

**LUCAS DA CUNHA BRAGA**  
**CARLOS EDUARDO BARBOSA SANTOS**

Análise de eficiência dos sistemas de saúde da América Latina e Caribe (LAC)  
através da metodologia de *Data Envelopment Analysis* - DEA

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL  
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Orientador: Prof. Igor Tona Peres  
Co-orientador: Prof. Leonardo dos Santos Lourenço Bastos

Departamento de Engenharia Industrial  
Rio de Janeiro, 17 de novembro de 2023

## **Agradecimentos - Lucas da Cunha Braga**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que nunca me abandonou e me mostrou o caminho até aqui. Sua real presença na capela do Pilotis do Leme foi meu refúgio antes e depois das provas difíceis, quando eu devia tomar alguma decisão importante na minha carreira, ou quando estava passando por qualquer dificuldade na minha vida. Seu auxílio foi minha força para chegar ao final da caminhada.

Agradeço aos meus pais, que incentivaram ao longo de toda minha trajetória acadêmica, investindo não apenas dinheiro na minha formação, mas desde o início do colégio investindo também tempo, atenção e esforços para que eu alcançasse os melhores resultados. Tenho plena convicção que se não fosse por esse cuidado, eu não seria metade de quem sou hoje.

Agradeço à Júlia, minha parceira que me inspira cada dia a ser melhor e a alçar vôos mais longínquos, que desde o início da elaboração deste trabalho foi essencial para me ajudar a tomar as decisões corretas e a produzir um bom resultado, sabendo mais do que eu mesmo o quanto esta conclusão significa para mim.

Agradeço ao professor Igor, que desde o início do processo esteve sempre presente e disponível, nos ajudando a chegar a este resultado. Agradeço também ao professor Leonardo e ao professor Manuel, que ofereceram um apoio valioso e crucial para a realização deste trabalho.

Agradeço às pessoas que conheci ao longo do caminho e que me ajudaram a passar pelo curso, em especial à Maria Luiza, Fernando e Victor Hugo, pessoas que admiro e que tive o prazer de dividir trabalhos e estudos, e tenho o prazer ainda maior de chamar de amigos.

Por fim, agradeço à PUC-Rio, que me ofereceu todos os recursos para que eu tivesse a melhor formação possível. Ao entrar na universidade em 2019, eu tinha dúvidas se fiz a escolha certa, e hoje posso dizer com tranquilidade que não poderia ser melhor.

## **Agradecimentos - Carlos Eduardo Barbosa Santos**

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é analisar a eficiência dos sistemas de saúde de 23 países latino-americanos e caribenhos empregando a metodologia DEA. Como variáveis *input*, utilizaram-se gastos com saúde em porcentagem do PIB, contagem de leitos hospitalares por 1000 habitantes, médicos por 1.000 habitantes e enfermeiros por 1.000 habitantes. Como variáveis *output*, utilizaram-se a expectativa de vida ao nascer e taxa de mortalidade infantil. São realizadas análises de sensibilidade sobre alguns parâmetros do modelo para entender como estas influenciam, assim como regressões lineares para entendimento da relação entre as variáveis. Por fim, é realizada uma análise da evolução temporal das eficiências, de modo a encontrar tendências e padrões dentro da amostra. O modelo DEA classificou 13 dos 23 países analisados como eficientes, dentro dos quais 10 se mantiveram neste nível ao longo dos 10 anos da análise temporal. O maior impacto das análises de sensibilidade ocorreu com a eliminação de uma variável input, gerando mudanças significativas em 3 DMUs.

## **Palavras-chave**

Sistemas de saúde; eficiência; DEA;

## **Abstract**

The goal of this work is to analyze the efficiency of the healthcare systems in 23 Latin American and Caribbean countries, employing the DEA methodology. As input variables, healthcare expenditure as a percentage of GDP, hospital beds per 1000 inhabitants, physicians per 1000 inhabitants, and nurses per 1000 inhabitants were used. As output variables, life expectancy at birth and infant mortality rate were used. Sensitivity analyses are conducted on some model parameters to understand their influence, as well as linear regressions to comprehend the relationship between the variables. Finally, a temporal analysis of efficiencies is carried out to identify trends and patterns within the sample. The DEA model classified 13 out of the 23 analyzed countries as efficient, among which 10 remained at this level throughout the 10 years of the temporal analysis. The greatest impact from the sensitivity analyses occurred with the elimination of one input variable, resulting in significant changes in 3 DMUs.

## **Key-words**

Healthcare systems; efficiency; DEA;

## Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introdução</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Referencial Teórico</b>  | <b>3</b>  |
| 2.1. Eficiência de Sistemas de Saúde   | 3         |
| 2.2. Data Envelopment Analysis - DEA   | 4         |
| 2.3. Aplicações de DEA no contexto da Saúde  | 6         |
| <b>3. Metodologia</b>  | <b>9</b>  |
| 3.1. Materiais   | 9         |
| 3.2. Métodos   | 12        |
| <b>4. Resultados</b>   | <b>15</b> |
| 4.1 Seleção do ano e variáveis   | 15        |
| 4.2 Análises de sensibilidade  | 18        |
| 4.3 Regressão linear para 2017   | 19        |
| 4.4 Evolução temporal  | 20        |
| <b>5. Discussão</b>  | <b>22</b> |
| <b>6. Conclusão</b>  | <b>27</b> |
| <b>7. Referências Bibliográficas</b>   | <b>28</b> |
| <br>   |           |
| <b>APÊNDICE I - Eficiência de países LAC com Suíça</b>   | <b>30</b> |
| <b>APÊNDICE II - Eficiência com variável única de staff</b>  | <b>31</b> |
| <b>APÊNDICE III - Eficiência sem outliers extremos</b>   | <b>32</b> |
| <b>APÊNDICE IV - Eficiência sem outliers moderados</b>   | <b>33</b> |
| <b>APÊNDICE V - Eficiência de países entre percentis 5 e 95 e de países apenas 1 vez fora do intervalo</b> | <b>34</b> |
| <b>APÊNDICE VI - Eficiência de países exclusivamente entre percentis 5 e 95</b>                            | <b>35</b> |

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Fronteira estocástica de eficiência.....           | 5  |
| Figura 2 - Fronteiras de eficiência em modelos CRS e VRS..... | 7  |
| Figura 3 - Correlograma das variáveis.....                    | 12 |

## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Variáveis do estudo.....                | 12 |
| Tabela 2 - Análise descritiva das variáveis.....   | 16 |
| Tabela 3 - Dados utilizados para análise-base..... | 17 |
| Tabela 4 - Resultados da análise no ano-base.....  | 18 |
| Tabela 5 - Resultados da regressão linear.....     | 21 |
| Tabela 6 - Evolução temporal da eficiência.....    | 21 |

## Lista de Gráficos

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Quantidade de países com dados completos por ano.....  | 11 |
| Gráfico 2 - Evolução temporal de <i>inputs</i> (azul) e <i>outputs</i> (vermelho) de país eficiente.....             | 25 |
| Gráfico 3 - Evolução temporal de <i>inputs</i> (azul) e <i>outputs</i> (vermelho) de país ineficiente.....           | 25 |
| Gráfico 4 - Evolução temporal de <i>inputs</i> (azul) e <i>outputs</i> (vermelho) de país com alteração notável..... | 26 |

## 1. Introdução

Os serviços de saúde são peça fundamental para o funcionamento da sociedade. Com o passar dos anos, estes serviços receberam investimentos pesados para aumentar seu grau de complexidade e sofisticação através da modernização de equipamentos e de medicamentos, e também para serem capazes de alcançar a maior parte da população mundial. Em 2020, de acordo com dados do Banco Mundial, o valor total deste investimento no mundo chegou a pouco mais de 9 trilhões de dólares - cerca de 11% do PIB mundial. Ainda que esse número tenha sofrido uma variação maior no ano em questão devido ao início da pandemia do COVID-19, os gastos com saúde per capita aumentaram em 70% desde o início da década de 90 até 2010 (OCDE, 2010).

Tendo em vista a relevância desse assunto para a sociedade e para os governos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) – agência da Organização das Nações Unidas (ONU) especializada em saúde – produz estudos, relatórios e diretrizes para entender qual a situação da saúde no mundo, como ela evolui ao longo dos anos e como enfrentar os desafios atuais. Em 2000, no seu “Relatório Mundial de Saúde” – documento publicado anualmente pela instituição fornecendo discussões e diretrizes sobre um tópico específico – a OMS escolheu o tema “Sistemas de Saúde: Melhorando o Desempenho” para ser desenvolvido. Este foi um movimento importante para o mundo reconhecer a necessidade de não apenas investir capital bruto na área da saúde, mas fazê-lo de forma estratégica e inteligente. Isso se aplica principalmente no caso de países menos desenvolvidos, uma vez que o resultado de não alcançar todo o potencial de performance nesse segmento é a ocorrência de mortes evitáveis e vidas encurtadas (OMS, 2000).

De início, a OMS discute neste relatório que, dada a complexidade e abrangência do termo “serviços de saúde”, faz mais sentido classificá-los como sistemas, definindo então o termo “sistemas de saúde” como todas as pessoas e ações cujo propósito principal é promover uma melhora na saúde. Essa definição abrange desde serviços formais de saúde (atendimento médico), passando por técnicas tradicionais de cuidado, e chegando até a educação relacionada à saúde (OMS, 2000). Todas essas práticas, de acordo com a OMS, colaboram em algum nível para a melhora da saúde da população de um país. Além de fornecer definições e discussões acerca do tema, o relatório se propôs a analisar a performance dos sistemas de saúde de países membros, concluindo que uma grande parte era pouco eficiente.

Ainda que a metodologia dessa análise tenha sofrido críticas (Szwarcwald, 2008), outros estudos já comprovaram a ineficiência de muitos sistemas de saúde no mundo (destaque para a nota de 2010 do departamento econômico da OCDE, que afirma que há espaço para todos os países pesquisados melhorarem a eficiência dos gastos em saúde, e que nesse caso, a expectativa de vida ao nascer desses países poderia aumentar em até dois anos mantendo-se os mesmos gastos (OCDE, 2010).

Para Farrell (1957), a eficiência de uma firma é dada pelo quão bem sucedida ela é ao alcançar resultados (*outputs*) com base em determinados recursos alocados (*inputs*), ou alternativamente pela minimização desses recursos para alcançar determinado resultado. Os formuladores de políticas em todo o mundo, tanto em países de alta renda (HIC) quanto em países de renda baixa e média (LMICs), devem se manter atentos à eficiência de seus sistemas de saúde, a fim de otimizar a realização de seus objetivos declarados e promover a sustentabilidade financeira a longo prazo em direção à cobertura total de saúde para seus cidadãos. Monitorar a eficiência de sistemas através de indicadores de desempenho é, portanto, uma dimensão fundamental da avaliação do desempenho de organizações de saúde.

Ao comparar a eficiência do sistema de saúde entre países, deve-se entender quais as variáveis a serem utilizadas, ou seja, qual o material em cima do qual será julgada a eficiência, além do método através do qual essa eficiência será calculada. Uma metodologia que vêm sendo muito utilizada desde meados da década de 1980 para este tipo de análise é o *Data Envelopment Analysis* (DEA), que produz uma fronteira eficiente de países com base em uma amostra conhecida (Hollingsworth et al., 1999). É particularmente usada nesses estudos por ser capaz de processar múltiplos *inputs* e *outputs* com facilidade, o que é desejável para os estudos em saúde (Kohl, 2018).

As perguntas que buscamos responder são:

- Quais países na América Latina possuem sistema de saúde eficiente em relação aos demais?
- Quais são os fatores que mais contribuem para que esses países sejam considerados eficientes?
- Houve mudanças significativas na eficiência destes países ao longo de 10 anos?

Com isso, podemos entender este estudo como uma pesquisa exploratória, que possui como objetivo realizar uma análise comparativa de eficiência dos sistemas de saúde de 23 países da América Latina. Para tal, dividimos este trabalho da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta o referencial teórico da utilização de DEA e outras metodologias em problemas de eficiência na área da saúde; o capítulo 3 traz uma descrição da base de dados analisada e da

metodologia aplicada no trabalho; o capítulo 4 apresenta os resultados da aplicação da metodologia de análise de eficiência nos países da América Latina; o capítulo 5 promove uma discussão dos resultados; o capítulo 6 traz uma conclusão para o trabalho.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Eficiência de Sistemas de Saúde

Ao realizar comparações entre eficiências, muitos estudos utilizam metodologias que envolvem a geração de fronteiras eficientes. Essa ferramenta permite analisar se determinada DMU (*Decision Making Unit*, ou Unidade Tomadora de Decisão, que no nosso estudo são os países latino-americanos) está mais ou menos próxima do resultado esperado dado seu nível de investimento, ou vice-versa, como mencionado na introdução. A Figura 1 mostra um exemplo de fronteira eficiente, no qual os países mais próximos da curva apresentam resultados dentro do esperado, levando em consideração seus níveis de investimento

Hollingsworth et al. (1999) define duas principais decisões para se construir uma fronteira eficiente: se o modelo será paramétrico ou não, e se será determinístico ou não. Modelos determinísticos presumem que a distância de uma DMU para a fronteira eficiente se dá por sua ineficiência, enquanto não-determinísticos (ou estocásticos) consideram que outros fatores, como erros, podem explicar essa distância (Hollingsworth et al., 1999). Em modelos paramétricos, a fronteira eficiente é previamente definida pelo usuário, enquanto no caso de modelos não-paramétricos essa fronteira é gerada a partir das DMUs com melhores resultados (Antunes, 2020).

Utilizaremos neste estudo a metodologia do *Data Envelopment Analysis*, ou DEA, que se classifica como um modelo de fronteira eficiente determinístico e não-paramétrico. Esta propriedade é fundamental para os resultados que buscamos, pois permite que o parâmetro de eficiência seja uma DMU da própria amostra. Ao trabalhar no contexto latino-americano e caribenho, entendemos que o subdesenvolvimento de alguns países da amostra poderiam posicioná-los automaticamente longe da fronteira de eficiência, enquanto buscamos entender se esses Estados apresentam boas práticas no uso de seus recursos, independente de seu nível absoluto.

Além disso, a escolha de realizar este trabalho com um modelo DEA passa por outras vantagens desse método. Em especial, sua capacidade de lidar com múltiplos *inputs* e *outputs* ao mesmo tempo, levando a uma análise mais abrangente (Charnes et al., 1994). Além disso, é um método simples de ser utilizado, uma vez que não requer a especificação de uma função matemática de produção ou outras determinações, como seria o caso de modelos paramétricos, como o método COLS (paramétrico e determinístico) e o SFA (paramétrico e

estocástico) (Pelone et al., 2014), além de trazer explicações e comparações para as DMUs ineficientes (Charnes et al., 1994).

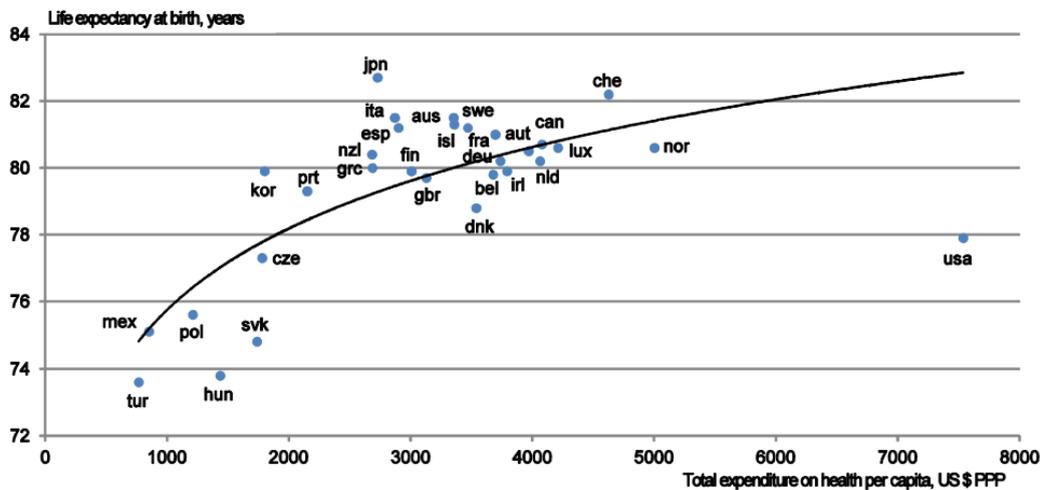


Figura 1 - Fronteira estocástica de eficiência (Fonte: OCDE, 2010)

## 2.2. Data Envelopment Analysis - DEA

O DEA é um método de programação linear proposto em 1978, que busca comparar a eficiência de diversas DMUs a partir do estudo da fronteira de eficiência (Antunes, 2020). A análise é feita a partir da definição de uma fronteira relativa, que é composta pelas DMUs com os melhores resultados.

No modelo DEA proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a eficiência de cada unidade produtiva é calculada pela razão entre a soma ponderada de suas saídas (*outputs*) com a soma ponderada de suas entradas (*inputs*). Os pesos são definidos maximizando a função objetivo, com as restrições ditando que a eficiência de cada DMU deve ser menor ou igual a 1, e que os pesos devem ser valores maiores ou iguais a zero.

$$\text{Max } \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}} \quad (1)$$

s.t.

$$\frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_i v_i x_{ij}} \leq 1 \quad \forall j \quad (2)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, i \quad (3)$$

Onde:

$u_r$  : peso de cada *output* r

$v_i$  : peso de cada *input* i

$x_{ij}$  : quantidade de cada *input* i em cada DMU j

$y_{rj}$  : quantidade de cada *output* r em cada DMU j

Para linearizar o modelo e evitar múltiplas soluções, Antunes (2020) apresenta o modelo “multiplicador”, o que transforma o problema em uma questão de programação linear, definindo o denominador da função objetivo igual a 1, e passando a soma ponderada dos inputs para o lado direito da restrição. Então, o DEA é transformado do seu primal para o dual para que a eficiência seja um resultado da minimização dos inputs enquanto mantém os outputs fixos. Essa solução é chamada de “envelope”, que pode ser descrita conforme equações abaixo:

$$\text{Min } h \quad (4)$$

s.t.

$$hx_{i0} \geq \sum_j m_j x_{ij} \quad \forall i \quad (5)$$

$$y_{r0} \leq \sum_j m_j y_{rj} \quad \forall r \quad (6)$$

$$m_j \geq 0 \quad \forall j \quad (7)$$

Onde:

h: resultado de eficiência da DMU

$m_j$  : peso de cada DMU

$x_{ij}$  : quantidade de cada *input* i em cada DMU j

$y_{rj}$  : quantidade de cada *output* r em cada DMU j

Dado o modelo, há duas formas mais comuns de maximizar a eficiência. A primeira delas é manter as saídas constantes e minimizar as entradas, configurando um modelo orientado a entrada (*input-oriented*) (Antunes, 2020). Nesse caso, as DMUs fora da fronteira terão suas eficiências com valores menores que 0. Já o outro caso é fixar as entradas e maximizar as saídas, que representa um modelo orientado a saída (*output-oriented*) (Antunes, 2020).

O modelo proposto Charnes, Cooper e Rhodes (1978) assume também um retorno constante de escala (CRS), o que significa que variações nas entradas causam variações proporcionais nas saídas. Outra possibilidade é considerar um retorno variável de escala (VRS), proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), o que indica ao modelo que variações nas entradas podem ter retornos crescentes, constantes ou decrescentes nas saídas. No modelo VRS, há mais uma restrição que coloca a soma dos pesos igual a 1. O resultado dessa diferença é que todas as DMUs eficientes no modelo CRS continuam eficientes em um modelo VRS, mas o contrário nem sempre é verdade, como ilustrado na Figura 2.

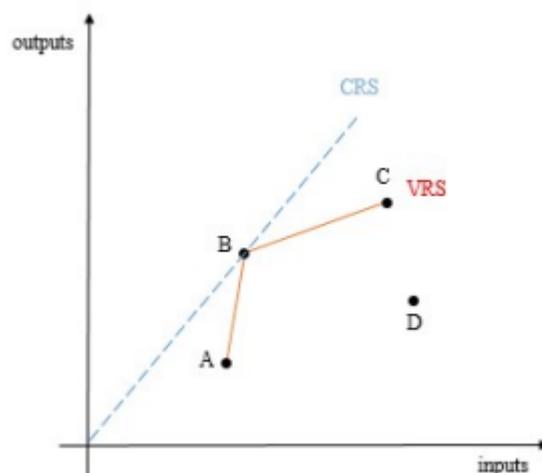


Figura 2 - Fronteiras de eficiência em modelos CRS e VRS (Fonte: Antunes, 2020)

Uma limitação do modelo DEA é que seus resultados podem ser influenciados por erros de medição ou ruído estatístico (Charnes, 1978). Como o DEA não é estocástico, o modelo vai atribuir os desvios à fronteira à ineficiência da DMU, embora esses desvios possam ter ocorrido por conta desses erros.

### 2.3. Aplicações de DEA no contexto da Saúde

Pelone et al. (2014), ao estudarem a evolução de estudos com a aplicação de DEA, demonstram um crescimento a partir de 2011 no número de publicações no contexto de atenção primária à saúde. A partir disso, trazemos alguns trabalhos relevantes sobre o tema de sistemas de saúde, e sobre os quais nos baseamos para elaborar este estudo.

Top et al. (2020) produziu um estudo recente aplicando um modelo de DEA com países do continente africano, no qual adotou um retorno variável à escala e considerou duas variáveis de *output*, expectativa de vida e taxa de mortalidade infantil, e seis variáveis de *input*: percentual do PIB investido em saúde, leitos hospitalares, enfermeiros por 1000 habitantes, médicos por 1000 habitantes e taxa de desemprego. Adicionalmente, também considerou o índice de Gini como variável de *input*, e descobriu através de uma regressão de Tobit que esta variável e enfermeiros por 1000 habitantes são as variáveis que mais impactam na ineficiência de 15 dos 36 países africanos selecionados (Top et al., 2020).

Çetin e Bahce (2016) verificaram a eficiência de 34 países da OCDE através de um modelo de CRS. Considerou-se médicos e leitos por 1000 habitantes e gastos em saúde per capita como variáveis *input*. Como *outputs*, considerou-se expectativa de vida e taxa de mortalidade infantil. Em um segundo momento, ao realizar uma análise descritiva das variáveis *output*, tiraram oito países do cálculo, por serem considerados outliers. Na análise final, encontraram que 11 dos 16 países estudados possuem sistemas de saúde considerados eficientes.

Lee (2016) comparou a eficiência de 28 países com competitividade global construindo dois cenários, cada um com uma das variáveis *output* utilizadas por Top et al. (2019). Além disso, para ambos os casos considerou como *input* enfermeiros por 1000 habitantes, médicos por 1000 habitantes, percentual do PIB investido em saúde e unidades de radioterapia por 1 milhão de habitantes. Para cada modelo, calculou a eficiência considerando um retorno constante à escala (CRS), um retorno variável à escala (VRS) e um modelo tipo *Scale Efficiency* (SE), que consiste em uma combinação dos dois anteriores. Para o modelo que utilizou expectativa de vida como variável *output*, 6 países foram considerados eficientes considerando CRS, e 9 considerando VRS. Para mortalidade infantil como *output*, três países foram considerados eficientes considerando CRS, e seis considerando VRS.

Seddighi et al. (2020) calculou a eficiência de 16 países do Oriente Médio, usando como variáveis de *input* número de médicos e leitos por 1000 habitantes e percentual do PIB investido em saúde, e como variáveis *output*, expectativa de vida e taxa de sobrevivência

infantil (1 - taxa de mortalidade infantil). Em sua análise, chegou à conclusão de que 10 dos 18 países possuem sistemas de saúde eficientes, sendo que alguns conseguem manter os valores de *outputs* com *inputs* menos volumosos (Seddighi et al. 2020).

Marinho et al. (2020) estudou a eficiência de países da região LAC e da OCDE através de uma metodologia de Análise de Fronteira Estocástica (*Stochastic Frontier Analysis*, ou SFA), adotando como variáveis a expectativa de vida ao nascer, a taxa de sobrevivência infantil e o gasto em saúde per capita. Os resultados apontam para uma baixa eficiência do Brasil, condizentes com os níveis igualmente baixos de seus indicadores de saúde; sua posição no ranking geral de eficiência considerando países da OCDE, no entanto, não foi tão baixa.

Antunes (2020) propôs três modelos de DEA para avaliar UTIs no Brasil, cada um com variáveis de *input* diferentes, de acordo com o foco do modelo (equipe médica, estrutura do hospital e capacidade de atendimento do hospital). No primeiro caso, utilizou-se número de médicos, enfermeiros, técnicos e fisioterapeutas; no segundo, número de leitos e carga horária da equipe de médicos e enfermeiros; no terceiro, a taxa de ocupação de leitos. Em todos os casos utilizou-se a taxa de mortalidade (SMR) e taxa de utilização de recursos (SRU) como variáveis *output*. Descobriu que hospitais privados com fins lucrativos são os mais eficientes, e que UTIs grandes apresentavam melhores SMR e SRU (Antunes, 2020).

### 3. Metodologia

#### 3.1. Materiais

Este estudo aplicou um modelo DEA para comparar a eficiência dos sistemas de saúde de países da América Latina. Após analisar quais bases de dados eram mais frequentemente utilizadas para esse tipo de estudo, decidimos utilizar os dados consolidados pelo Banco Mundial. Primeiramente, fez-se um estudo das variáveis mais comumente utilizadas ao medir eficiência hospitalar de países, para decidir quais seriam utilizadas no nosso estudo. A partir das citações na seção de Referencial Teórico, percebemos que leitos hospitalares, médicos e enfermeiros por 1000 habitantes e gastos com saúde eram as variáveis mais utilizadas como *input*, e os índices expectativa de vida e taxa de mortalidade infantil costumam ser admitidos como variáveis *output*. Portanto, essas seis variáveis entraram para nossa análise.

Além destas, adicionamos inicialmente mais uma variável *input*, o IDH de cada país. Espelhando-nos no estudo de Top et al. (2020), que inclui o índice de Gini para o modelo DEA com países africanos, acreditamos que seja um dado relevante para o contexto latino-americano, dada a disparidade no desenvolvimento dos países que compõem esse grupo.

Para a coleta dos valores das variáveis, assim como na maior parte dos estudos observados e por fim de padronização, utilizamos a base de dados aberta do Banco Mundial, que oferece para cada variável uma série histórica desde 1960 até 2022 para os 42 países da América Latina e Caribe. As séries temporais de dados, apesar de padronizadas, não estão completas para a maioria dos países; ao fazer o tratamento dos dados, incorremos em três problemas principais. São esses: países com nenhum dado publicado sobre determinada variável, países sem dados recentes sobre determinada variável, e países que possuem dados faltantes na série, ou seja, apesar do último dado publicado ser recente, alguns anos intermediários não possuem nenhum valor registrado. Quando nos deparamos com esses casos, selecionamos o dado do ano mais próximo ao que estava sendo analisado.

Em seguida, selecionamos os anos dos dados mais recentes de cada país para cada variável. Observamos uma alta quantidade de valores faltantes (“N/A”), com 65 observações (19,3%), resultado dos três problemas mencionados no parágrafo anterior. O ano de 2021

aparece mais frequentemente como ano mais recente, com 89 casos (26,5%), seguido por 2020, com 46 (13,7%), e 2017, com 36 (10,7%). No total, 20 anos, além dos valores ausentes, aparecem como mais recentes, sendo o mais distante 1989.

Apesar de quase 50% dos valores serem de 2020 em diante, algumas variáveis, como médicos, enfermeiros e leitos por 1000 habitantes apresentam dados menos atualizados. Optamos por definir um ano-base para todas as variáveis com o intuito de produzir um modelo mais fidedigno aos dados reais; por isso, realizamos uma análise mais detalhada dos valores apresentados anteriormente para entender qual ano compreendia uma quantidade suficiente de Estados que divulgaram os dados de todas as variáveis escolhidas. O Gráfico 1 ilustra a quantidade de países que cumprem este critério por ano, desde 2013; percebemos que, em 2017, 23 países entram nessa categoria, enquanto no ano seguinte (2018) apenas 4 países o fizeram, valor esse que diminui até 2022. Portanto, por ser o ano mais recente e que cumpre o pré-requisito determinado, 2017 foi escolhido como ano-base do estudo.

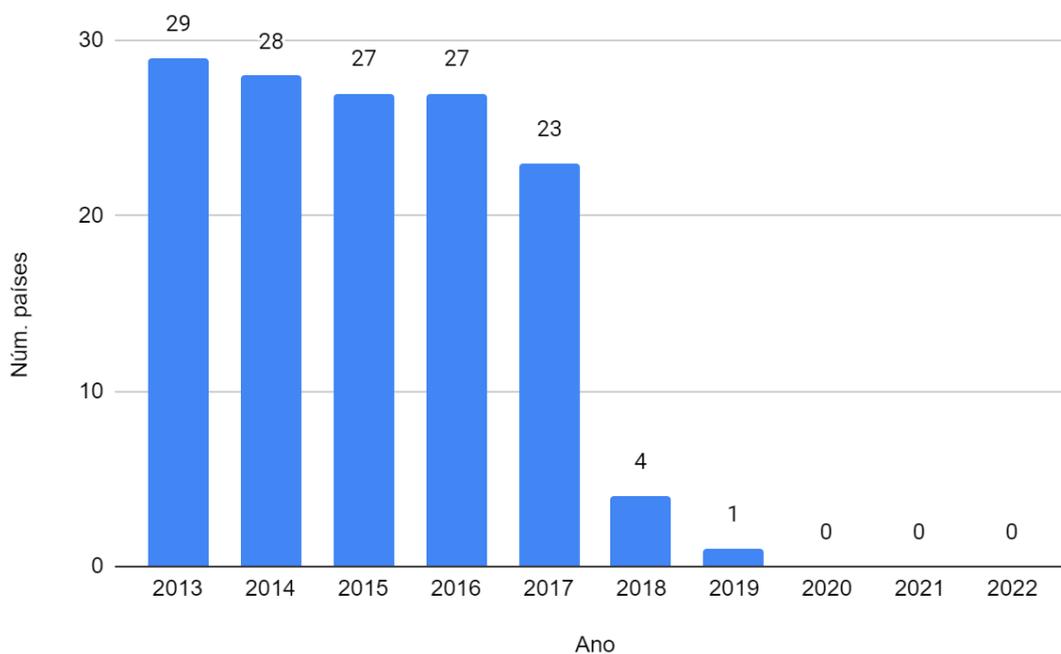


Gráfico 1 - Quantidade de países com dados completos por ano

Em seguida, realizamos uma análise de correlação entre as variáveis para verificar se todas poderiam ser utilizadas neste estudo. O correlograma a seguir revela que a variável *input* IDH possui correlação maior que 0,7 com quatro variáveis (leitos hospitalares, médicos e enfermeiros por 1000 habitantes, e expectativa de vida); isso se explica pela natureza do

IDH, que possui dentro de seu indicador componentes relacionadas a cada uma dessas outras variáveis. Portanto, por ser uma variável altamente correlacionada com as demais, e por não ser comum na bibliografia de estudos de aplicação de DEA para sistemas de saúde, optamos por removê-la de nossa análise.



Figura 3 - Correlograma das variáveis (Fonte: autoria própria)

Com isso, ficamos com uma seleção de 6 variáveis num total, divididas entre 4 para input e 2 para output, como observado na Tabela 1.

| Variável                                  | Tipo   | Abreviação |
|---|--------|------------|
| Gastos com saúde (%PIB)                   | Input  | GS         |
| Leitos hospitalares (por 1000 habitantes) | Input  | LH         |
| Médicos (por 1000 habitantes)             | Input  | MED        |
| Enfermeiros (por 1000 habitantes)         | Input  | ENF        |
| Expectativa de vida                       | Output | EV         |
| Taxa de mortalidade infantil              | Output | TMI        |

Tabela 1 - Variáveis do estudo

Importante notar que a relação entre quantidade de variáveis *input* e *output* utilizadas no estudo e DMUs é relevante e pode impactar no resultado final (Dyson, 2001). A quantidade final (4 variáveis *input* e 6 variáveis *output*) respeita o parâmetro estabelecido por Dyson (2001), que diz que o número de DMUs deve ser sempre maior ou igual ao dobro do produto entre o número de variáveis *input* e *output*.

### 3.2. Métodos

A partir desse conjunto de dados, utilizamos o método Min-Max para normalização dos dados em todas as variáveis, que consiste na distribuição dos valores da amostra entre 0 e 1, sendo 0 o valor mínimo e 1 o valor máximo, conforme pode ser visto na equação 1.

$$X_{\text{normalizado}} = \frac{X - X_{\text{MÍNIMO}}}{X_{\text{MÁXIMO}} - X_{\text{MÍNIMO}}} \quad (8)$$

Então, aplicamos o modelo DEA com diferentes parâmetros, para entender qual produz resultados mais fidedignos e próximos dos objetivos do estudo. Consideramos como parâmetro variável se o modelo era orientado a *input* ou *output*, e se possuía retorno constante à escala (CRS) ou retorno variável à escala (VRS) e obtivemos resultados para todas as combinações desses parâmetros.

Adicionalmente, incluímos análises de sensibilidade para testar a robustez da modelagem desenvolvida e entender se alguma das alterações propostas provocaria mudança significativa na fronteira de eficiência. A primeira delas foi a inclusão de um país HIC (*High Income Country*), considerado eficiente em algum estudo que tenha utilizado DEA com variáveis semelhantes às escolhidas por nós. Ao analisar o estudo de Lee (2016), a DMU Suíça foi eficiente em todos os modelos testados (modelos CRS e VRS, orientados a *input* e *output*), e por isso foi escolhida para nossa análise de sensibilidade.

Em seguida, para entender o efeito da diminuição do número de variáveis no modelo, fizemos um teste unindo as variáveis médicos por 1000 habitantes e enfermeiros por 1000 habitantes, criando uma variável única de staff médico.

Para compreender se a disparidade no desenvolvimento dos países LAC afetava o resultado do modelo, executamos o DEA excluindo outliers. Para encontrá-los, realizamos o seguinte processo para cada variável: calculamos primeiramente a amplitude interquartil (*IQR*) de cada variável (9), que consiste no intervalo entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro

quartil (Q1), que foi utilizada para encontrar os limites superiores (10) e inferiores (11). Então, elaboramos dois cenários: o primeiro no qual excluimos apenas outliers extremos ( $x = 3$ ), e o segundo no qual eliminamos também os outliers moderados ( $x = 1,5$ ).

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (9)$$

$$Limite_{superior} = Q_3 + x.IQR \quad (10)$$

$$Limite_{inferior} = Q_1 - x.IQR \quad (11)$$

Para entender melhor o efeito da desigualdade entre países latino-americanos e caribenhos, a última análise de sensibilidade que realizamos foi a eliminação de países fora do intervalo entre os percentis 5 e 95. Considerando esse critério, elaboramos dois cenários: um no qual eliminamos os países que apareceram mais de uma vez fora desse intervalo, e outro no qual eliminamos todos os países que apareceram pelo menos uma vez nesse intervalo.

A fim de entender como se diferem os países da fronteira eficiente no cenário latino-americano, calculamos indicadores da razão entre cada *input* por cada *output*, para observar quais DMUs se destacam pelo melhor uso de determinados recursos.

Por fim, realizamos duas regressões lineares para descobrir quais variáveis mais impactam nos resultados obtidos do modelo DEA. Essa ferramenta é uma das mais utilizadas de forma complementar a modelos DEA, como indicado por Kohl et al. (2019). Cada modelo de regressão utilizou uma das variáveis *output* como variável independente, ou seja, que buscamos explicar através das variáveis dependentes (que eram os *inputs* em ambos os modelos). Por isso, a formulação das regressões no nosso estudo pode ser dada pela equação 12, em que Y representa a variável *output*,  $I_x$  cada variável *input*,  $\beta_x$  os coeficientes de cada variável,  $\beta_0$  o ponto de intercepto no eixo vertical e  $\epsilon$  o erro.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \beta_3 I_3 + \beta_4 I_4 + \epsilon \quad (12)$$

Adicionalmente, buscamos comparar se houve mudanças nas eficiências dos países ao longo dos anos e quais as dimensões dessas mudanças. Para isso, analisamos os países num horizonte de 5 e 10 anos antes do ano-base e calculamos suas eficiências a partir do modelo DEA que entendemos que mais se aplicava ao nosso estudo. Em seguida, comparamos os resultados de eficiência de cada país ao longo dos três anos (2007, 2012 e 2017) para notar se houve mudanças significativas e se algum saiu ou entrou na fronteira de eficiência neste período.

Todas as análises foram realizadas utilizando R versão 4.2.3, e os códigos, modelos e dados utilizados estão disponíveis publicamente no GitHub (<https://github.com/lucas-cbraga/LAC-DEA>).

## 4. Resultados

### 4.1 Seleção do ano e variáveis

A partir da metodologia descrita no capítulo anterior, chegou-se a um recorte de dados predominantemente do ano de 2017. A Tabela 2 mostra uma análise descritiva das variáveis empregadas; taxa de mortalidade infantil apresentou o maior desvio-padrão, além das maiores diferenças entre 1º e 3º quartil e valor mínimo e máximo.

| <b>Medida</b> | <b>GS</b> | <b>LH</b> | <b>MED</b> | <b>ENF</b> | <b>EV</b> | <b>TMI</b> |
|---------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|------------|
| Média         | 7,031     | 2,100     | 2,199      | 3,471      | 74,471    | 14,230     |
| DP            | 1,917     | 1,512     | 1,777      | 2,993      | 2,839     | 5,976      |
| Mediana       | 6,676     | 1,590     | 1,939      | 2,392      | 73,632    | 12,600     |
| Q3            | 8,375     | 2,695     | 2,679      | 3,625      | 76,740    | 16,900     |
| Q1            | 5,602     | 1,090     | 1,076      | 1,556      | 72,622    | 11,800     |
| Máx           | 11,472    | 5,970     | 8,295      | 12,331     | 80,350    | 28,800     |
| Min           | 4,493     | 0,440     | 0,280      | 0,731      | 67,701    | 4,300      |

Tabela 2 - Análise descritiva das variáveis

A Tabela 3 mostra os dados coletados para o ano de 2017. Nota-se que alguns países apresentaram dados faltantes para as variáveis médicos e enfermeiros por 1000 habitantes neste ano, apesar de terem relatado valores para anos posteriores, o que foi solucionado pela inclusão do valor presente do ano mais próximo. No final da tabela, também apresentamos os dados da Suíça para este ano, DMU considerada para análises posteriores.

Observa-se que dentre os países LAC, Cuba é o país com melhores indicadores, sendo líder em 3 variáveis - gastos em saúde, médicos por 1000 habitantes e taxa de mortalidade infantil. Em seguida, Chile apresenta os melhores dados para enfermeiros por 1000 habitantes e expectativa de vida, e Barbados desponta com o maior índice de leitos hospitalares por 1000 habitantes. Guatemala e República Dominicana possuem ambos os piores indicadores para

duas variáveis (LH e MED, GS e TMI, respectivamente), Bolívia tem destaque negativo para expectativa de vida e Honduras para a variável enfermeiros por 1000 habitantes.

| DMU                  | GS    | LH   | MED    | ENF    | EV    | TMI  |
|----------------------|-------|------|--------|--------|-------|------|
| Argentina            | 10,44 | 4,99 | 3,99   | 2,6    | 76,83 | 9,1  |
| Bahamas              | 6,68  | 2,96 | 1,94   | 4,57*  | 73,63 | 11,8 |
| Belize               | 5,75  | 1,04 | 1,12   | 2,39   | 73,56 | 11,8 |
| Bolívia              | 6,49  | 1,29 | 1,03   | 1,56   | 67,7  | 23,5 |
| Brasil               | 9,47  | 2,09 | 2,17   | 9,74   | 74,83 | 13,8 |
| Barbados             | 6,62  | 5,97 | 2,49   | 3,06*  | 76,94 | 12,5 |
| Chile                | 9,07  | 2,11 | 2,44   | 12,33  | 80,35 | 6,5  |
| Colômbia             | 7,68  | 1,7  | 2,11   | 1,27   | 76,65 | 12,6 |
| Costa Rica           | 7,05  | 1,14 | 2,95   | 3,18   | 79,38 | 7,5  |
| Cuba                 | 11,47 | 5,33 | 8,3    | 7,73   | 77,53 | 4,3  |
| Guatemala            | 6,14  | 0,44 | 0,28   | 1,2    | 72,55 | 22,2 |
| Honduras             | 7,01  | 0,64 | 0,31   | 0,73   | 72,69 | 16,3 |
| Jamaica              | 6,15  | 1,72 | 0,53*  | 1,47   | 71,91 | 12,2 |
| St. Lucía            | 4,66  | 1,3  | 0,64   | 3,15   | 73,13 | 20,7 |
| México               | 5,46  | 0,99 | 2,38   | 2,85   | 74,14 | 13,1 |
| Nicarágua            | 8,33  | 0,93 | 0,99   | 1,55   | 73,55 | 14,4 |
| Peru                 | 4,92  | 1,59 | 1,37*  | 2,21   | 75,88 | 12,2 |
| República Dominicana | 4,49  | 1,56 | 1,45** | 1,17   | 73,06 | 28,8 |
| El Salvador          | 8,42  | 1,2  | 2,87*  | 1,84   | 72,31 | 12,3 |
| Suriname             | 5,32  | 3,0  | 1,18   | 1,93   | 72,42 | 17,3 |
| Trinidad e Tobago    | 6,75  | 3,02 | 3,36   | 4,07** | 74,23 | 16,5 |
| Uruguai              | 8,82  | 2,43 | 4,94   | 7,22** | 77,63 | 6,8  |
| Venezuela            | 4,52  | 0,87 | 1,73   | 2,01   | 71,94 | 21,1 |

\* Dado de 2018

\*\* Dado de 2019

Tabela 3 - Dados e anos utilizados para análise-base

Apesar de todas serem variáveis amplamente utilizadas, deve-se notar um ponto: o modelo DEA para cálculo de eficiência pressupõe que um aumento nos *inputs* deve gerar um

aumento também nos *outputs* – ou seja, quanto mais investimento aplicado, seja ele financeiro, estrutural ou de staff, melhores os resultados (*outputs*) alcançados. Por isso, para rodar o modelo precisamos fazer uma alteração na variável Taxa de Mortalidade Infantil, que diminui na medida em que esse índice melhora. Optamos por trabalhar com o complemento dessa taxa, ou seja, 1000 - TMI (a taxa é sobre 1000 nascimentos).

A partir destes dados, aplicamos o DEA com as variações indicadas na seção de metodologia, chegando aos seguintes resultados considerando apenas países latino-americanos e caribenhos:

| DMU                         | Input-Oriented |             | Output-Oriented |             |
|-----------------------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|
|                             | CRS            | VRS         | CRS             | VRS         |
| Argentina                   | 0,42           | 0,99        | 2,38            | <b>1,00</b> |
| Bahamas                     | 0,46           | 0,52        | 2,20            | 1,14        |
| Barbados                    | 0,53           | 0,72        | 1,90            | 1,16        |
| <b>Belize</b>               | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| Bolívia                     | 0,29           | 0,56        | 3,43            | 3,04        |
| Brasil                      | 0,32           | 0,39        | 3,13            | 1,42        |
| Chile                       | 0,53           | <b>1,00</b> | 1,89            | <b>1,00</b> |
| Colômbia                    | 0,85           | <b>1,00</b> | 1,18            | <b>1,00</b> |
| Costa Rica                  | 0,93           | <b>1,00</b> | 1,07            | <b>1,00</b> |
| Cuba                        | 0,25           | <b>1,00</b> | 3,93            | <b>1,00</b> |
| <b>República Dominicana</b> | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| El Salvador                 | 0,60           | 0,88        | 1,67            | 1,04        |
| <b>Guatemala</b>            | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| <b>Honduras</b>             | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| <b>Jamaica</b>              | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| <b>México</b>               | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| Nicarágua                   | 0,62           | 0,71        | 1,62            | 1,07        |
| <b>Peru</b>                 | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| <b>St. Lucia</b>            | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |
| Suriname                    | 0,71           | 0,85        | 1,41            | 1,40        |
| Trinidad e Tobago           | 0,31           | 0,32        | 3,25            | 1,68        |
| Uruguai                     | 0,40           | 0,82        | 2,52            | 1,02        |
| <b>Venezuela, RB</b>        | <b>1,00</b>    | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>     | <b>1,00</b> |

Tabela 4 - Resultados de análise do ano-base

Os resultados mostram que em ambos os casos o modelo CRS considera apenas 9 dos 23 países como eficientes, sendo Cuba a DMU com pior resultado de eficiência. Já para o

modelo VRS, em ambos os casos 13 países foram considerados eficientes, sendo Trinidad e Tobago a DMU com pior resultado quando se aplicou a lógica *input-oriented*, e Bolívia na lógica *output-oriented*. Os países menos eficientes segundo ambos os modelos CRS são Bolívia, Cuba e Trinidad e Tobago, enquanto que segundo o modelo VRS *input-oriented* são Bahamas, Brasil e Trinidad e Tobago, e de acordo com o modelo VRS *output-oriented* são Bolívia, Brasil e Trinidad e Tobago. Podemos observar, ainda, que, tanto para o modelo *input-oriented* como para o *output-oriented*, o retorno variável à escala apresentou melhores resultados de eficiência para todos as DMUs (fora as 9 que se mantiveram eficientes para os dois casos). Contudo, esse resultado já era esperado, dado que a restrição do modelo VRS de que a soma de todos os pesos deve ser 1 garante que todas as DMUs consideradas eficientes no modelo CRS também o sejam para o VRS (Antunes, 2020).

Dentro da fronteira eficiente, observamos que Honduras utiliza melhor os recursos de leitos hospitalares e médicos por 1000 habitantes, tendo em vista que apresentou os melhores indicadores *input* sobre *output* em ambos os casos desses recursos. Além disso, Venezuela utiliza melhor os gastos em saúde, e Colômbia utiliza de forma mais eficiente os enfermeiros por 1000 habitantes.

#### 4.2 Análises de sensibilidade

A primeira análise de sensibilidade realizada foi a inclusão da Suíça entre as DMUs. Os resultados, expostos no Apêndice I, mostram que o país foi considerado eficiente em ambos os modelos VRS, e ineficiente nos modelos CRS. Percebemos que, apesar de incluir um país com um sistema de saúde desenvolvido (Lee, 2016) e que apresentava o maior valor entre todas as DMUs em duas das quatro variáveis *inputs*, ela também apresentou maiores *outputs*. Por isso, não houve mudança significativa na fronteira eficiente. a única DMU com valor alterado foi o Uruguai, que teve sua eficiência piorada em 0,04 para modelo *input-oriented* com retorno variante à escala, e em 0,01 para modelo *output-oriented* também com retorno variante à escala.

Buscamos entender se a união das variáveis médicos e enfermeiros por 1000 habitantes produz efeito significativo na fronteira, por gerar um modelo com menor quantidade de variáveis *input*. De acordo com os resultados apresentados no Apêndice II, houve piora na eficiência de alguns países, com os seguintes destaques: Argentina saiu da fronteira eficiente no modelo VRS *output-oriented* e teve uma perda de eficiência de 0,28 no modelo VRS *input-oriented*; El Salvador teve uma perda de eficiência de 0,16 no modelo

VRS *input-oriented* e de 0,14 no modelo CRS *output-oriented*; Colômbia teve uma diminuição de eficiência 0,13 no modelo CRS *output-oriented* e de 0,08 no modelo CRS *input-oriented*. Fora essas DMUs, não houve mudanças significativas ou alterações na fronteira, e 12 dos 23 países não tiveram nenhuma alteração no resultado de eficiência para os 4 modelos; por isso, e por serem duas variáveis amplamente utilizadas na literatura, decidimos manter as variáveis separadas na análise final.

Outra análise realizada foi a remoção de outliers extremos e moderados para observar alterações na fronteira. Na seleção de outliers extremos, Cuba e Chile foram removidos por superarem o limite superior das variáveis médicos por 1000 habitantes e enfermeiros por 1000 habitantes, respectivamente. Na seleção de outliers moderados, Barbados, Brasil, Uruguai e República Dominicana foram removidos por superarem o limite superior das variáveis leitos hospitalares por 1000 habitantes (Barbados) e enfermeiros por 1000 habitantes (Brasil e Uruguai), e o limite inferior da variável taxa de mortalidade infantil (República Dominicana). Na análise com remoção de outliers extremos (Apêndice III) ocorreram apenas duas alterações ao se comparar os modelos *input-oriented* com retorno variável à escala (VRS): Brasil obteve ganho de 0,02 de eficiência, e Uruguai obteve ganho de 0,18, passando a entrar na fronteira eficiente. Os resultados sem outliers moderados (Apêndice IV) também reportaram melhorias em eficiências, porém em três DMUs: Bolívia (0,14), Suriname (0,05) e Trinidad e Tobago (0,02). Nenhum dos três países entrou na fronteira eficiente.

Por fim, também obtivemos os resultados para países que apresentavam todas as variáveis entre os percentis 5 e 95. Primeiramente, eliminamos Bolívia, Chile, Cuba, República Dominicana, Guatemala e Honduras, que apareceram mais de uma vez fora desse intervalo. Para a análise sem nenhum país com pelo menos uma variável fora desse intervalo, eliminamos também Brasil, Barbados, Costa Rica, Jamaica, Uruguai e Venezuela, totalizando 11 países. No primeiro caso (Apêndice V), encontramos 11 DMUs eficientes e 6 não-eficientes, com Nicaragua, El Salvador e Uruguai entrando na fronteira, enquanto na segunda análise (Apêndice VI) encontramos nove DMUs eficientes e duas não-eficientes, com Nicaragua, El Salvador e Suriname entrando na fronteira.

### 4.3 Regressão linear para 2017

Considerando os dados normalizados em 2017, realizamos duas regressões lineares: a primeira considerando a variável *output* “Expectativa de Vida” como variável independente, e

todas as variáveis *inputs* como variáveis dependentes, e a segunda considerando a variável *output* “Taxa de Mortalidade Infantil” como variável independente, e também todas as variáveis *inputs* como variáveis dependentes. Como explicitado na metodologia, essa ferramenta é comumente associada a análises DEA (Kohl et al., 2019) com o intuito de entender como cada variável influencia nos resultados.

| <b>Input</b> | <b>EV</b>   |         | <b>TMI</b>  |         |
|--------------|-------------|---------|-------------|---------|
|              | Coeficiente | p-valor | Coeficiente | p-valor |
| GS           | 0,02317     | 0,9152  | 0,34946     | 0,125   |
| LH           | 0,08991     | 0,638   | 0,0192      | 0,921   |
| MED          | 0,26199     | 0,3775  | 0,2631      | 0,382   |
| ENF          | 0,35871     | 0,0734  | 0,17194     | 0,381   |

Tabela 5 - Resultados da regressão linear

Como se observa pelos resultados, nenhuma variável *input* possui p-valor significativo (abaixo de 0,05) com as variáveis *outputs* - ou seja, não existe relação linear muito clara entre as variáveis. Contudo, o maior coeficiente da regressão com EV foi da variável ENF, de 0,35871 com p-valor de 0,0734, e na regressão com TMI esse coeficiente foi de 0,34946 para a variável GS, com p-valor de 0,125. Portanto, apesar de não haver p-valor abaixo de 0,05, variação positiva nestas variáveis *input* é o que mais leva a uma variação também positiva nas respectivas variáveis *output*, ambas dentro de um nível de confiança de 87,5%.

#### 4.4 Evolução temporal

Por fim, considerando um modelo *input-oriented* com retorno variável à escala (VRS), buscamos entender se houve alteração significativa na eficiência de alguma DMU num horizonte de 10 anos. Para isso, selecionamos os valores das variáveis nos anos de 2007 e 2012 (10 e 5 anos antes do ano-base de 2017, respectivamente), e aplicamos o modelo DEA, considerando um retorno variável à escala e lógica *input-oriented*. Os resultados se encontram na Tabela 6.

| <b>DMU</b> | <b>2007</b> | <b>2012</b> | <b>2017</b> |
|------------|-------------|-------------|-------------|
|------------|-------------|-------------|-------------|

|                      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|
| Argentina            | 1,00 | 0,29 | 0,34 |
| Bahamas              | 1,00 | 0,62 | 0,47 |
| Barbados             | 0,51 | 0,37 | 0,59 |
| Belize               | 0,92 | 1,00 | 1,00 |
| Bolívia              | 1,00 | 0,86 | 0,54 |
| Brasil               | 0,29 | 0,37 | 0,40 |
| Chile                | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Colômbia             | 1,00 | 1,00 | 0,88 |
| Costa Rica           | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Cuba                 | 0,83 | 1,00 | 1,00 |
| República Dominicana | 1,00 | 0,73 | 1,00 |
| El Salvador          | 0,55 | 0,55 | 0,70 |
| Guatemala            | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| Honduras             | 0,72 | 1,00 | 1,00 |
| Jamaica              | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| México               | 0,83 | 0,92 | 1,00 |
| Nicarágua            | 0,65 | 0,59 | 0,71 |
| Peru                 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| St. Lucía            | 1,00 | 0,65 | 1,00 |
| Suriname             | 0,52 | 1,00 | 0,60 |
| Trinidad e Tobago    | 1,00 | 0,60 | 0,33 |
| Uruguai              | 0,41 | 0,55 | 0,81 |
| Venezuela, RB        | 0,64 | 0,83 | 1,00 |

Tabela 6 - Evolução temporal da eficiência

Dos 23 países da amostra, quatro se mantiveram na fronteira eficiente durante os três anos de análise (Chile, Costa Rica, Jamaica e Peru), e cinco não estiveram em nenhum momento (Barbados, Brasil, El Salvador, Nicarágua e Uruguai). O ano com mais países eficientes foi 2017, com 12 DMUs na fronteira; já 2007 teve 11 DMUs eficientes, e 2012 teve 9 DMUs eficientes. Entre os não-eficientes, o único país que esteve entre os três menos eficientes de cada ano foi o Brasil, sendo o mais ineficiente em 2007, o segundo menos eficiente em 2012, e o terceiro em 2017. Por fim, num horizonte de 10 anos, fora os países que estiveram sempre na fronteira, pode-se observar que doze países conseguiram melhorar sua eficiência, cinco pioraram, e dois apresentaram valores iguais (apesar de apresentarem mudança em 2012).

## 5. Discussão

Nosso trabalho teve como intuito realizar uma análise da eficiência dos sistemas de saúde de países da região latino-americana e caribenha (LAC), utilizando a metodologia de fronteira eficiente DEA. Encontramos que 13 dos 23 países analisados (56,5%) foram considerados eficientes, dentre os quais 10 foram eficientes nas análises temporais de 5 e 10 anos antes do ano-base de pesquisa (2017). Ao realizar análises de sensibilidade, percebemos uma pequena piora na eficiência de uma DMU ao adicionar um país HIC, uma piora maior na eficiência de 3 DMUs ao unir as variáveis médicos e enfermeiros por 1000 habitantes em uma variável de *staff* única, melhora em 2 DMUs com uma entrando na fronteira ao remover outliers extremos e melhores em 3 DMUs ao remover outliers moderados, e 3 DMUs entrando na fronteira ao remover países fora do intervalo entre o percentis 5 e 95 pelo menos ou mais de uma vez.

Os resultados encontrados no trabalho vão de encontro com o desfecho de outros trabalhos realizados sobre a eficiência na América Latina. Marinho et al. (2020), ao analisar a eficiência de países latino-americanos, caribenhos e da OCDE através de um método de fronteira estocástica, aponta para a ineficiência do sistema brasileiro comparado com outras nações do continente, ainda que seu resultado médio tenha sido razoável. O trabalho de Sanmartín-Durango et al. (2019), que aplicou um modelo DEA para países latino-americanos e da OCDE para dados de 1995, 2005 e 2014, apresenta alguns resultados similares, como a colocação constantemente baixa do Brasil entre os países latino-americanos e a convergência de determinadas DMU's eficientes, como Chile, Cuba, República Dominicana e Venezuela.

Contudo, outros detalhes devem ser destacados. Como ressalta Marinho (2020), referenciando também outros autores prévios, o incremento no investimento em saúde em países subdesenvolvidos gera resultados positivos mais notáveis que no caso de países desenvolvidos. Isso ocorre porque espera-se que estes países já possuam alta expectativa de vida, baixa mortalidade infantil e bons resultados para outros índices, que não mudam com muita expressividade; já os países subdesenvolvidos possuem grande espaço para melhora, explicando assim esse significativo retorno sobre os investimentos. Ao longo dos 10 anos analisados, houve um aumento médio de 23% nos valores de *inputs* para os países da amostra, responsável por gerar um ganho médio abaixo de dois anos de vida e pouco acima de 4 a cada 1000 recém-nascidos salvos; para países da União Europeia, ainda de acordo com dados do Banco Mundial, a média de crescimento dos investimentos em saúde foi próxima de 8%, o

que gerou um ganho médio próximo a 2 anos de vida e de 1 a cada 1000 recém-nascidos salvos. Portanto, podemos concluir que existia mais potencial de crescimento para os países latino-americanos nesse período, dados os altos investimentos realizados.

Um ponto importante de se observar nos resultados é que alguns dos países que entraram na fronteira eficiente em 2017 podem ser considerados menos desenvolvidos que outros que ficaram fora da fronteira. Isso ocorre, por exemplo, com Honduras, um Estado que enfrenta sérios níveis de pobreza, e que apresenta o IDH's mais baixo dentre todas as DMUs (0,621), e esteve na fronteira eficiente em todos os anos, inclusive obtendo os melhores índices de utilização de leitos hospitalares e médicos por 1000 habitantes; em contrapartida, Bahamas e Trinidad e Tobago, que possuem o terceiro e quarto maiores IDH's da amostra (0,812 e 0,810, respectivamente), tiveram baixos resultados de eficiência (0,52 e 0,32, respectivamente). Isso é bem explicado também por Marinho (2020), que diferencia o conceito de eficiência, que é trabalhado no modelo DEA, com efetividade. De acordo com o autor, este conceito diz respeito ao alcance de metas e maximização do bem-estar, enquanto que a eficiência nem sempre é suficiente para este bem-estar, é a condição para que os recursos sejam bem utilizados. Deve-se ressaltar, ainda, os argumentos já levantados no parágrafo anterior, de que pequenos investimentos em saúde de países subdesenvolvidos geram grandes avanços - os chamados retornos decrescentes em escala (Marinho, 2020), o que pode explicar também esse alto nível de eficiência de países pouco desenvolvidos.

Contudo, em outros casos a diferença entre eficiências pode ser claramente visualizada. Os gráficos a seguir mostram a evolução temporal dos valores normalizados dos 4 *inputs* (azul) e dos 2 *outputs* (vermelho), ou dos recursos e resultados, no sistema de saúde de dois países com nível similar de desenvolvimento: Chile (Gráfico 2), que se manteve na fronteira eficiente nos três anos analisados, e Brasil (Gráfico 3), que manteve uma média de eficiência de 0,38. Observa-se que conforme o passar do tempo, as retas dos *inputs* de ambos países adquirem médias parecidas (0,56 para o Chile e 0,51 para o Brasil em 2017), sendo que o Chile apresenta valores iniciais menores e um crescimento para todos os *inputs*, enquanto que os *inputs* do Brasil são mais dispersos e constantes. Todavia, há um claro deslocamento vertical nas linhas de *outputs* de ambos os países, evidenciando que os investimentos que o país realiza em saúde podem proporcionar resultados muito melhores, e que os atuais podem ser alcançados investindo cerca de 61% menos recursos.

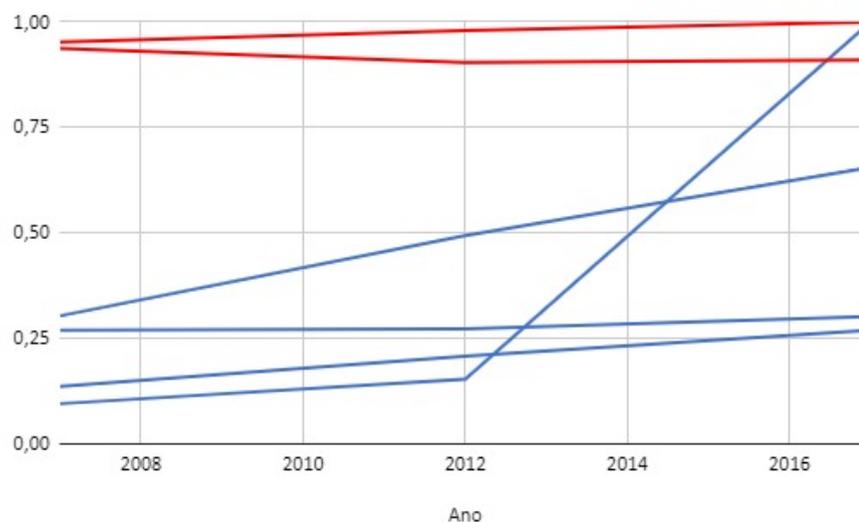


Gráfico 2 - Evolução temporal de *inputs* (azul) e *outputs* (vermelho) de país eficiente

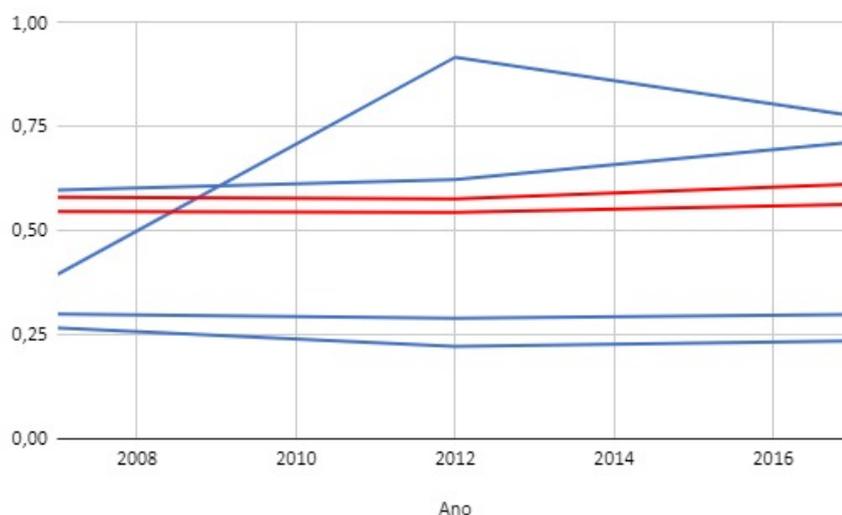


Gráfico 3 - Evolução temporal de *inputs* (azul) e *outputs* (vermelho) de país ineficiente

Outra explicação para os baixos valores de eficiência nos países mais desenvolvidos da amostra, como Brasil, é a subutilização dos recursos empregados. Esse problema foi observado por Top et al. (2019) no contexto africano, e aplica-se também aos países LAC. Medlen et al. (2018) reportam essa situação no contexto latino-americano e caribenho ao analisar o desempenho de serviços de radiologia, essenciais para o tratamento de um grande número de doenças, e reforçam que exclusivamente adquirir novos equipamentos não é a solução para este problema, mas sim a adoção de programas compreensivos que utilizem os recursos de forma ótima.

Alguns países apresentaram variações bruscas na eficiência, como é o caso da Argentina, que saiu da fronteira eficiente em 2007 para um resultado de 0,29 em 2012, voltando para perto da fronteira em 2017 novamente. Assim como na análise anterior, esse é um caso que pode ser verificado pela evolução na utilização de recursos e na obtenção de resultados, como se observa no Gráfico 4: nos três anos, os *outputs* apresentaram médias similares, movimento contrário ao dos *inputs*, dois dos quais sofreram aumento expressivo em 2012, justificando assim sua queda em eficiência.

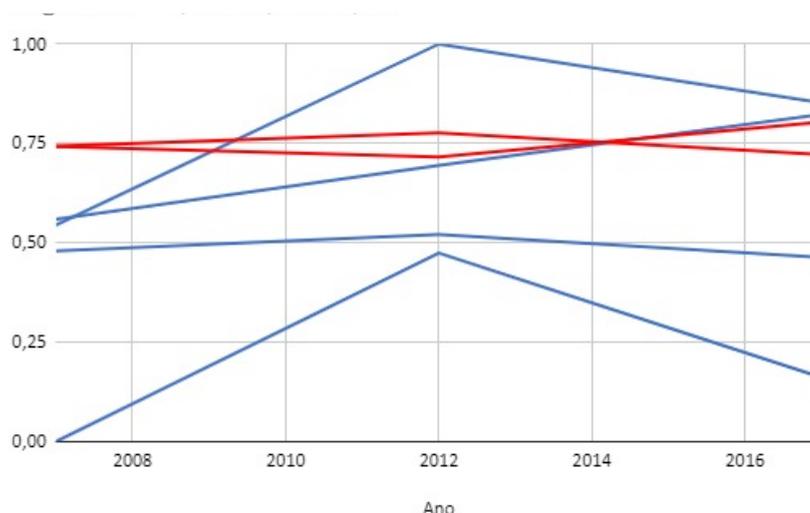


Gráfico 4 - Evolução temporal de *inputs* (azul) e *outputs* (vermelho) de país com alteração notável

Sobre os modelos utilizados, percebemos que para estudos de sistemas de saúde, o retorno variável à escala é o mais recomendado. Ao se trabalhar com variáveis macro como expectativa de vida, que possuem evolução lenta, o modelo VRS produz resultados mais aderentes com a realidade, tendo em vista que o aumento de *inputs* resulta em aumento desproporcional dos *outputs*. Isso se reforça ainda mais pelos argumentos apresentados anteriormente, que demonstram que em países desenvolvidos esses indicadores evoluem com ainda mais dificuldade. A preferência por um modelo orientado a *input* se explica porque entendemos que em países LAC com menores índices de desenvolvimento, os investimentos devem ser estrategicamente alocados, e esse tipo de modelo permite observar qual o grau de otimização passível de ser realizado. A orientação deve ser escolhida com base no que a DMU tem mais capacidade de controlar (Pelone et al., 2014), e pela explicação anterior, acreditamos que esse seja o caso.

Percebemos ainda, através das análises de sensibilidade, que uma grande quantidade de variáveis num modelo pode gerar resultados mais distantes da realidade, dada a maior probabilidade de serem geradas DMUs eficientes, como discutido por Dyson (2001) e observado pelas variações nas eficiências no momento em que se criou uma variável única de staff. Por fim, a remoção de outliers e de DMUs fora do intervalo entre os percentis 5 e 95 se deu para observar se a disparidade do nível de desenvolvimento dos países LAC afetava os resultados e a fronteira eficiente. Em todos os casos analisados, o Uruguai entrou na fronteira eficiente, e houve melhora nos indicadores de outras DMUs. Contudo, devido à grande quantidade de países retirados da análise e também à natureza não-paramétrica dos modelos DEA, não se pode tirar conclusões acerca do impacto desses países extremos no resultado final.

Como limitações para a elaboração deste trabalho, destacamos principalmente a aquisição de dados. Não foi possível reproduzir o modelo com dados mais recentes, uma vez que recairíamos no problema de poucas DMUs com as informações necessárias, o que fez com que analisássemos um cenário de seis anos anteriores ao da realização deste trabalho. Portanto, os resultados não necessariamente refletem a situação atual de eficiência dos sistemas de saúde de países LAC. Outro problema oriundo de dados foi a ausência de valores ao longo da série, levando-nos a adotar um valor próximo para o ano em questão, produzindo novamente resultados menos aderentes à realidade.

## 6. Conclusão

Como mencionado na introdução, os formuladores de políticas públicas ao redor do mundo devem se atentar não somente ao valor bruto dos investimentos na área da saúde, mas também se esses recursos são bem geridos e utilizados, e se geram resultados proporcionais. Em média, os países da amostra apresentaram eficiência de 0,86 - ou seja, poderiam usar 14% menos recursos e encontrar resultados semelhantes. Comparado com outros trabalhos, que analisam continentes com maior desenvolvimento (Lee, 2016), a eficiência média foi superior - o que não significa que os países LAC são mais eficientes que os com mais competitividade global, por causa da propriedade de não-parametrização do DEA, mas que, em média, os países deste grupo possuem sistemas de saúde mais parecidos e próximos de seus pares eficientes. Contudo, ainda há espaço para melhora, principalmente no que diz respeito aos valores absolutos das variáveis tanto de *input* como de *output*, ainda muito inferior ao de países desenvolvidos.

Acreditamos haver espaço para estudos futuros, principalmente no que diz respeito aos seguintes aspectos: elaboração de modelos DEA considerando outras variáveis *input* e *output*, inclusão de países não selecionados no modelo (como Equador, Haiti, Paraguai, entre outros), e a variação de parâmetros para o modelo, como o emprego de retornos mistos à escala. Também consideramos que estudos mais aprofundados para entender as baixas eficiências de países mais desenvolvidos da amostra, como Brasil, devem ser feitos; apesar de encontrarmos algumas respostas na fundamentação teórica do DEA, é notável a necessidade de melhora de resultados.

A área da saúde sempre foi e sempre será parte essencial dos esforços de governos em todo o mundo, tendo em vista seu impacto direto no bem-estar da população. Consideramos que esse estudo soma aos esforços para que os países LAC, que muitas vezes sofrem com dificuldades econômicas, consigam manejar melhor seus recursos e oferecer um serviço com qualidade e equidade para seu povo.

## 7. Referências Bibliográficas

- ANTUNES, Bianca. “ICU efficiency assessment using Data Envelopment Analysis”; Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial; 2020.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”. *Management Science* 30, n. 9; 1078–1092; 1984.
- CHARNES A, COOPER WW, RHODES E. “Measuring the efficiency of decision making units”. *European Journal of Operational Research* 2(6); 429–44; 1978
- CHARNES, Abraham et al.; *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application*; Nova Iorque: Kluwer Academic Publishers; 1994
- DYSON, R.G. et al.; “Pitfalls and protocols in DEA”; *European Journal of Operational Research* 132; 245-259; 2001.
- FARRELL, M. J. “The measurement of productive efficiency”; *Journal of the Royal Statistics Society* 120; 253-290; 1957.
- HOLLINGSWORTH, Bruce et al.; “Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications”; *Health Care Management Science* 2; 161-172; 1999.
- KOHL, Sebastian et al.; “The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in healthcare with a focus on hospitals”; *Health Care Management Science* 22; 245–286; 2019.
- LEE, Donhee. “Comparison of efficiency of healthcare systems of countries with global competitiveness using data envelopment analysis”; *Global Business & Finance Review (GBFR)* 21; 46-55; 2016.
- MARINHO, Alexandre et al.; “Avaliação comparativa dos sistemas de saúde do Brasil e de países da América Latina, do Caribe e da OCDE com o uso de fronteiras estocásticas”; *Economia Aplicada* 24, nº 2; 195-214; 2020
- MEDLEN, Kayiba Peggy et al.; “Better use of available radiology resources for women’s health in Latin America and the Caribbean”; *Panam Salud Publica* 42; e115; 2018
- OCDE; “Health care systems: Getting more value for money”; *OECD Economics Department Policy Notes*, No. 2; 2010
- OMS; “The World Health Report 2000: Health Systems : Improving Performance”; 2000

PELONE, Ferruccio et al.; “Primary Care Efficiency Measurement Using Data Envelopment Analysis: A Systematic Review”; *Journal of Medical Systems* 39; 156; 2014

SANMARTÍN-DURANGO, Daysi et al.; “Eficiencia del gasto en salud en la OCDE y ALC: un análisis envolvente de datos”; *Lecturas de Economía* 91; 41-78; 2019.

SEDDIGHI et al.; “Health systems efficiency in Eastern Mediterranean Region: a data envelopment analysis”; *Cost Effectiveness and Resource Allocation* 18; 18-22; 2020.

SZWARCWALD, Celia. “PESQUISA MUNDIAL DE SAÚDE: ASPECTOS METODOLÓGICOS E ARTICULAÇÃO COM A ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE”; *Revista Brasileira de Epidemiologia* 11; 58-66; 2008.

TOP, Mehmet et al.; “Technical efficiency of healthcare systems in African countries: An application based on data envelopment analysis”; *Health Policy and Technology* 9; 62-68; 2020.

## APÊNDICE I - Eficiência de países LAC com Suíça

| DMU                  | Input-Oriented |      | Output-Oriented |      |
|----------------------|----------------|------|-----------------|------|
|                      | CRS            | VRS  | CRS             | VRS  |
| Argentina            | 0,42           | 0,99 | 2,38            | 1,00 |
| Bahamas              | 0,46           | 0,52 | 2,20            | 1,14 |
| Barbados             | 0,53           | 0,72 | 1,90            | 1,16 |
| Belize               | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Bolívia              | 0,29           | 0,56 | 3,43            | 3,04 |
| Brasil               | 0,32           | 0,39 | 3,13            | 1,42 |
| Chile                | 0,53           | 1,00 | 1,89            | 1,00 |
| Colômbia             | 0,85           | 1,00 | 1,18            | 1,00 |
| Costa Rica           | 0,93           | 1,00 | 1,07            | 1,00 |
| Cuba                 | 0,25           | 1,00 | 3,93            | 1,00 |
| República Dominicana | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| El Salvador          | 0,60           | 0,88 | 1,67            | 1,04 |
| Guatemala            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Honduras             | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Jamaica              | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| México               | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Nicarágua            | 0,62           | 0,71 | 1,62            | 1,07 |
| Peru                 | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| St. Lucia            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Suriname             | 0,71           | 0,85 | 1,41            | 1,40 |
| Suíça                | 0,34           | 1,00 | 2,98            | 1,00 |
| Trinidad e Tobago    | 0,31           | 0,32 | 3,25            | 1,68 |
| Uruguai              | 0,40           | 0,77 | 2,52            | 1,03 |
| Venezuela, RB        | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |

## APÊNDICE II - Eficiência com variável única de staff

| DMU                  | Input-Oriented |      | Output-Oriented |      |
|----------------------|----------------|------|-----------------|------|
|                      | CRS            | VRS  | CRS             | VRS  |
| Argentina            | 0,56           | 0,99 | 1,79            | 1,00 |
| Bahamas              | 0,74           | 0,77 | 1,35            | 1,03 |
| Barbados             | 0,75           | 0,84 | 1,34            | 1,02 |
| Belize               | 0,98           | 1,00 | 1,02            | 1,00 |
| Bolívia              | 0,82           | 0,83 | 1,22            | 1,10 |
| Brasil               | 0,54           | 0,58 | 1,84            | 1,06 |
| Chile                | 0,60           | 1,00 | 1,67            | 1,00 |
| Colômbia             | 0,84           | 1,00 | 1,18            | 1,00 |
| Costa Rica           | 0,81           | 1,00 | 1,24            | 1,00 |
| Cuba                 | 0,47           | 1,00 | 2,14            | 1,00 |
| República Dominicana | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| El Salvador          | 0,75           | 0,93 | 1,34            | 1,01 |
| Guatemala            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Honduras             | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Jamaica              | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| México               | 0,94           | 1,00 | 1,07            | 1,00 |
| Nicarágua            | 0,78           | 0,83 | 1,29            | 1,01 |
| Peru                 | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| St. Lucia            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Suriname             | 0,94           | 0,95 | 1,06            | 1,04 |
| Trinidad e Tobago    | 0,70           | 0,70 | 1,43            | 1,06 |
| Uruguai              | 0,60           | 0,91 | 1,68            | 1,00 |
| Venezuela, RB        | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |

### APÊNDICE III - Eficiência sem outliers extremos

| DMU                  | Input-Oriented |      | Output-Oriented |      |
|----------------------|----------------|------|-----------------|------|
|                      | CRS            | VRS  | CRS             | VRS  |
| Argentina            | 0,42           | 0,99 | 2,38            | 1,00 |
| Bahamas              | 0,46           | 0,52 | 2,20            | 1,14 |
| Barbados             | 0,53           | 0,72 | 1,90            | 1,15 |
| Belize               | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Bolívia              | 0,29           | 0,56 | 3,43            | 3,04 |
| Brasil               | 0,32           | 0,41 | 3,13            | 1,31 |
| Colômbia             | 0,85           | 1,00 | 1,18            | 1,00 |
| Costa Rica           | 0,93           | 1,00 | 1,07            | 1,00 |
| República Dominicana | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| El Salvador          | 0,60           | 0,88 | 1,67            | 1,04 |
| Guatemala            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Honduras             | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Jamaica              | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| México               | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Nicarágua            | 0,62           | 0,71 | 1,62            | 1,07 |
| Peru                 | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| St. Lucia            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Suriname             | 0,71           | 0,85 | 1,41            | 1,40 |
| Trinidad e Tobago    | 0,31           | 0,32 | 3,25            | 1,68 |
| Uruguai              | 0,40           | 1,00 | 2,52            | 1,00 |
| Venezuela, RB        | 1              | 1    | 1               | 1    |

## APÊNDICE IV - Eficiência sem outliers moderados

| DMU               | Input-Oriented |      | Output-Oriented  |                  |
|-------------------|----------------|------|------------------|------------------|
|                   | CRS            | VRS  | CRS              | VRS              |
| Argentina         | 0,47           | 0,99 | 2,14             | 1,00             |
| Bahamas           | 0,46           | 0,52 | 2,17             | 1,20             |
| Belize            | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| Bolívia           | 0,00           | 0,70 | 10 <sup>30</sup> | 10 <sup>30</sup> |
| Colômbia          | 0,99           | 1,00 | 1,01             | 1,00             |
| Costa Rica        | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| El Salvador       | 0,65           | 0,88 | 1,54             | 1,05             |
| Guatemala         | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| Honduras          | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| Jamaica           | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| México            | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| Nicarágua         | 0,64           | 0,71 | 1,55             | 1,10             |
| Peru              | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| St. Lucia         | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |
| Suriname          | 0,62           | 0,91 | 1,61             | 1,61             |
| Trinidad e Tobago | 0,31           | 0,33 | 3,21             | 1,72             |
| Venezuela, RB     | 1,00           | 1,00 | 1,00             | 1,00             |

**APÊNDICE V - Eficiência de países entre percentis 5 e 95 e de países apenas 1 vez fora do intervalo**

| DMU               | Input-Oriented |      | Output-Oriented |      |
|-------------------|----------------|------|-----------------|------|
|                   | CRS            | VRS  | CRS             | VRS  |
| Argentina         | 0,42           | 0,99 | 2,39            | 1,00 |
| Bahamas           | 0,40           | 0,48 | 2,48            | 1,25 |
| Belize            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Brasil            | 0,39           | 0,39 | 2,58            | 1,65 |
| Barbados          | 0,58           | 0,68 | 1,71            | 1,28 |
| Colômbia          | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Costa Rica        | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Jamaica           | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| St. Lucia         | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| México            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Nicarágua         | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Peru              | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| El Salvador       | 0,85           | 1,00 | 1,17            | 1,00 |
| Suriname          | 0,44           | 0,91 | 2,27            | 2,14 |
| Trinidad e Tobago | 0,18           | 0,27 | 5,41            | 2,82 |
| Uruguai           | 0,38           | 1,00 | 2,60            | 1,00 |
| Venezuela, RB     | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |

## APÊNDICE VI - Eficiência de países exclusivamente entre percentis 5 e 95

| DMU               | Input-Oriented |      | Output-Oriented |      |
|-------------------|----------------|------|-----------------|------|
|                   | CRS            | VRS  | CRS             | VRS  |
| Argentina         | 0,46           | 1,00 | 2,19            | 1,00 |
| Bahamas           | 0,43           | 0,52 | 2,33            | 1,06 |
| Belize            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Colômbia          | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| St. Lucia         | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| México            | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Nicarágua         | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| Peru              | 1,00           | 1,00 | 1,00            | 1,00 |
| El Salvador       | 0,87           | 1,00 | 1,16            | 1,00 |
| Suriname          | 0,52           | 1,00 | 1,91            | 1,00 |
| Trinidad e Tobago | 0,17           | 0,30 | 6,06            | 2,08 |