,11	0,15	0,21
2816210	0,04	0,08	0	0	0,56	0,53	0,39	0,39	0,34	0,37	0,37	0,4
3015408	0,14	0,18	0,07	0,14	0,09	0,46	0	0	0,07	0,06	0,04	0,04
3157245	0,19	0,33	0	0	0	0,06	0,1	0,05	0,19	0,19	0,14	0,16
3212130	0,15	0,28	0	0,13	0,1	0,1	0,11	0	0,07	0,02	0,1	0,09
3698548	0,21	0,45	0,01	0,03	0,3	0	0,01	0	0,04	0,03	0,05	0,02
4009622	0,13	0,29	0,12	0,12	0	0,15	0	0	0,01	0	0,03	0,03
4056752	0,4	0,84	0	0	0,06	0	0,05	0	0,01	0	0,03	0,03
5169976	0,2	0,27	0,24	0,16	0,28	0,3	0	0	0,02	0,03	0,01	0,03
5200105	0,17	0,44	0,13	0,08	0,15	0,25	0	0	0,1	0,01	0,04	0,01
5223962	0,15	0,17	0,19	0,12	0,3	0,6	0	0	0,03	0,02	0,02	0
5336171	0,21	0,68	0,06	0,02	0,02	0,04	0	0	0,02	0	0,03	0,02
5412447	0,1	0,16	0,27	0,24	0,16	0,11	0	0	0,1	0,1	0,1	0,14
5419662	0,24	1	0,05	0	0,01	0	0	0	0,05	0	0,06	0
6042414	0,15	0,2	0,13	0,1	0,03	0,05	0	0	0,06	0,07	0,07	0,08
6048692	0,49	1	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0,06	0
6414702	0,29	0,55	0,15	0,06	0,17	0,09	0	0	0	0	0,02	0,01
6424341	0,49	0,6	0,04	0,04	0	0,04	0	0	0	0	0,03	0,04
6483089	0,2	0,59	0	0,01	0,16	0,12	0,04	0	0,02	0	0,06	0,05
6559379	0,22	0,35	0	0,07	0,23	0,26	0,07	0	0,04	0,03	0,06	0,05
6595197	0,12	0,3	0	0	0,24	0,14	0,18	0,11	0,09	0,05	0,19	0,16
6627595	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6779522	0,12	0,19	0	0	0,5	0,43	0,14	0,14	0,05	0,05	0,03	0,14
6848710	0,08	0,17	0	0	0,54	0,27	0,19	0,24	0,05	0,07	0,04	0,24
6908268	0,19	0,37	0	0,1	0,33	0,17	0,07	0	0,04	0,02	0,04	0,04
7257406	0,11	0,23	0	0,17	0,07	0	0,24	0,1	0,1	0,1	0,21	0,21
7498810	0,08	0,18	0	0,22	0,33	0,22	0,15	0	0,07	0,07	0,15	0,26
7621442	0,12	0,39	0	0,11	0,38	0,02	0,09	0	0,03	0,02	0,11	0,09
7743068	0,13	0,18	0	0	0,11	0,11	0,16	0,26	0,14	0,14	0,2	0,37
8015899	0,15	0,17	0,16	0,29	0,12	0,13	0	0	0,03	0,02	0,04	0,09
9443665	0,14	0,23	0	0,17	0,07	0,06	0,09	0	0,07	0,11	0,12	0,26

SCRIPT – R Studio

```
library(readr)
library(readxl)
library(dplyr)
library(Benchmarking)
library(openxlsx)
library(additiveDEA)
library(tibble)
library(tidyr)
library(ggplot2)

#install.packages("corrplot")
library(corrplot)
#install.packages("caret")
library(caret)
df_merged_hospitais_lean <- read_csv("df_merged_hospitais_lean.csv")
colnames(df_merged_hospitais_lean)

df_col_adicionais <- read_excel("versao_4_20_11_24/hospitais_lea.xlsx",
                               col_types = c("text", "text", "text",
                                             "text"))
df_col_adicionais$COMPETEN <- substr(df_col_adicionais$COMPETEN, 1,
nchar(df_col_adicionais$COMPETEN) - 2)

#df_col_adicionais <- df_col_adicionais %>%
# distinct()

df_col_adicionais <- df_col_adicionais %>%
  filter(COMPETEN %in% c("2019", "2023")) %>%
  arrange(CNES, COMPETEN) %>%
  distinct(CNES, COMPETEN, .keep_all = TRUE)

#===== Criando um df só com as colunas necessárias=====
df_filtrado <- df_merged_hospitais_lean %>%
  select(CNES, ANO, REGIAO, UF, Estabelecimento, CNES_LEITOS_SUS,
HORAS_MEDICOS, HORAS_ENFERMAGEM, SIA_SIH_VALOR, Taxa_mortalidade)

df_filtrado <- df_filtrado %>%
  mutate(
    CNES = as.character(CNES),
    ANO = as.character(ANO),
    REGIAO = as.character(REGIAO),
    UF = as.character(UF)
  )

# Deixando somente os registros com o ano 2019 e 2023
df_filtrado <- df_filtrado %>%
  filter(ANO %in% c("2019", "2023"))
```

```

# Criando a coluna TAXA_SOBREVIVENCIA
df_filtrado$TAXA_SOBREVIVENCIA <- (100 - df_filtrado$Taxa_mortalidade)
df_filtrado <- subset(df_filtrado, select = -c(Taxa_mortalidade))

# Deixar somente os Cnes que estão como concluídos
cnes_concluido <-
c(2786117,7743068,2192896,2555646,2077671,2246929,7257406,2781859,2146355,208033
8,15369,

2688689,10456,7145594,2149990,2006510,2308800,2738368,6595197,27049,2334321,7621
442,5828856,7603274,2580055,9443665,

2693801,2499363,10499,2546957,10480,2436450,15407,2080583,2339196,9628,15245,2786
435,655,27022,26948,2362856,6779522,

2497654,2593262,2308762,2691841,6042414,9725,2082829,2479214,2400324,2019574,279
2141,2200473,2079798,2089327,2792176,

2232022,3980,2550792,2691868,27863,2563681,13633,2493896,2337339,2080346,5169976,
2529149,2399628,2309254,2678179,

2778718,26921,2615797,2458799,3771962,2246988,2338262,2013649,2081970,3157245,27
99758,5419662,2537788,9717,7498810,2688433,

2653923,2816210,2645157,2802783,2446030,2222043,15334,2109867,426,2329905,220659
5,7753470,2402076,2270269,6848710,2481286,

547484,2694778,8015899,2232995,2558246,2477661,2082128,2082349,2651610,2687127,2
791722,9209352,434,6559379,2491710,2716097,

2025507,2319659,2254964,2400693,2385171,10502,6627595,2605473,5336171,2296306,24
93888,2223538,6483089,2411393,2786109,2550687,

2365146,4009622,2205440,2391635,3987884,2534967,2270234,2069776,2564211,6424341,
2080273,2562316,2576341,3698548,2021064,6901743,

2600536,3859,2481073,3388301,2427419,2485680,2298120,2280183,2127989,12521,69082
68,2080028,2748223,2082527,2077396,2266474,2522691,

2010151,2163829,2001578,3210243,2526638,2119420,2171988,2678403,4056752,2287579,
2223546,5223962,2248190,2077434,2078775,2798298,

2081059,2786680,3212130,6414702,10464,2463016,2449641,5412447,25135,2707918,2237
822,2232022,6048692,5200105,2084414,2084139,3015408,
11800,2232162,2568713,2092611,2082225)
cnes_concluido <- as.character(cnes_concluido)

cnes_presentes <- unique(df_filtrado$CNES)

num_cnes_concluido <- length(unique(cnes_concluido))

```

```

num_cnes_presentes <- length(unique(cnes_presentes))
duplicados <- cnes_concluido[duplicated(cnes_concluido)]
cat("Quantidade de CNES únicos em cnes_concluido da lista da Carina:",
num_cnes_concluido, "\n")
cat("Quantidade de CNES únicos em cnes_presentes na nossa base de dados:",
num_cnes_presentes, "\n")
cat("Valores duplicados em cnes_concluido da lista da Carina:\n")
print(duplicados)

# Verificar CNES da lista da Carina que estão ausentes na nossa database
cnes_ausentes <- setdiff(cnes_concluido, cnes_presentes)
num_cnes_ausentes <- length(cnes_ausentes)
cat("Quantidade de CNES da lista da Carina que estão ausentes em df_filtrado:",
num_cnes_ausentes, "\n")
cat("CNES ausentes:\n")
print(cnes_ausentes)

# Verificar CNES da lista da Carina que estão presentes na nossa database
cnes_realmente_presentes <- intersect(cnes_concluido, cnes_presentes)
num_cnes_realmente_presentes <- length(cnes_realmente_presentes)

cat("Quantidade de CNES da lista da Carina que estão em df_filtrado:",
num_cnes_realmente_presentes, "\n")
cat("CNES presentes em ambas as listas:\n")
print(cnes_realmente_presentes)

# Deixar o df_filtrado somente com os Cnes presentes na lista da Carina
df_filtrado <- df_filtrado %>%
  filter(CNES %in% cnes_concluido)

# Exibir o número de registros filtrados
cat("Quantidade de registros no df_filtrado após a filtragem:", nrow(df_filtrado), "\n")

# Add as colunas Faixa de Leitos e NAT Juri.
df_filtrado <- df_filtrado %>%
  left_join(
    df_col_adicionais %>%
      filter(COMPETEN %in% c("2019", "2023")) %>%
      select(CNES, COMPETEN, NAT_JURIDICA_SIMPLIFICADA, FAIXA_LEITOS),
    by = c("CNES", "ANO" = "COMPETEN")
  )

num_cnes_unicos <- length(unique(df_filtrado$CNES))
cat("Quantidade de CNES únicos em df_filtrado:", num_cnes_unicos, "\n")

# Exportando o df_filtrado para u excel com o separador decimal certo e a coluna
TAXA_SOBREVIVENCIA

if (!dir.exists("versao_4_20_11_24/csv")) {
  dir.create("versao_4_20_11_24/csv")
}

```

```

}
write.csv2(df_filtrado, "versao_4_20_11_24/csv/df_filtrado.csv", row.names = FALSE)

#===== Matrix de Correlação entre as Variáveis=====
# De ambos os anos
correlation_matrix <- cor(df_filtrado[, sapply(df_filtrado, is.numeric)])

print(correlation_matrix)

corrplot(correlation_matrix, method = "number", type = "full",
          tl.col = "black", tl.srt = 45,
          col = colorRampPalette(c("blue", "orange", "red"))(500))
title("Matriz de Correlação 2019 - 2023", line = -1, adj = 0.6)

# De 2019

df_matrix_2019 <- df_filtrado[df_filtrado$ANO == 2019, ]

correlation_matrix_2019 <- cor(df_matrix_2019[, sapply(df_matrix_2019, is.numeric)])

corrplot(correlation_matrix_2019, method = "number", type = "full",
          tl.col = "black", tl.srt = 45,
          col = colorRampPalette(c("blue", "orange", "red"))(500))

title("Matriz de Correlação - 2019", line = -1, adj = 0.6)

# De 2023

df_matrix_2023 <- df_filtrado[df_filtrado$ANO == 2023, ]
correlation_matrix_2023 <- cor(df_matrix_2023[, sapply(df_matrix_2023, is.numeric)])

corrplot(correlation_matrix_2023, method = "number", type = "full",
          tl.col = "black", tl.srt = 45,
          col = colorRampPalette(c("blue", "orange", "red"))(200))

title("Matriz de Correlação - 2023", line = -1, adj = 0.6)

#===== summary=====

Summary_2019 <- df_filtrado %>%
  filter(ANO == "2019")

Summary_2023 <- df_filtrado %>%
  filter(ANO == "2023")

summary(Summary_2019 %>% select(where(is.numeric)))
summary(Summary_2023 %>% select(where(is.numeric)))

#===== Normalizando com a preProcess da caret=====
# Definindo as colunas a serem normalizadas

```

```

cols_to_normalize <- c("CNES_LEITOS_SUS", "HORAS_MEDICOS",
"HORAS_ENFERMAGEM", "SIA_SIH_VALOR", "TAXA_SOBREVIVENCIA")

# Aplicando a normalização com preProcess
preproc <- preProcess(df_filtrado[, cols_to_normalize], method = c("range"))
#df_filtrado_normalizado <- predict(preproc, df_filtrado)

df_filtrado <- predict(preproc, df_filtrado)

#===== Verificação das DMUS =====
# Verificar se cada dmU tem um registro para cada ano, excluindo as dmus quenão atendem
esse critério
ocorrencias <- df_filtrado %>%
  group_by(CNES, ANO) %>%
  summarise(ocorrencias = n(), .groups = 'drop')

print(head(ocorrencias))

if (nrow(ocorrencias) == n_distinct(df_filtrado$CNES) * n_distinct(df_filtrado$ANO)) {
  print("Cada DMU tem uma entrada para cada ano único.")
} else {
  print("Algumas DMUs podem não ter uma entrada para cada ano único.")
}

dmus_faltantes <- ocorrencias %>%
  group_by(CNES) %>%
  filter(n() != n_distinct(df_filtrado$ANO)) %>%
  distinct(CNES)

print(dmus_faltantes)

df_filtrado <- df_filtrado %>%
  filter(!(CNES %in% dmus_faltantes$CNES))

#===== Preparando os dados p o Malmquist=====
df_2019 <- df_filtrado %>%
  filter(ANO == "2019")

df_2023 <- df_filtrado %>%
  filter(ANO == "2023")

# Verifica se o número de unidades comuns é igual ao número de unidades em cada ano

common_units <- intersect(df_2019$CNES, df_2023$CNES)

if (length(common_units) == length(unique(df_2019$CNES)) &&
  length(common_units) == length(unique(df_2023$CNES))) {
  print("Todas as unidades (CNES) são comuns a ambos os anos (2019 e 2023).")
} else {
  print("Nem todas as unidades (CNES) são comuns a ambos os anos (2019 e 2023).")
}

```

```

# Mostra as unidades que estão em 2019, mas não em 2023
only_2019 <- setdiff(unique(df_2019$CNES), common_units)
print("Unidades em 2019, mas não em 2023:")
print(only_2019)

# Mostra as unidades que estão em 2023, mas não em 2019
only_2023 <- setdiff(unique(df_2023$CNES), common_units)
print("Unidades em 2023, mas não em 2019:")
print(only_2023)
}

df_2019_common <- df_2019 %>%
  filter(CNES %in% common_units)

df_2023_common <- df_2023 %>%
  filter(CNES %in% common_units)

# Verificar valores nulos e negativos em df_2019_common
cat("Verificação de valores nulos e negativos em df_2019_common:\n")
print("Valores nulos:")
print(sapply(df_2019_common, function(x) sum(is.na(x))))

cat("\nValores negativos:\n")
print(sapply(df_2019_common, function(x) sum(x < 0, na.rm = TRUE)))

# Verificar valores nulos e negativos em df_2023_common
cat("\nVerificação de valores nulos e negativos em df_2023_common:\n")
print("Valores nulos:")
print(sapply(df_2023_common, function(x) sum(is.na(x))))

cat("\nValores negativos:\n")
print(sapply(df_2023_common, function(x) sum(x < 0, na.rm = TRUE)))

#===== Malmquist =====
# Prepara as matrizes para a função malmq()
X0 <- as.matrix(df_2019_common %>% select(CNES_LEITOS_SUS, HORAS_MEDICOS,
HORAS_ENFERMAGEM))
Y0 <- as.matrix(df_2019_common %>% select(SIA_SIH_VALOR,
TAXA_SOBREVIVENCIA))
X1 <- as.matrix(df_2023_common %>% select(CNES_LEITOS_SUS, HORAS_MEDICOS,
HORAS_ENFERMAGEM))
Y1 <- as.matrix(df_2023_common %>% select(SIA_SIH_VALOR,
TAXA_SOBREVIVENCIA))

ID0 <- df_2019_common$CNES
ID1 <- df_2023_common$CNES

# Calcula o índice de Malmquist e exporta para um df
m <- malmq(X0, Y0, ID0, X1, Y1, ID1, RTS="vrs", ORIENTATION="out")

```

```

df_m = data.frame(
  cnes=m$id,
  m=m$m, mt=m$tc, me=m$ec,
  e00=m$e00, e01=m$e01, e10=m$e10, e11=m$e11
)

write.csv2(df_m, "versao_4_20_11_24/csv/df_malm.csv", row.names = FALSE)

dea.plot(X0, Y0, RTS="vrs", txt=TRUE)
points(X0, Y0, col="blue", pch=16)
text(X0, Y0, 1:dim(X0)[1], col="blue", adj=-1)

dea.plot(X1, Y1, RTS="vrs", txt=TRUE)
points(X1, Y1, col="red", pch=16)
text(X1, Y1, 1:dim(X1)[1], col="red", adj=-1)

dea.plot(X1, Y1, RTS="vrs", txt=FALSE)

dea.plot(X0, Y0, RTS="vrs", txt=FALSE, col="blue")
dea.plot(X1, Y1, RTS="vrs", add=TRUE, col="red", txt=FALSE)

# Carregar a biblioteca necessária
library(ggplot2)

# Dados de inputs e outputs para os dois anos
X_2019 <- as.data.frame(X0) # Inputs de 2019
Y_2019 <- as.data.frame(Y0) # Outputs de 2019
X_2023 <- as.data.frame(X1) # Inputs de 2023
Y_2023 <- as.data.frame(Y1) # Outputs de 2023

# Adicionar os nomes das colunas (se necessário)
colnames(X_2019) <- paste0("Input", 1:ncol(X_2019))
colnames(Y_2019) <- paste0("Output", 1:ncol(Y_2019))
colnames(X_2023) <- paste0("Input", 1:ncol(X_2023))
colnames(Y_2023) <- paste0("Output", 1:ncol(Y_2023))

# Combinar os dados em um único data frame para cada ano
df_2019 <- data.frame(X_2019, Y_2019, Ano = "2019")
df_2023 <- data.frame(X_2023, Y_2023, Ano = "2023")
# Unir os dados dos dois anos
df_combined <- rbind(df_2019, df_2023)

# Gráfico das Fronteiras de Eficiência
ggplot() +
  geom_point(data = df_2019, aes(x = Input1, y = Output1), color = "blue", size = 2, alpha =
0.7) +
  geom_point(data = df_2023, aes(x = Input1, y = Output1), color = "red", size = 2, alpha =
0.7) +
  geom_smooth(data = df_2019, aes(x = Input1, y = Output1), method = "loess", se = FALSE,
color = "blue", linetype = "dashed", size = 1, show.legend = TRUE) +

```

```

geom_smooth(data = df_2023, aes(x = Input1, y = Output1), method = "loess", se = FALSE,
color = "red", linetype = "solid", size = 1, show.legend = TRUE) +
labs(
  title = "Fronteiras de Eficiência para 2019 e 2023",
  x = "Inputs (Recursos)",
  y = "Outputs (Resultados)",
  color = "Ano"
) +
theme_minimal() +
theme(legend.position = "bottom") +
scale_color_manual(values = c("blue", "red"))

#==== Tabelão juntando as informações do malm com a database
# tabelao <- df_filtrado %>%
# left_join(df_m %>%
#   select(cnes, m, mt, me, e00, e01, e10, e11),
#   by = c("CNES" = "cnes"))
#
# num_cols <- tabelao[sapply(tabelao, is.numeric)]
# result <- data.frame(
#   Column = names(num_cols),
#   NaN_Count = sapply(num_cols, function(x) sum(is.nan(x))),
#   NA_Count = sapply(num_cols, function(x) sum(is.na(x))),
#   NegInf_Count = sapply(num_cols, function(x) sum(x == -Inf, na.rm = TRUE))
# )

#==== Df para gerar os gráficos do malm
df_m_selected <- df_m %>%
  select(cnes, m, mt, me)

count_special_values <- function(df) {
  num_cols <- df[sapply(df, is.numeric)]

  result <- data.frame(
    Column = names(num_cols),
    NaN_Count = sapply(num_cols, function(x) sum(is.nan(x))),
    NA_Count = sapply(num_cols, function(x) sum(is.na(x))),
    NegInf_Count = sapply(num_cols, function(x) sum(x == -Inf, na.rm = TRUE))
  )
  return(result)
}

tbl_nan_inf_1 <- count_special_values(df_m_selected)

print_cnes_ano_with_special_values <- function(df) {
  num_cols <- df[sapply(df, is.numeric)]
  rows_with_special_values <- df[apply(num_cols, 1, function(x) any(is.nan(x) | is.na(x) | x
== -Inf)), ]
  result <- rows_with_special_values[, c("CNES", "ANO")]
  return(result)
}

```

```

}

print_cnes_with_special_values <- function(df) {
  num_cols <- df[sapply(df, is.numeric)]
  rows_with_special_values <- df[apply(num_cols, 1, function(x) any(is.nan(x) | is.na(x) | x
== -Inf)), ]
  result <- rows_with_special_values[, c("cnes")]
  return(result)
}

special_values_cnes_ano_1 <- print_cnes_with_special_values(df_m_selected)

cat("\n\nCnes com valores Nan ou NA no df do malmquist:\n")
print(special_values_cnes_ano_1)

df_m_selected <- df_m_selected %>%
  filter(!cnes %in% c("13633", "2084139"))
#Seleciona apenas o primeiro registro por CNES
df_filtrado_unique <- df_filtrado %>%
  group_by(CNES) %>%
  slice(1) %>%
  ungroup()

df_m_selected <- df_m_selected %>%
  left_join(df_filtrado_unique %>%
    select(CNES, NAT_JURIDICA_SIMPLIFICADA, FAIXA_LEITOS, REGIAO,
UF),
  by = c("cnes" = "CNES"))

write.csv2(df_m_selected, "versao_4_20_11_24/csv/df_malm_limpo.csv", row.names =
FALSE)

num_cnes_unicos_malm <- length(unique(df_m_selected$cnes))
cat("Quantidade de CNES únicos em df_filtrado:", num_cnes_unicos_malm, "\n")

colnames(df_m_selected)

media_por_regiao <- df_m_selected %>%
  group_by(REGIAO) %>%
  summarize(
    media_m = mean(m),
    media_me = mean(me),
    media_mt = mean(mt)
  )

media_por_regiao_long <- media_por_regiao %>%
  pivot_longer(cols = starts_with("media_"),
    names_to = "Variavel",
    values_to = "Media") %>%
  mutate(Variavel = gsub("media_", "", Variavel))

```

```

#== Gráfico de colunas de média dos índices por região
grafico_media_por_regiao <- ggplot(media_por_regiao_long, aes(x = REGIAO, y = Media,
fill = Variavel)) +
  geom_bar(stat = "identity", position = "dodge") +
  labs(title = "Escores Médios dos Índices de Malmquist por Região", x = "", y = "") +
  scale_fill_manual(values = c("skyblue", "orange", "lightgreen"), labels = c("Produtividade",
"Eficiência", "Mudança Tecnológica"),
name = "Índice") +
  theme_minimal() +
  theme(
    axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold")
  )

```

```
print(grafico_media_por_regiao)
```

```

#== Gráficos de Pizza de cada Região mostrando a melhora ou piora de m
df_m_selected <- df_m_selected %>%
  mutate(
    Produtividade_Status = case_when(
      m > 1 ~ "Avanço",
      m < 1 ~ "Piora",
      TRUE ~ "Sem Mudança"
    )
  )

```

```

# Calcular a proporção de cada categoria (Avanço, Piora) por região
produtividade_por_regiao <- df_m_selected %>%
  group_by(REGIAO, Produtividade_Status) %>%
  summarise(Contagem = n()) %>%
  ungroup() %>%
  group_by(REGIAO) %>%
  mutate(Proporcao = Contagem / sum(Contagem) * 100)

```

```

# Gráficos de pizza para cada região
grafico_pizza_por_regiao <- produtividade_por_regiao %>%
  ggplot(aes(x = "", y = Proporcao, fill = Produtividade_Status)) +
  geom_bar(stat = "identity", width = 1) +
  coord_polar(theta = "y") +
  facet_wrap(~ REGIAO) +
  labs(title = "Distribuição de Avanços e Piora na Produtividade por Região") +
  scale_fill_manual(values = c("lightgreen", "salmon", "skyblue"), labels = c("Avanço",
"Piora", "Sem Mudança"),
name = "Status") +
  theme_minimal() +
  theme(
    axis.text.x = element_blank(),
    axis.title = element_blank(),
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold")
  )

```

```

)

print(grafico_pizza_por_regiao)

#== Gráfico de dispersão entre m (Produtividade) e me (Eficiência) por Faixa de Leitos

grafico_scatter <- ggplot(df_m_selected, aes(x = m, y = me)) +
  geom_point(aes(color = FAIXA_LEITOS, shape = FAIXA_LEITOS), size = 8, alpha = 0.6)
+
  labs(title = "Relação entre Produtividade e Eficiência por Faixa de Leitos nos Hospitais",
       x = "Produtividade", y = "Eficiência") +
  theme_minimal() +
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold"),
    axis.text.x = element_text(hjust = 1)
  ) +
  scale_shape_manual(values = c(16, 17, 18, 19))
print(grafico_scatter)

# == Gráfico de linhas de Eff por Regiao e NAT jurid
media_por_regiao_e_natureza <- df_m_selected %>%
  group_by(REGIAO, NAT_JURIDICA_SIMPLIFICADA) %>%
  summarise(media_me = mean(me)) %>%
  ungroup()

# Gráfico de linhas
grafico_linhas <- ggplot(media_por_regiao_e_natureza, aes(x = REGIAO, y = media_me,
color = NAT_JURIDICA_SIMPLIFICADA, group = NAT_JURIDICA_SIMPLIFICADA)) +
  geom_line(size = 1) +
  geom_point(size = 3) +
  labs(
    title = "Média de Eficiência por Região e Natureza Jurídica",
    x = "",
    y = "Média de Eficiência",
    color = "Natureza Jurídica"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold")
  )
)

print(grafico_linhas)

# == Gráfico de linhas de Eff por Regiao e FAIXA_LEITOS

# Calcular a média de 'me' por 'REGIAO' e 'FAIXA_LEITOS'
media_por_regiao_e_faixa <- df_m_selected %>%
  group_by(REGIAO, FAIXA_LEITOS) %>%
  summarise(media_me = mean(me)) %>%

```

```

ungroup()

# Gráfico de linhas
grafico_linhas_faixa <- ggplot(media_por_regiao_e_faixa, aes(x = REGIAO, y = media_me,
color = FAIXA_LEITOS, group = FAIXA_LEITOS)) +
  geom_line(size = 1) +
  geom_point(size = 3) +
  labs(
    title = "Média de Eficiência por Região e Faixa de Leitos",
    x = "",
    y = "Média de Eficiência",
    color = "Faixa de Leitos"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold")
  )

print(grafico_linhas_faixa)

#=====Dea SBM =====
colunas <- c('CNES','SIA_SIH_VALOR',
'TAXA_SOBREVIVENCIA','CNES_LEITOS_SUS', 'HORAS_MEDICOS',
'HORAS_ENFERMAGEM')

df_sbm_2019 <- df_2019_common[colunas]
df_sbm_2023 <- df_2023_common[colunas]

df_sbm_2019_indexed <- df_sbm_2019 %>%
  column_to_rownames(var = "CNES")

df_sbm_2023_indexed <- df_sbm_2023 %>%
  column_to_rownames(var = "CNES")

resultado_2019 <- dea.sbm(df_sbm_2019[, -1], noutput = 2, rts = 2)
resultado_2023 <- dea.sbm(df_sbm_2023[, -1], noutput = 2, rts = 2)

resultado_2019$CNES <- df_sbm_2019$CNES
sbm_2019 <- resultado_2019[, c('CNES', 'eff')]

resultado_2023$CNES <- df_sbm_2023$CNES
sbm_2023 <- resultado_2023[, c('CNES', 'eff')]

write.csv2(resultado_2019, "versao_4_20_11_24/csv/sbm_2019.csv", row.names = FALSE)
write.csv2(resultado_2023, "versao_4_20_11_24/csv/sbm_2023.csv", row.names = FALSE)

resultado_2019$ANO <- '2019'
resultado_2023$ANO <- '2023'

```

```

sbm_final <- rbind(resultado_2019, resultado_2023)

resultado_completo <- merge(df_filtrado, sbm_final[, c('CNES', 'ANO', 'eff', 'slack.y1',
'slack.y2', 'slack.x1', 'slack.x2', 'slack.x3')],
by = c('CNES', 'ANO'), all.x = TRUE)

write.csv2(resultado_completo, "versao_4_20_11_24/csv/tabelao_sbm.csv", row.names =
FALSE)

num_cnes_unicos_sbm <- length(unique(resultado_completo$CNES))
cat("Quantidade de CNES únicos em df_filtrado:", num_cnes_unicos_sbm, "\n")
#===== Tabela com NA, NaN e -Inf
=====

tbl_nan_inf <- count_special_values(resultado_completo)

#===== Gráficos =====
colnames(resultado_completo)
#
# resultado_filtrado <- resultado_completo[, c("CNES", "ANO", "REGIAO",
# "UF", "Estabelecimento",
# "CNES_LEITOS_SUS",
# "HORAS_MEDICOS",
# "HORAS_ENFERMAGEM",
# "SIA_SIH_VALOR",
# "TAXA_SOBREVIVENCIA",
# "NAT_JURIDICA_SIMPLIFICADA",
# "FAIXA_LEITOS",
# "m", "mt", "me", "eff")]
#
# tbl_nan_inf_2 <- count_special_values(resultado_filtrado)

# Limpando as linhas com NA e NaN

special_values_cnes_ano <- print_cnes_ano_with_special_values(resultado_completo)
print(special_values_cnes_ano)

resultado_completo_cleaned <- resultado_completo[!resultado_completo$CNES %in%
special_values_cnes_ano$CNES, ]

write.csv2(resultado_completo_cleaned,
"versao_4_20_11_24/csv/resultado_completo_cleaned.csv", row.names = FALSE)

num_cnes_unicos_sbm_2 <- length(unique(resultado_completo_cleaned$CNES))
cat("Quantidade de CNES únicos em resultado_completo_cleaned:",
num_cnes_unicos_sbm_2, "\n")

```