UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

ISABEL SILVA ALMEIDA

EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SEGURANÇA PÚBLICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

FORTALEZA
2018

ISABEL SILVA ALMEIDA

EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SEGURANÇA PÚBLICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

Monografia submetida à Coordenação do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

FORTALEZA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447e Almeida, Isabel Silva.
Eficiência dos serviços de segurança pública no Brasil : uma análise por envoltória de dados / Isabel Silva Almeida. – 2018.
86 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto.

1. Análise por envoltória de dados. 2. Segurança pública. 3. Análise de eficiência. I. Título.
CDD 658.5

ISABEL SILVA ALMEIDA

EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SEGURANÇA PÚBLICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

Monografia submetida à Coordenação do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Produção Mecânica.

Aprovada em: ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. Dr. Bruno de Athayde Prata
Universidade Federal do Ceará (UFC)

_____

Prof. Dr. Ronaldo Lage Pessoa
Centro Universitário Christus (Unichristus)

Per aspera ad astra.

RESUMO

Como os demais serviços públicos, a segurança deve-se orientar pelos princípios constitucionais, dentre eles o da eficiência. Este estudo propõe uma avaliação dos serviços de segurança pública do Brasil através da analise por envoltória de dados, um dos mais proeminentes métodos não-paramétricos para mensuração da eficiência e produtividade. Os dados de entrada foram obtidos da versão mais recente do Anuário Brasileiro de Segurança Pública, com informações referentes ao ano de 2016. Assumindo-se os 27 estados como as unidades tomadoras de decisão, foram utilizados como *inputs* as despesas totais com segurança e o efetivo policial total de cada estado, e como *output* a razão no. habitantes / no. CVLI (Crimes Violentos Letais Intencionais), definida como uma "taxa de segurança". O tipo de modelo escolhido para esta análise foi o BCC orientado a *outputs*. Os escores calculados mostram 6 estados na fronteira de eficiência: Santa Catarina, Piauí, Roraima, São Paulo, Rio Grande do Sul e Maranhão. 33,33% dos estados apresentaram baixa eficiência (< 70%), 25,93% deles eficiência moderada (70 – 90%) e 18,52% deles eficiência alta (90 – 99,99%). As projeções do *output* habitantes / CVLI foram apresentadas como as metas deste indicador para cada estado, e o cálculo dos lambdas forneceu suas respectivas unidades alvo. Finalmente, estimou-se que as folgas do modelo representaram um desperdício de R$ 7,73 bilhões no ano de 2016. Em um cenário onde tanto se fala do desperdício de recursos públicos, uma estimativa científica das ineficiências e possibilidades de realocação destes recursos é extremamente pertinente.

Palavras-chave: Análise por envoltória de dados. Segurança pública. Análise de eficiência.

ABSTRACT

As with other public services security must be guided by the constitutional principles, amongst which is efficiency. This study presents an assessment of Brazil's public security services through data envelopment analysis, one of the most prominent non-parametric methods for efficiency and productivity measurement. All data was obtained from the most recent publication of the Anuário Brasileiro de Segurança Pública, containing information updated to 2016. Assuming the 27 brazilian states as the model's decision-making units, the inputs were defined as the total security expenses and total police headcount for each state, and the output was defined as the ratio no. of citizens / no. of CVLI (homicides), interpreted as a "security rate". The chosen model type for this analysis was the *output*-oriented BCC. The calculated scores showed 6 states on the efficient frontier: Santa Catarina, Piauí, Roraima, São Paulo, Rio Grande do Sul e Maranhão. 33,33% of the states showed low efficiency (< 70%), 25,93% showed moderate efficiency (70 – 90%) e 18,52% showed high efficiency (90 – 99,99%). The projections of the output citizens / homicides were designated as the targets for this indicator for each state, and finding the lambdas determined their respective benchmark units. Finally, it was estimated that slacks in the model represented a waste of R$ 7,73 billion in 2016. In a country marked by much controversy circa the waste of public resources, a scientific estimate of inefficiencies and resource reallocation possibilities is extremely pertinent.

Keywords: Data envelopment analysis. Public security. Efficiency analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva da função de produção 34
Figura 2 – Fronteira de eficiência estimada pela DEA (retornos variáveis de escala) 35
Figura 3 – Interpretação gráfica da orientação do modelo 36
Figura 4 – Comportamento da fronteira eficiente na presença de (a) Retornos constantes de escala; (b) Retornos crescentes de escala; e (c) Retornos decrescentes de escala 38
Figura 5 – Fronteiras de eficiência nos modelos CCR e BCC, respectivamente 42
Figura 6 – Evolução do no. absoluto de CVLI e taxa / 100 mil habitantes no período de 2007-2017 47
Figura 7 – Mapa de taxas de homicídios mundiais em 2012 47
Figura 8 – Conjunto de possibilidades de *outputs* para as unidades genéricas 60
Figura 9 – Posição de U_{23} em relação ao CPP 61
Figura 10 – OSDEA-GUI: Tela de seleção do tipo de modelo DEA a ser utilizado 66
Figura 11 – Mapa dos escores de eficiência dos serviços de segurança pública dos estados (2016) 69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos que utilizam a DEA com método de avaliação da eficiência dos serviços de segurança pública no Brasil 25
Quadro 2 – Cálculo da eficiência de acordo com orientação do modelo..... 36
Quadro 3 – Formulações do modelo CCR 40
Quadro 4 – Formulações do modelo BCC 41
Quadro 5 – Grupos de estados segundo qualidade estimada dos dados 56
Quadro 6 – Definição das variáveis do modelo DEA..... 57
Quadro 7 – Definição das variáveis do modelo DEA após considerações de convexidade 62
Quadro 8 – Equivalência de unidades na fonte dos dados e modelo..... 65
Quadro 9 – Unidades alvo para os estados ineficientes (2016)..... 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa dos custos indiretos com a violência no Brasil 49
Tabela 2 – Dados primários das unidades genéricas 59
Tabela 3 – Dados adicionais das unidades genéricas 60
Tabela 4 – Resumo do modelo 64
Tabela 5 – Eficiência dos serviços de segurança pública dos estados brasileiros (2016)..... 67
Tabela 6 – Faixas de eficiência dos estados (2016)..... 68
Tabela 7 – *Ranking* de estados mais violentos segundo CVLI / 100.000 habitantes (2016) ... 71
Tabela 8 – Metas para as taxas de habitante / CVLI, por estado (2016) 72
Tabela 9 – Metas para redução do número de CVLI, por estado (2016)..... 74
Tabela 10 – Faixas de eficiência e respectivas metas de redução de CVLI (2016) 75
Tabela 11 – Valores de λ em relação a cada estado *benchmark* 75
Tabela 12 – Possíveis ganhos adicionais de eficiência (2016)..... 77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSP	Anuário Brasileiro de Segurança Pública
CVLI	Crimes Violentos Letais Intencionais
DEA	*Data Envelopment Analysis*
DMU	*Decision Making Unit*
FBSP	Fórum Brasileiro de Segurança Pública
SINESPJC	Sistema Nacional de Estatísticas de Segurança Pública e Justiça Criminal
UF	Unidade Federativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 23

1.1 Justificativa 24

1.2 Objetivos geral e específicos 27

1.3 Organização do trabalho 28

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 29

2.1 Programação Linear 29

2.1.1 Algoritmo simplex 30

2.2 Análise por envoltória de dados: DEA 31

2.2.1 Eficácia vs. produtividade vs. eficiência 32

2.2.1.1 Unidades Pareto-eficientes e folgas 35

2.2.2 Orientação do modelo 36

2.2.3 Retornos de escala 37

2.2.4 Escolha das DMUs e variáveis de input/output 38

2.2.5 Modelagem clássica da DEA 39

2.2.5.1 Modelo CCR 40

2.2.5.2 Modelo BCC 41

2.2.5.3 Principais diferenças 42

2.2.5.4 Interpretação dos modelos envelope: identificação das unidades alvo 42

3 O PROBLEMA DA SEGURANÇA PÚBLICA NO BRASIL 45

3.1 Panorama atual da violência 46

3.2 Os custos invisíveis com violência e criminalidade 48

3.3 A desconexão entre os órgãos policiais 50

3.4 A (des)padronização das estatísticas criminais 51

4 EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SEGURANÇA DO BRASIL 55

4.1 Metodologia 55

4.1.1 Escolha das variáveis e orientação do modelo *55*

4.1.2 Considerações sobre o uso de um output-razão na DEA *58*

4.1.3 Escolha das variáveis após considerações de convexidade *62*

4.1.3.1 Teste da regra de ouro *63*

4.1.4 Dados utilizados no modelo *64*

4.1.5 Software utilizado *66*

4.2 Resultados **67**

4.2.1 Análise dos resultados *70*

4.2.2 Projeções (metas) *72*

4.2.3 Lambdas (λ) e unidades alvo *75*

4.2.4 Folgas *77*

5 CONCLUSÃO **79**

REFERÊNCIAS **83**

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil registrou alguns consideráveis ganhos decorrentes do crescimento da renda e da oferta de emprego formal. Segundo dados do IBGE, a taxa de ocupação da População Economicamente Ativa aumentou de 87,1% em março de 2002 para 91,8% em fevereiro de 2016. O rendimento médio real do trabalho principal aumentou de R$ 1.849,65 em março de 2002 para R$ 3.175,00, em março de 2014. Por conta destes resultados, os indicadores de pobreza e desigualdade de renda vêm apresentando uma tendência de queda.

Apesar disto, indicadores de criminalidade mostram que, a despeito dos ganhos de rendimento e diminuição da pobreza, o Brasil tem se tornado um país mais violento. Segundo o Anuário Brasileiro de Segurança Pública (2017), a taxa de homicídios dolosos no país cresceu 2,5% entre 2015 e 2016, atingindo a marca de 26,2 homicídios / 100 mil habitantes. A taxa de estupros, por sua vez, alcançou 24 ocorrências por 100 mil habitantes em 2016, correspondendo a 49.497 estupros cometidos no Brasil naquele ano. A taxa de roubos apresentou números ainda mais expressivos, de 837,9 roubos / 100 mil habitantes.

Nas últimas décadas, a questão da segurança pública no Brasil passou a ser considerada problema essencial e principal desafio ao estado de direito. O tema ganhou enorme visibilidade pública e nunca esteve tão presente nos debates tanto de especialistas quanto do público em geral.

Os problemas relacionados ao aumento das taxas de criminalidade, aumento da sensação de insegurança, sobretudo nos grandes centros urbanos, à degradação do espaço público, as dificuldades relacionadas à reforma das instituições da administração da justiça criminal, a violência policial, a ineficiência preventiva de nossas instituições, a superpopulação nos presídios, rebeliões, fugas, degradação das condições de internação de jovens em conflito com a lei, corrupção, aumento dos custos operacionais do sistema, problema relacionados à eficiência da investigação criminal e das perícias policiais e morosidade judicial, entre tantos outros, representam obstáculos para o sucesso da consolidação política da democracia no país (OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 200-?). A grande quantidade de problemas listados aponta para a necessidade de qualificação do debate sobre segurança pública, trazendo-se novos profissionais, cenários e paradigmas às discussões.

Não se deve limitar o problema da segurança apenas ao processamento tradicional do direito e das principais instituições da justiça, compostas pela justiça criminal, presídios e

polícia. É evidente que quaisquer soluções sugeridas para o tema devem passar pelo fortalecimento da capacidade do Estado em gerir a violência, mas também devem priorizar o contato das instituições públicas com a sociedade e, particularmente, das instituições públicas com a produção acadêmica relevante à área. Trata-se, portanto, de ampliar a sensibilidade do sistema da segurança às novas ideias provenientes da sociedade capacitada e de criar um novo referencial que trate a questão da segurança pública de forma multidisciplinar e eficaz.

Como os demais serviços públicos, a segurança deve-se orientar pelos princípios constitucionais, entre eles o da eficiência, ou seja, proporcionar o melhor serviço possível com o menor dispêndio de recursos. A eficiência da segurança, além de garantir a economicidade dos serviços, implica na contenção dos efeitos nocivos da criminalidade contra a pessoa ou contra o patrimônio, tendo em vista que a contenção do crime proporciona melhoria do ambiente econômico e social (LIMA e MARINHO, 2016).

Desde sua introdução em 1978, a Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), se tornou um dos mais proeminentes métodos não-paramétricos para mensuração da eficiência e produtividade das Unidades Tomadoras de Decisões, ou DMUs, do inglês *Decision-Making Units* (EMROUZNEJAD *et al.*, 2013). Modelos DEA são rotineiramente empregados na avaliação do setor privado, como o desempenho de bancos e instituições financeiras, assim como na avaliação do setor público, como hospitais e sistemas de saúde, ou escolas e universidades. A vantagem da técnica é que ela acomoda múltiplos *inputs* e *outputs* para medir as eficiências relativas de um conjunto de DMUs homogêneas. A DEA não requer que os valores das variáveis sejam monetários para devolver um diagnóstico de eficiência, o que é uma vantagem significativa para o setor público, onde estes valores sem sempre são explícitos ou estão disponíveis. As comparações entre os diferentes níveis de eficiência das unidades produtivas podem ser usadas para proporem-se mudanças e melhorias na administração de serviços públicos.

O presente trabalho pretende, portanto, estimar os escores de eficiência dos serviços de segurança pública dos estados brasileiros através da DEA.

1.1 Justificativa

Inúmeras aplicações da DEA podem ser encontradas na literatura, tanto para organizações públicas quanto privadas, no setor de serviços ou industrial. Em se tratando das organizações públicas brasileiras, uma rápida pesquisa em ferramentas de busca *online* revela

que o método é amplamente utilizado para medirem-se as eficiências dos serviços públicos de saúde, educação, serviços judiciários, distribuição de recursos financeiros, dentre outros.

Em se tratando da segurança, porém, estudos empíricos que analisam a eficiência dos serviços de segurança pública através da DEA são escassos. No Quadro 1 são apresentadas as pesquisas brasileiras encontradas sobre o tema até o presente, comentadas nos parágrafos a seguir. O leitor pode consultar o capítulo 2, referente à revisão bibliográfica deste trabalho, para conferir o significado dos termos utilizados nos comentários.

Quadro 1 – Estudos que utilizam a DEA com método de avaliação da eficiência dos serviços de segurança pública no Brasil

Autor	**DMUs**	***Inputs***	***Outputs***	**Resultados**
Fernandes (2016)	Todos os estados com exceção de BA, PB, CE e RO	Despesas totais com segurança pública per capita	Inverso das taxas de Homicídios, Latrocínios, Roubos, Tráfico e Estupros / 100 mil habitantes	Em 2014, 56% dos estados apresentaram ineficiência nos gastos com segurança pública. Os estados identificados como eficientes foram SP, AC, SC, AP, RN, PI, ES, PR, MG e MS.
			No. de presos / 100 mil habitantes com mais de 18 anos	
Paulo (2016)	Todos os estados	Gastos com Policiamento, Defesa Civil, Informação e Inteligência, Demais Subfunções	Número de Homicídios, Crimes letais intencionais, Outros crimes letais, Crimes violentos letais intencionais, Crimes violentos não letais intencionais	Em 2012 e 2013, 85% e 78% dos estados apresentaram ineficiência, respectivamente. Em 2012, AP, MS, PE e SP foram considerados eficientes, e em 2013, AP, MS, PE, SP, RJ e PI.
			Número de leis especiais	
Schull, Feitósa e Hein (2014)	Todos os estados com exceção de AP, PI, RN e RR	Despesas totais com segurança pública (*per capita*?)	Taxas de homicídios, Latrocínios, Homicídios culposos de trânsito, Tráfico e Estupros / 100 mil habitantes	Em 2011, 48% dos estados apresentaram ineficiência nos gastos com segurança pública. Os estados identificados como eficientes foram AC, AL, CE, DF, ES, MA, MT, MG, PA, PR, RS, RO.

Fonte: Elaborado pela autora.

Fernandes (2016) avalia a eficiência relativa dos serviços de segurança de 23 estados no ano de 2014. Os estados da Bahia, Paraíba, Ceará e Roraima foram excluídos da amostra por não apresentarem dados completos naquele ano. Utilizando-se as despesas com segurança per capita como *input* e o inverso de diversas taxas criminais, além do inverso da taxa de presos a cada 100 mil habitantes com mais de 18 anos, como *outputs*, o autor conclui que 56% das unidades federativas gasta seus recursos financeiros de maneira ineficiente. Destas, 8 apresentam eficiências menores que 25%, evidenciando-se o enorme desperdício dos recursos públicos.

Algumas críticas podem ser feitas em relação à metodologia do estudo. Primeiramente, a DEA dispensa que os valores das variáveis sejam padronizados (como no caso das Despesas per capita) porque os valores absolutos, dentre outras coisas, são representativos da escala de suas respectivas DMUs, fator importante para a construção da fronteira de eficiência, especialmente nos modelos em que são considerados retornos variáveis de escala. Adicionalmente, apesar de o uso de razões (como as taxas criminais) como variáveis não ser incomum, especialmente em modelos da área da saúde e financeira, ele fere o axioma da convexidade da DEA, conforme será demonstrado no subcapítulo 4.1.2.

Outro fato que deve ser levado em consideração é que há um limite para o número de *inputs*/*outputs* que podem ser usados na DEA até que ela perca sua capacidade discriminatória, associado à quantidade de DMUs analisadas. Um número muito alto de variáveis pode "achatar" os dados, fazendo com que ela enxergue mais unidades eficientes do que realmente o são (ADLER e YAZHEMSKY, 2010). Neste caso, a redução do número de estados contemplados pelo modelo (DMUs), aliada ao uso de 1 *input* e 6 *outputs*, totalizando 7 variáveis, pode explicar o porquê de quase metade (44%) dos estados terem sido considerados completamente eficientes, um resultado que levanta dúvidas dada a situação precária da segurança pública no país.

Paulo (2016) calculou a eficiência dos serviços de segurança para todas as 27 unidades federativas nos anos de 2012 e 2013. Utilizando-se 4 tipos de gastos com segurança como *inputs* e os números absolutos de 6 tipos de crimes como *outputs*, a autora encontrou que 85% dos estados consumia seus recursos financeiros de forma ineficiente em 2012, e 78% em 2013. Notavelmente, todos os estados identificados como eficientes em 2012 mantiveram-se como tal no ano seguinte, apontando para a manutenção do padrão de serviço no período.

O uso de 10 variáveis no modelo, 4 *inputs* e 6 *outputs*, está sujeito à mesma crítica feita para o estudo de Fernandes (2016). Apesar de o modelo de Paulo (2016) apresentar

eficiências mais discriminadas, a grande quantidade de variáveis em relação à quantidade de DMUs põe em cheque a confiabilidade de seus resultados.

Além disto, nota-se que apesar de a autora utilizar variáveis de valores absolutos, elas não têm uma relação "proporcional". Enquanto a DEA calcula as eficiências assumindo que um aumento dos *inputs* acarretará em aumentos nos *outputs*, as variáveis selecionadas por Paulo (2016) apresentam comportamento oposto: espera-se que um aumento dos gastos com segurança pública (*inputs*) reduza o número de crimes praticados (*outputs*). Os *outputs*, neste caso, deveriam ter sido adaptados para uma forma que crescesse junto com os *inputs*, como por exemplo o inverso das taxas criminais, conforme adaptado por Fernandes (2016) (ignorando-se a questão do uso de razões como variáveis).

O trabalho de Schull, Feitosá e Hein (2014), por fim, avaliou a eficiência de 23 dos estados em relação aos gastos com segurança pública, afirmando que 48% deles operavam de forma ineficiente em 2011. O estudo apresenta falhas semelhantes às discutidas para os outros autores: o alto número de variáveis em relação à quantidade de DMUs, o uso de razões (taxas) como variáveis, e a relação inversa entre acréscimos de *inputs* e *outputs*. Uma característica que destaca este estudo dos demais é que, após o cálculo das eficiências, as autoras indicam metas para que os estados alcancem a eficiência baseados na projeção da DEA.

Em nenhum dos casos os autores discutiram as DMUs que poderiam ser usadas como *benchmarks* para suas colegas ineficientes, uma informação secundária calculada pela DEA considerada um dos seus pontos fortes e um dos motivadores para o uso da técnica.

Avaliando-se o corpo de pesquisa disponível para o tema, percebe-se que há um grande consenso sobre as variáveis adequadas para calcularem-se as eficiências dos serviços de segurança em cada estado: os investimentos na área como *inputs*, e alguma forma das taxas criminais como *outputs*. No entanto, muitas das informações geradas se perdem no uso inapropriado da metodologia, de forma que não podem ser trazidas para aplicações nos sistemas reais. Fica clara, então, a demanda por um estudo da eficiência dos serviços de segurança pública dos estados, obtida pela DEA, caracterizado pela adesão às restrições teóricas do método, além do uso pleno de suas possibilidades.

1.2 Objetivos geral e específicos

O principal objetivo deste trabalho é estimarem-se as eficiências relativas dos serviços de segurança pública dos estados brasileiros, gerando um diagnóstico empírico da alocação de recursos públicos por parte dos órgãos competentes.

Especificamente, foi desenvolvido um modelo DEA cujas principais etapas para atingir-se o objetivo supracitado são:

a) identificar um conjunto de indicadores de entrada e de saída;
b) propor o modelo de avaliação;
c) classificar as unidades segundo a eficiência apresentada;
d) projetar metas para as unidades em função das eficiências apresentadas;
e) identificar os pontos que devem ser melhorados nas unidades ineficientes.

1.3 Organização do trabalho

Além desta introdução, este trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta os conceitos essenciais para entendimento da DEA, técnica utilizada como base deste estudo. O capítulo 3 procura contextualizar a necessidade de desenvolver-se um estudo acerca da segurança pública brasileira. O capítulo 4 apresenta e discute a metodologia utilizada para o cálculo dos níveis de eficiência técnica dos estados brasileiros na provisão de segurança pública, além de apresentar e discutir os resultados obtidos pelos métodos descritos. Finalmente, no capítulo 5 são feitas as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Pesquisa Operacional (PO) é uma área do conhecimento que surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, período onde houve grande necessidade de desenvolverem-se métodos para solução de problemas militares de natureza logística, tática e estratégica. Com técnicas mais desenvolvidas e um crescente reconhecimento da área ao fim da guerra, a PO deixou de limitar-se apenas às tarefas bélicas e passou a englobar também problemas de controle de estoques, alocação de recursos e até mesmo planejamento estratégico. Com o desenvolvimento do algoritmo simplex para programação linear e o aparecimento de computadores ao longo das 3 décadas seguintes, tornando possível guardar e manipular uma enorme quantidade de dados de maneira eficiente, a PO tornou-se capaz de resolver problemas com centenas de milhares de variáveis e restrições (RAJGOPAL, 2001), representando uma ferramenta essencial para o funcionamento de sistemas complexos.

Pode-se dizer que o principal objetivo da PO é apoiar a tomada de decisões através da modelagem matemática de problemas que envolvam a utilização de recursos ou atividades limitados, fornecendo um conjunto de procedimentos para tratá-los de forma sistematizada. A observação de fenômenos, processos ou sistemas, que podem ser físicos, químicos, biológicos, econômicos, permite que se identifiquem leis que descrevem seus comportamentos. Quando passíveis de serem descritas por relações matemáticas, estas leis dão origem aos modelos matemáticos. Da forma como é tratado na PO, o modelo é um objeto abstrato que procura imitar as principais características de um objeto real a fim de representá-lo.

Em geral, para formulação de um modelo matemático é necessário fazerem-se simplificações razoáveis do sistema ou problema real. Naturalmente, a validação do modelo matemático depende de a sua solução ser coerente com o contexto original. Arenales *et al.* (2007) afirmam que com isso, o modelo matemático é uma representação simplificada (abstração) do problema real, devendo ser suficientemente detalhado para captar seus elementos essenciais, mas suficientemente tratável por métodos de resolução.

2.1 Programação Linear

Um problema qualquer de Programação Linear (PL) envolve a busca pela melhor dentre várias hipóteses simuladas a partir de um critério pré-estabelecido de otimalidade, de forma que são sempre problemas de otimização, onde procura-se maximizar ou minimizar uma determinada função. O termo *linear* refere-se à linearidade nas equações envolvidas na

modelagem do problema. Segundo Bronson e Naadimuthu (1997 *apud* FOGLIATTO, 2009), um problema de PL apresenta as seguintes características:

a) variáveis de decisão: conjunto de variáveis manipuláveis no procedimento de busca pelo ótimo;
b) função-objetivo: representa o critério de otimalidade. É uma função linear das variáveis de decisão, devendo ser maximizada ou minimizada;
c) restrições: funções lineares que delimitam a região de soluções viáveis do problema.

Utiliza-se o termo solução para representar atribuições de valores às variáveis de decisão, o que faz com que existam soluções viáveis (variáveis de decisão atendem a todas as restrições), inviáveis (ao menos uma restrição não é atendida) e ótima (além de viável, é a solução que gera o valor extremo, máximo ou mínimo, da função-objetivo).

De acordo com Bazaraa, Jarvis e Sherali (1990 *apud* FOGLIATTO, 2009), o formato padrão de um problema de PL com *m* restrições e *n* variáveis é dado por:

Maximizar (ou minimizar):

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2 \quad (3)$$

$$\ldots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m \quad (4)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_n \geq 0 \quad (5)$$

$$b_1 \geq 0, b_2 \geq 0, \ldots, b_m \geq 0 \quad (6)$$

Assim, a função "*z*" (1) representa a função-objetivo a que se deve maximizar ou minimizar; as variáveis x_n as variáveis de decisão acompanhadas de seus coeficientes $a_{mn;}$ e as funções lineares (2), (3), (4), (5) e (6) as restrições.

2.1.1 Algoritmo simplex

Após formulado, o modelo matemático é resolvido através de um dos algoritmos que resolvem problemas de PL, sendo o mais comum deles chamado de método simplex, criado por George Dantzig em 1947 (RAJGOPAL, 2001).

Para um problema colocado na forma padrão, o algoritmo simplex caminha de uma solução viável para outra, alterando o valor da função-objetivo até que o ponto ótimo seja alcançado (COLIN, 2007). A grosso modo, pode-se dizer que o algoritmo é dividido em três partes: a inicialização (preparação dos dados de entrada), iteração (repetição de determinado procedimento, fazendo com que a solução ótima seja encontrada) e regra de parada (o algoritmo avalia se a solução ótima foi obtida ou se sua obtenção é impossível).

Para o algoritmo simplex, um problema que possui m equações e n variáveis permite no máximo $n!/(m!(n–m)!)$ soluções básicas (COLIN, 2007). Desta relação, pode-se inferir que computacionalmente, é mais vantajoso que hajam menos restrições (equações) do que variáveis: se um problema possui 100 variáveis e 50 restrições (n = 100 e m = 50), há um limite de $6{,}1 \times 10^{91}$ soluções básicas; se possui 10.000 variáveis e 5.000 restrições (n = 10.000 e m = 5.000), o limite é de $1 \times 10^{3.000}$ soluções básicas – um número altíssimo para o algoritmo percorrer. Apesar disto, o método simplex normalmente converge para a solução ótima em aproximadamente $3m/2$ iterações (LUENBERGER, 1984 *apud* COLIN, 2007).

2.2 Análise por envoltória de dados: DEA

Os métodos de estimação de eficiência técnica mais comuns na literatura especializada classificam-se em paramétricos e não paramétricos. Os métodos paramétricos dependem da imposição de hipóteses sobre a distribuição dos erros e da forma funcional da função de produção. Os métodos não paramétricos possibilitam, entre outras coisas, trabalhar com modelo multiprodutos, além de não haver necessidade de supor qualquer forma funcional ou distribuição de probabilidade para os dados (LIMA e MARINHO, 2016). Dentre os métodos não paramétricos, encontra-se a DEA.

A análise por envoltória de dados, também conhecida por análise de fronteiras, é considerada um dos sucessos mais recentes da PL devido à sua relativa simplicidade e vasta aplicabilidade em problemas encontrados no mundo real. Através da resolução de modelos de otimização de PL, a técnica compara unidades produtivas que operam de maneira similar e, considerando-se os recursos consumidos e produtos gerados de cada uma, identifica aquelas que são mais eficientes dentre o grupo analisado – assim como as unidades ineficientes onde há oportunidade de melhoria. As unidades mais eficientes formam então uma fronteira de melhores práticas, que serve como guia para que as unidades ineficientes alcancem a mesma performance. Na Administração, este tipo de análise é conhecido como *benchmarking*.

Diferentemente das técnicas tradicionais de *benchmarking* em que empresários observam, comparam e identificam as melhores práticas, a DEA é orientada para a análise de dados empíricos através de um modelo matemático, minimizando a interferência de suposições que podem causar distorções nos resultados. Adicionalmente, a DEA permite que sejam identificadas práticas difíceis, muito complexas ou impossíveis de serem avaliadas pela simples observação ou pelas técnicas convencionais de análise (COLIN, 2007).

De modo geral, a DEA contempla problemas com múltiplos recursos (usados para gerar produtos e/ou serviços, ou *inputs*) e múltiplas saídas (produtos e serviços gerados, ou *outputs*) para cada unidade produtiva (ou DMU, do inglês *Decision-Making Unit*). Segundo Colin (2007), a DEA determina, especificamente:

a) a melhor prática – grupo de DMUs mais eficientes;
b) as DMUs menos eficientes quando comparadas com as melhores práticas;
c) a quantidade de recursos utilizados de forma improdutiva nas DMUs menos eficientes;
d) para cada uma das DMUs menos eficientes, o grupo das unidades de melhor prática que são mais parecidas com elas e que podem ser usadas como *benchmarks.*

A capacidade com que uma unidade consegue gerar saídas para determinadas entradas corresponde à sua eficiência, abordada a seguir.

2.2.1 Eficácia vs. produtividade vs. eficiência

A eficácia está ligada apenas ao que é produzido, sem levar em conta os recursos usados para a produção. Se tomarmos um cursinho pré-vestibular como exemplo, digamos que ele tenha o objetivo de preencher 15 das 20 vagas de um curso de odontologia de uma universidade qualquer. Caso o cursinho consiga aprovar 15 ou mais de seus alunos, pode-se dizer que ele foi eficaz. Porém, não se sabe se ele foi eficiente: não são conhecidos, dentre outras coisas, que tipo de alunos estavam inscritos, quantos professores trabalhavam, quantas horas semanais de aula eram ministradas, quais os recursos audiovisuais estavam à disposição, etc. Principalmente, não são conhecidos os resultados obtidos pelos cursinhos concorrentes. Pode-se então dizer que eficácia equivale puramente à capacidade de uma unidade produtiva de atingir a produção que tinha como meta (MELLO *et al.*, 2005).

Enquanto a eficácia preocupa-se com a quantidade produzida, a produtividade preocupa-se com a razão entre o que foi produzido e aquilo que foi gasto para produzir, conforme a Equação 7:

$$Produtividade = \frac{Produtos}{Recursos} = \frac{Outputs}{Inputs} \tag{7}$$

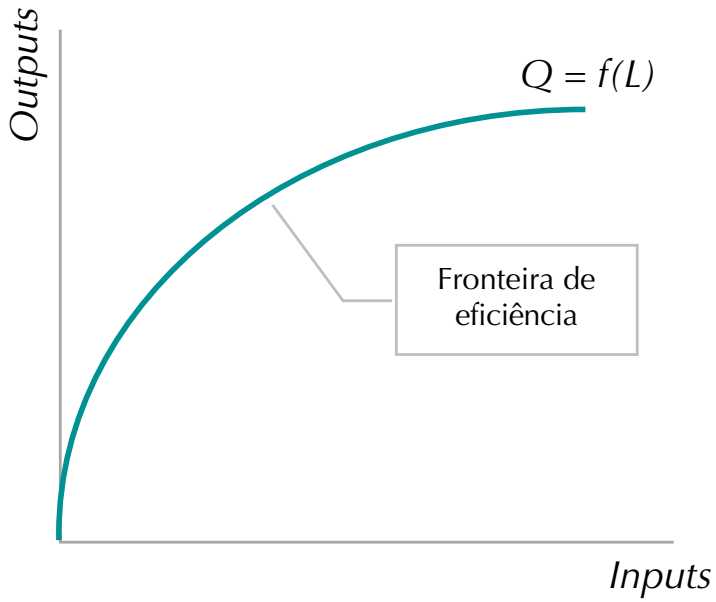
Como a produtividade é resultado de duas quantidades diferentes, também tem medidas diferentes para cada caso. Para o cursinho pré-vestibular do exemplo anterior, a medida de no. alunos aprovados / horas de aula ministradas é um indicador de produtividade.

No estudo da eficiência da administração interna das organizações, Farrell (1957 *apud* SERRANO *et al.*, 2016) caracterizou três dimensões distintas: a eficiência alocativa, a eficiência econômica e a eficiência técnica. Esta última é o conceito mais comumente utilizado nas avaliações de desempenho pela DEA, e é também a contemplada neste trabalho.

Quando o conceito de eficácia foi desenvolvido nos parágrafos acima, foi deixado implícito que a eficiência está ligada à comparação entre DMUs. A eficiência é um conceito relativo, que compara o que foi produzido dada uma quantidade limitada de recursos com o máximo que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos, não necessariamente pela mesma organização.

A função que relaciona a máxima quantidade de produtos, ou *outputs*, que podem ser gerados por uma dada quantidade de recursos, ou *inputs*, é chamada função de produção. A função de produção mapeia as entradas em relação às saídas e é uma representação matemática de várias receitas tecnológicas a partir do qual uma empresa pode configurar seu processo de produção (FIORETTI, 2008), isto é, indica o mais alto valor de *outputs* que a empresa pode produzir para cada combinação específica de *inputs* (BESANKO e BRAEUTIGAM, 2011). Tomando-se Q como a quantidade de *outputs* e L como a quantidade de *inputs*, conforme ilustrado na Figura 1:

Figura 1 – Curva da função de produção

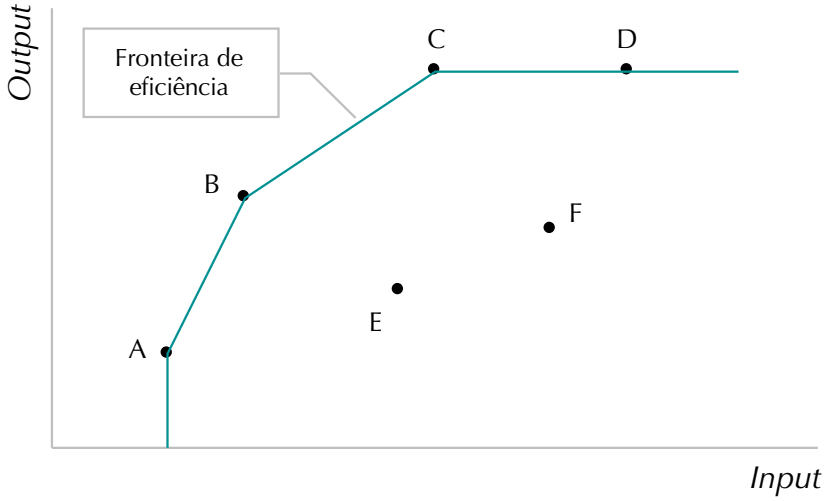


Fonte: Adaptado de Besanko e Braeutigam (2011).

A curva $Q = f(L)$ delimita o máximo que pode ser produzido para cada nível de *inputs*, e a área abaixo da curva corresponde ao conjunto viável de produção (MELLO *et al.*, 2005), ou todas as combinações possíveis de *inputs* e *outputs*. Porque a curva representa a produção máxima possível, qualquer DMU que produza abaixo dela está subutilizando seus recursos, isto é, está operando de maneira ineficiente. Uma DMU situada na curva é eficiente, pois não há combinação do nível atual de *inputs* que poderiam gerar maior quantidade de *outputs*, e maiores níveis de *outputs* não poderiam ser produzidos com níveis menores de *inputs*. Por este motivo, a curva é também chamada de fronteira de eficiência.

Os métodos não-paramétricos para cálculo da eficiência, nos quais está inclusa a DEA, não fazem nenhuma suposição funcional e consideram que o máximo que poderia ter sido produzido é obtido por meio da observação das unidades mais produtivas (MELLO *et al.*, 2005). Em outras palavras, a DEA estima a fronteira de eficiência baseando-se no máximo desempenho observado entre as DMUs.

Figura 2 – Fronteira de eficiência estimada pela DEA (retornos variáveis de escala)



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 2, percebe-se que a fronteira de eficiência é formada pelas DMUs A, B, C e D, que demonstraram melhor relação entre o consumo de *inputs* e produção de *outputs* (produtividade). Porque estão localizadas na fronteira, suas eficiências equivalem a 100%. As DMUs E e F, por outro lado, estão abaixo da curva, de forma que são consideradas ineficientes.

2.2.1.1 Unidades Pareto-eficientes e folgas

Na Figura 2, observa-se que a DMU D, apesar de eficiente, apresenta uma característica diferente das demais. "Deslizando" pela fronteira, as DMUs A, B e C só conseguiriam reduzir o consumo de *input* com redução também na quantidade de *output*. No entanto, a DMU D é capaz de reduzir o *input* até o ponto C mantendo o mesmo nível de *output* e permanecendo na região viável de produção. Esta quantidade que ainda é possível de ser reduzida mesmo quando a DMU já está localizada na fronteira de eficiência é conhecida como folga (MELLO *et al.*, 2005).

Os autores ainda dizem que apesar de 100% eficiente a unidade D não é, a grosso modo, tão eficiente quanto as outras unidades da fronteira. A seção da fronteira formada pelas DMUs A, B e C é denominada fronteira Pareto-eficiente ou fronteira fortemente eficiente. O segmento horizontal à direita de C, assim como o segmento vertical abaixo de A, são juntos denominados fronteira não-Pareto-eficiente ou fronteira fracamente eficiente.

2.2.2 Orientação do modelo

Para uma DMU abaixo da curva tornar-se eficiente, ela deve se deslocar para a fronteira de eficiência. Nos modelos clássicos da DEA, isto pode ser feito de duas maneiras: maximizando-se os níveis de *outputs* para um dado nível de *inputs* (orientação a *outputs*), ou minimizando-se os níveis de *inputs* requeridos para produzir um certo nível de *outputs* (orientação a *inputs*) (SERRANO *et al.*, 2016).

A interpretação gráfica das orientações para *inputs/outputs* é ilustrada na Figura 3. Para a unidade ineficiente E da figura anterior, a eficiência pode ser calculada de duas formas:

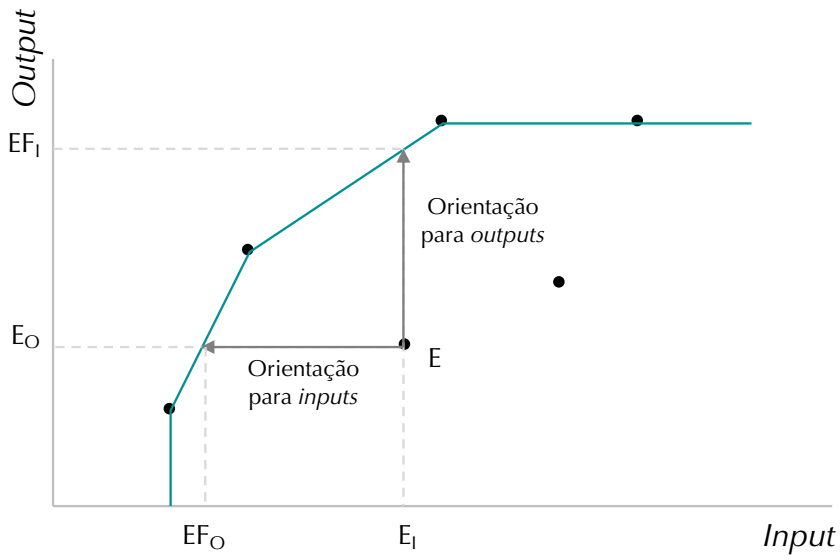
Quadro 2 – Cálculo da eficiência de acordo com orientação do modelo

Orientação	**Cálculo da eficiência**
Inputs	EF_O/E_I
Outputs	EF_I/E_O

Fonte: Yang (2006).

Onde EF_O é o ponto no eixo horizontal onde a projeção horizontal de E cruza a fronteira de eficiência, E_I a projeção de E no eixo horizontal, EF_I o ponto no eixo vertical onde a projeção vertical de E cruza a fronteira de eficiência, e E_O a projeção de E no eixo vertical.

Figura 3 – Interpretação gráfica da orientação do modelo



Fonte: Adaptado de Yang (2006).

Em vista disto, deve-se especificar na DEA qual *approach* será usado para calcularem-se as eficiências relativas das DMUs, já que a orientação do modelo afetará os valores devolvidos pela técnica.

2.2.3 Retornos de escala

Dado que produtividade é obtida pelo quociente entre os *outputs* e *inputs* (subcapítulo 2.2.1), a produtividade marginal (*PM*) de um fator é dada pela razão entre a variação de *outputs* e variação de *inputs*, a saber (BENICIO *et al.*, 2015):

$$PM = \frac{\Delta\, Outputs}{\Delta\, Inputs} \tag{8}$$

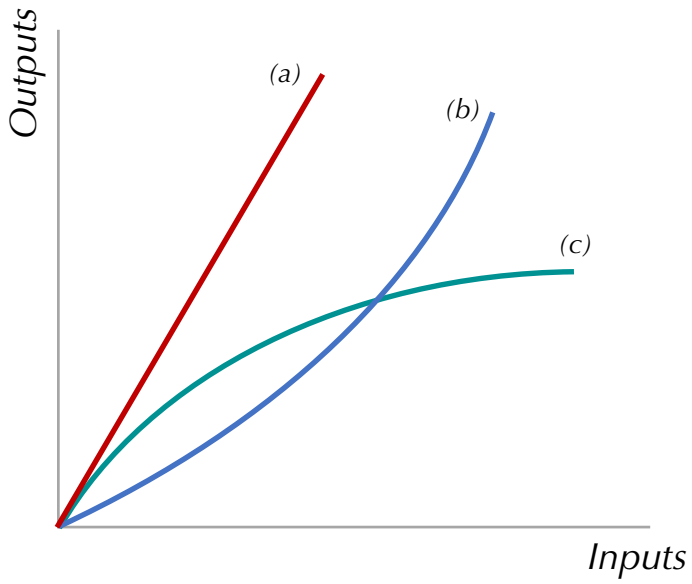
Desta forma, se a variação dos *inputs* é a mesma que a variação dos *outputs* ($PM = 1$), a produção tem retornos constantes de escala. Isto significa dizer que um aumento dos *inputs* gerará um aumento proporcional na quantidade de *outputs*.

Se a variação dos *inputs* é menor que a variação dos *outputs* ($PM > 1$), a produção tem retornos crescentes de escala, o que significa dizer que um aumento dos *inputs* gerará um aumento ainda maior na quantidade de *outputs*.

Se a variação dos *inputs* é maior que a variação dos *outputs* ($PM < 1$), a produção tem retornos decrescentes de escala, o que significa dizer que um aumento dos *inputs* ainda gerará um aumento, mas de menor proporção, na quantidade de *outputs*.

Na Figura 4 são apresentados os diferentes comportamentos da fronteira eficiente de produção conforme variação da produtividade marginal.

Figura 4 – Comportamento da fronteira eficiente na presença de (a) Retornos constantes de escala; (b) Retornos crescentes de escala; e (c) Retornos decrescentes de escala



Fonte: Adaptado de Benicio *et al.* (2015).

Os modelos DEA assumem fronteiras de eficiência com formatos diversos baseando-se nas diferentes suposições de retornos de escala.

2.2.4 Escolha das DMUs e variáveis de input/output

O conjunto de DMUs avaliado deve utilizar os mesmos *inputs* e *outputs*, variando apenas em intensidade. O conjunto deve ser homogêneo, isto é, realizar as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões (MELLO *et al.*, 2005).

A escolha dos *inputs* e *outputs* do modelo deve ser feita a partir de uma ampla lista de variáveis possivelmente ligadas ao tema abordado. Apesar da importância de incluírem-se todas as variáveis relevantes no modelo, uma quantidade muito grande das mesmas pode fazer com que a DEA perca seu poder discriminatório, fazendo com que um número excessivo de DMUs apareçam na fronteira de eficiência (MATEO, 2016). Este fenômeno é conhecido como a maldição da dimensionalidade (*curse of dimensionality*) na DEA, e significa que muitas DMUs estão incorretamente classificadas como eficientes por conta de uma superestimação dos dados (ADLER e YAZHEMSKY, 2010).

A regra de ouro (*Golden Rule*) estabelecida por Banker *et al.* (1989 *apud* SERRANO *et al.*, 2016) estipula que o número de DMUs utilizadas num modelo DEA tradicional deve ser igual ou maior que três vezes a soma total do número de variáveis ou igual ou maior do que o produto do número de *inputs* e o número de *outputs*. O maior entre os dois critérios deve ser o número mínimo de DMUs que o modelo deve avaliar para que se considere confiável. Matematicamente (EMROUZNEJAD e AMIN, 2009):

$$n \geq max\{3(m+s), m \times s\} \tag{9}$$

Onde n é definido como o número de DMUs, m o número de *inputs* e s o número de *outputs* do modelo.

2.2.5 Modelagem clássica da DEA

Charnes *et al.* (1978 *apud* RAMOS e FERREIRA, 2007) desenvolveram um método em Programação Linear para calcular a eficiência técnica de Farrell através da definição da fronteira eficiente e da projeção das unidades ineficientes sobre essa fronteira. O método consiste, inicialmente, em modelar múltiplos produtos e insumos em um único produto "virtual" para um único insumo "virtual" e estabelecendo um escore de eficiência dado pela Equação 10 (RAMOS e FERREIRA, 2007):

$$h = \frac{Produto\ virtual}{Insumo\ virtual} = \frac{Soma\ ponderada\ dos\ outputs}{Soma\ ponderada\ dos\ inputs} \tag{10}$$

Como a análise do que é melhor quando se trata com subjetividades é muito conflituosa, a DEA considera que cada unidade possa definir o seu próprio critério de ponderação, em que ela pode atribuir pesos para cada um dos *inputs* e *outputs* de acordo com sua conveniência (COLIN, 2007). Assumindo-se que cada DMU k possa atribuir um peso u_j para o *output j* e um outro peso v_i para o input i, a eficiência pode ser redefinida pela Equação 11:

$$h_0 = \frac{u_1 y_{jk} + \cdots + u_s y_{sK}}{v_1 x_{jk} + \cdots + v_r x_{rK}} = \frac{\sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0}} \tag{11}$$

Onde h_0 é a eficiência da DMU_0, y e x os diferentes *outputs* e *inputs* analisados, e u_j e v_i os pesos escolhidos para os *outputs* e *inputs* daquela DMU.

O segundo passo para calcularem-se as eficiências das unidades produtivas consiste em resolver o problema de PL que maximiza a eficiência de cada DMU sujeito à restrição de que nenhuma outra DMU tenha escore maior que 1 (RAMOS e FERREIRA, 2007). Portanto:

$$\max h_0 = \frac{\sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0}} \qquad (12)$$

Entretanto, a expressão na forma fracionária não pode ser resolvida pela PL. Assim, considera-se arbitrariamente que o denominador da Equação 3 é igual a 1 ($\sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0} = 1$ se torna uma restrição) (COLIN, 2007), resultando na nova função objetivo dada pela Equação 13. As restrições do modelo de PL são então adaptadas para acomodar esta mudança.

$$\max h_0 = \sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0} \qquad (13)$$

2.2.5.1 Modelo CCR

As formulações do modelo Charnes, Cooper e Rhodes (CCR), nas suas formas primal e dual, orientados para *inputs* ou *outputs*, são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Formulações do modelo CCR

	Orientação	
	Inputs	***Outputs***
Primal (multiplicadores)	$\max h_0 = \sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0}$ s.a. $\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} \leq 0, K = 1, \dots, n$ $u_i \; e \; v_j \geq 0 \; \forall \; j, i$	$\min h_0 = \sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0}$ s.a. $\sum_{i=1}^{r} u_j y_{jk} = 1$ $\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} \leq 0, K = 1, \dots, n$ $u_i \; e \; v_j \geq 0 \; \forall \; j, i$

	Orientação	
	Inputs	***Outputs***
Dual (envelope)	$\min \theta$ s.a. $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik}\lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk}\lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s$ $\lambda_K \geq 0 \; \forall \; k$	$\max \theta$ s.a. $-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk}\lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, s$ $x_{i0} + \sum_{k=1}^{n} x_{ik}\lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, r$ $\lambda_K \geq 0 \; \forall \; k$

Fonte: Guerreiro (2006).

2.2.5.2 Modelo BCC

As formulações do modelo Banker, Charnes e Cooper (BCC), nas suas formas primal e dual, orientados para *inputs* ou *outputs*, são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Formulações do modelo BCC

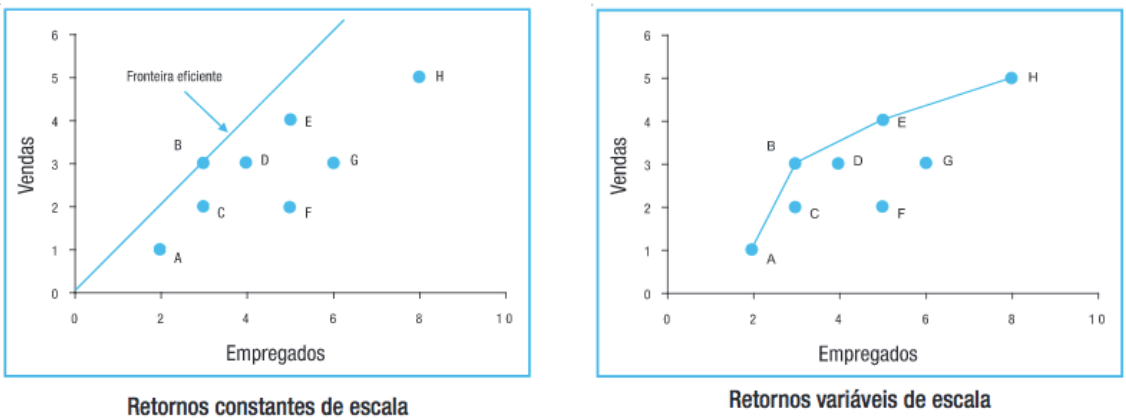
	Orientação	
	Inputs	***Outputs***
Primal (envelope)	$\min \theta$ s.a. $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik}\lambda_k \geq 0, i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk}\lambda_k \geq 0, j = 1, \dots, s$ $\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1$ $\lambda_K \geq 0 \; \forall \; k$	$\max \theta$ s.a. $x_{i0} - \sum_{k=1}^{n} x_{ik}\lambda_k \geq 0, \forall \; i$ $-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^{n} y_{jk}\lambda_k \geq 0, \forall \; j$ $\sum_{k=1}^{n} \lambda_k = 1$ $\lambda_K \geq 0 \; \forall \; k$
Dual (multiplicadores)	$\max h_0 = \sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0} - u_*$ s.a. $\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} \leq 0, K = 1, \dots, n$ $u_i \; e \; v_j \geq 0 \; \forall \; j, i$ $u_* \in \Re$	$\min h_0 = \sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0} - u_*$ s.a. $\sum_{i=1}^{r} u_j y_{jk} = 1$ $\sum_{i=1}^{r} v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^{s} u_j y_{jk} \leq 0, K = 1, \dots, n$ $u_i \; e \; v_j \geq 0 \; \forall \; j, i$ $v_* \in \Re$

Fonte: Guerreiro (2006).

2.2.5.3 Principais diferenças

O modelo CCR avalia a eficiência das DMUs considerando apenas retornos constantes de escala, enquanto o modelo BCC considera retornos variáveis de escala (podem ser constantes, crescentes ou decrescentes). A Figura 5 apresenta a diferença entre as fronteiras de eficiência dos modelos CCR e BCC para um caso genérico de DMUs com um único *input* (empregados) e um único *output* (vendas).

Figura 5 – Fronteiras de eficiência nos modelos CCR e BCC, respectivamente



Fonte: Ramos e Ferreira (2007).

Nota-se que no caso CCR apenas a DMU B é considerada eficiente, enquanto no modelo BCC, que permite retornos variáveis de escala, as DMUs A, E e H tornam-se também eficientes. É comum que os modelos BCC encontrem mais unidades eficientes que o CCR, já que o primeiro tipo assume diferenças de desempenho de produtividade em função da escala dos insumos.

2.2.5.4 Interpretação dos modelos envelope: identificação das unidades alvo

Enquanto no modelo dos multiplicadores as variáveis de decisão do problema de PL são os pesos que maximizam a eficiência de cada DMU, no modelo do envelope busca-se encontrar o θ e λ's (MELLO *et al.*, 2005). Os respectivos modelos dos multiplicadores e do envelope sempre terão o mesmo valor ótimo para a função objetivo (quando este existir), pois são problemas primal e dual.

Apesar de não fornecer os exatos pormenores de como eliminar as ineficiências identificadas pela ferramenta, a DEA indica quais unidades da fronteira, 100% eficientes, são

mais relevantes como *benchmarks* para cada umas das outras DMUs. O modelo do tipo envelope busca os valores de λ_k que minimizem θ, sendo λ a contribuição da DMU k na formação do alvo da DMU_0 (as DMUs com λ_k não-nulo são os *benchmarks* da DMU_0, ou suas Unidades Alvo) (GUERREIRO, 2006). Quanto maior o valor de λ encontrado entre duas DMUs, maior a importância da DMU *benchmark* correspondente como referência para a DMU ineficiente.

3 O PROBLEMA DA SEGURANÇA PÚBLICA NO BRASIL

A Constituição Federal (CF) de 1988 foi a primeira a incluir em seu texto um capítulo sobre a segurança pública, trazendo importantes avanços na legitimação da atuação estatal na formulação e execução de políticas de segurança (SILVA, 2018). Contudo, três décadas depois o modelo de segurança pública ainda está distante de garantir a efetiva proteção da sociedade e necessita de profundas reformas.

O texto constitucional coloca a segurança como um direito fundamental, garantindo aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no Brasil a sua inviolabilidade (art. 5º). Define ainda que "são direitos sociais, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados". Nota-se que, dentre os direitos sociais garantidos pela CF, somente a segurança não é contemplada em um ministério.

O Supremo Tribunal Federal definiu que "o direito a segurança é prerrogativa constitucional indisponível, garantido mediante a implementação de políticas públicas, impondo ao Estado a obrigação de criar condições objetivas que possibilitem o efetivo acesso a tal serviço. É possível ao Poder Judiciário determinar a implementação pelo Estado, quando inadimplente, de políticas públicas constitucionalmente previstas, sem que haja ingerência em questão que envolve o poder discricionário do Poder Executivo" (SILVA, 2018).

A CF afirma, no capítulo que trata da segurança pública, art. 144, que esta é dever do Estado, direito e responsabilidade de todos, exercida para a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, através dos seguintes órgãos: polícia federal, polícia rodoviária federal, polícia ferroviária federal, polícias civis, polícias militares e corpos de bombeiros militares. Percebe-se que a legislação se refere apenas às instituições policiais da União e dos Estados, sem abordar o papel de outros órgãos governamentais e da sociedade na prevenção à violência e criminalidade.

Segundo Silva (2018), a segurança pública é na verdade um sistema complexo que contempla várias ações de caráter preventivo (educação, saúde, emprego, policiamento preventivo, etc); a legislação penal (definição de crimes e penas); a persecução penal (atuação dos órgãos policiais de investigação e o Ministério Público); o processo penal (julgamento do acusado pelo juiz); a execução penal (cumprimento da pena pelo condenado) e a ressocialização (reintegração do preso à sociedade). Estes elementos do sistema de segurança pública interagem entre si de maneira interdependente, formando um conjunto que precisa ser administrado em sua integralidade e em cada uma de suas partes, uma vez que todas as variáveis, internas e externas, influenciam todo o sistema e os seus resultados.

A autora cita ainda os especialistas Arthur Trindade e Renato Sérgio de Lima: “a segurança pública constitui um campo formado por diversas organizações que atuam direta ou indiretamente na busca de soluções para problemas relacionados à manutenção da ordem pública, controle da criminalidade e prevenção de violências”, concluindo que a segurança pública precisa ser gerida de forma sistêmica para que haja coordenação e efetiva interação de todos os seus segmentos no país.

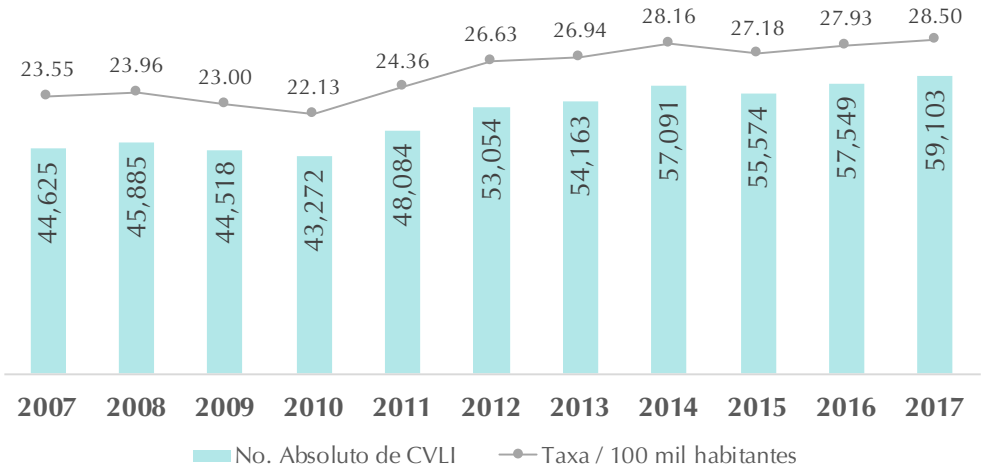
3.1 Panorama atual da violência

Segundo levantamento feito pelo Portal G1 com base nos dados oficiais dos 26 estados e Distrito Federal, no ano passado o Brasil teve 59.103 vítimas assassinadas, ou uma a cada 9 minutos, em média (CAESAR e REIS, 2018). O dado contabiliza todos os homicídios dolosos, latrocínios e lesões corporais seguidas de morte, que juntos compõem os chamados crimes violentos letais e intencionais (CVLI). O número divulgado ainda é inédito, visto que muitos dos estados ainda não divulgaram suas estatísticas oficiais, e foi obtido por jornalistas do G1 espalhados pelo país, que solicitaram os dados via Lei de Acesso à Informação seguindo o padrão metodológico utilizado pelo Anuário Brasileiro de Segurança Pública (ABSP), divulgado normalmente no fim do ano.

Segundo dados apontados na Figura 6 a seguir, o aumento do número destes tipos de crime em relação ao ano de 2016 foi de 2,7%, mas acumulou 32,44% quando comparado a 2007, refletindo a tendência crescente da violência no país no médio-longo prazo apesar de a série histórica registrar queda em anos específicos. Naturalmente, a taxa de CVLI a cada 100 mil habitantes, registrada em 28,5 no ano passado, também sofreu aumento, calculado em 2,04% em relação a 2016 e 21,02% desde 2007 (o menor crescimento percentual da taxa quando comparada à taxa do crescimento do número absoluto de crimes desde 2007 pode ser explicado pelo aumento populacional no período).

Os números da violência no maior país da América Latina tornam-se ainda mais impressionantes quando postos em perspectiva internacional. Desde o início do conflito sírio em 2011 até 2017, morreram 330.000 pessoas (EL PAÍS, 2017), enquanto os CVLI registrados no Brasil durante o mesmo período somaram 384.618 vítimas. Ao longo de 14 anos, de 2003 a 2017, a guerra do Iraque provocou 268.000 fatalidades (EL PAÍS, 2017). Em um período ainda mais curto, compreendendo 10 anos entre 2007 e 2017, foram 562.918 assassinados no Brasil. Em números absolutos, o país vive em situação análoga à de guerra.

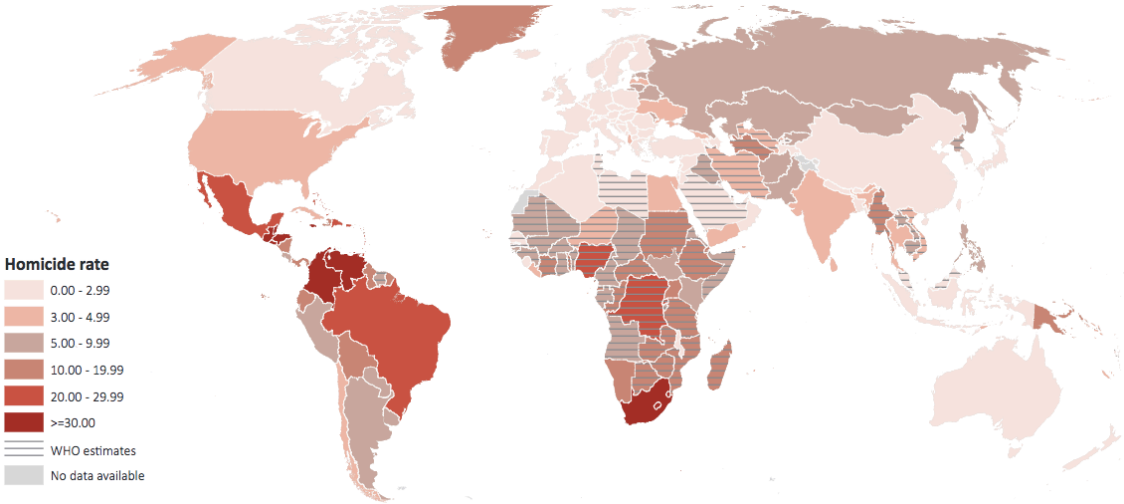
Figura 6 – Evolução do no. absoluto de CVLI e taxa / 100 mil habitantes no período de 2007-2017



Fonte: Elaborado por autora. Dados de ABSP (2017), Caesar e Reis (2018).

Seria possível pensar que as dimensões continentais do país justificassem os números absolutos da violência constatados. No entanto, o mapa mundial de taxas de homicídio desenvolvido pela *United Nations Office on Drugs and Crime* (UNODC) para os dados de 2012 mostra que o Brasil também é um dos países com maiores taxas de homicídio por 100 mil habitantes do mundo.

Figura 7 – Mapa de taxas de homicídios mundiais em 2012



Fonte: UNODC (2013).

É consenso entre a maioria dos especialistas que o perfil de quem mata no país é parecido com o perfil de quem morre. Em geral, apontam, são homens negros de baixa renda,

com baixa escolaridade, com até 29 anos, e moradores da periferia – especialmente locais onde o Estado é ausente e não atua com políticas públicas (CAESAR e REIS, 2018).

As mortes costumam ter alguma relação com o tráfico de drogas. Para os especialistas consultados por Caesar e Reis (2018), o aumento no número de crimes violentos está ligado ao fortalecimento e às brigas de facções criminosas, além de serem facilitados pela crescente oferta e circulação de armas de fogo. Além disto, poucas das mortes são esclarecidas. Na maioria dos casos, o autor do crime não é identificado, denunciado ou condenado, indicando a necessidade de se investir mais em prevenção, inteligência e investigação. A impunidade é mencionada como um dos fatores que mais estimulam a violência.

3.2 Os custos invisíveis com violência e criminalidade

Além dos gastos financeiros arcados pelo Estado e por toda a sociedade para lidar com o problema da violência e criminalidade, existem custos econômicos intangíveis, sobre os quais não há uma despesa específica mas que contribuem para diminuir a qualidade de vida e o bem-estar da população (CERQUEIRA, 2017).

Dentro dos gastos financeiros relacionados à segurança pública pode-se mencionar a execução orçamentária pública direcionada ao sistema de justiça criminal, incluindo as Polícias, Ministério Público, Defensorias e Justiça, além do sistema de execução penal e do sistema socioeducativo para adolescentes infratores. Outros tipos de custos ainda poderiam ser justamente acrescidos aos custos explícitos, como as despesas do sistema de saúde para tratamento das vítimas, além de gastos em assistência e previdência social. Além do desembolso público, o setor privado também tem dispêndios financeiros na forma de seguros, segurança privada e equipamentos utilizados a fim de tentar-se minimizar os danos.

Existem, porém, outros tipos de custos menos visíveis. A morbidade física ou psicológica, os prejuízos acarretados por interrupção dos negócios e dias de trabalho e de escola perdidos representam custos econômicos intangíveis relacionados à violência e que ocasionam perda de produtividade à sociedade. Da mesma maneira, como a criminalidade impacta no custo logístico das operações, já que deixa transportes e seguros mais caros, ela funciona de forma análoga à aplicação de um imposto, aumentando os preços e diminuindo, em consequência, a demanda no mercado de bens e serviços. De forma mais abrangente, a atividade econômica também sofre perdas, ainda, por um desestímulo à acumulação de capital em face de incertezas e por conta da diminuição de atividades como o turismo.

No entanto, o maior custo para o Brasil se dá pela perda de vidas. Sabemos que a maior riqueza das nações são as pessoas. Inúmeros estudos mostraram que o processo de desenvolvimento dos países, ao longo dos séculos, está intrinsecamente relacionado à diminuição da taxa de mortalidade e ao investimento em educação (CERQUEIRA, 2017). A perda prematura de vidas, portanto, sobretudo de jovens, conspira diretamente contra o futuro do próprio país. Apesar de a tragédia da perda de uma vida não poder ser quantificada na sua dimensão humana, existe um custo econômico que pode ser medido. Os habitantes do país nascem, estudam, trabalham, consomem e poupam ao longo de um ciclo de vida. O risco da morte prematura devido aos homicídios diminui o valor esperado da produção, do consumo e da poupança, o que pode ser monetizado por meios de inferência estatística baseada em modelos econômicos (CERQUEIRA, 2017). O problema da violência letal afeta não apenas as gerações presentes, mas também as futuras, cujo montante os economistas chamam de custo de bem-estar econômico devido aos homicídios, conforme detalhado por Cerqueira e Soares (2016).

Alguns estudos procuram estimar vários dos componentes dos custos da violência discutidos acima, expressando-os não apenas em reais correntes, mas como proporção do PIB brasileiro. A tabela abaixo resume o custo econômico da violência no país considerando-se o PIB de 2016. Nota-se que o custo da violência no Brasil atinge 5,9% do PIB, ou aproximadamente R$ 372 bilhões a cada ano, o mesmo que a riqueza gerada pelos estados da Região Norte no ano passado, ou quase 13 vezes o orçamento previsto para o Bolsa-Família de 2018 (PACHECO, 2018).

Tabela 1 – Estimativa dos custos indiretos com a violência no Brasil

Componente	Ano de Cálculo	% do PIB	Bilhões de R$ (PIB 2016)
Custos privados (I)		**4,2%**	**261**
Custos Intangíveis com Homicídios*	2012	2,5%	**157**
Gastos com Segurança Privada e Seguros	2004	1,7%	**105**
Despesas Públicas(II)		**1,8%**	**111**
Sistema de Saúde	2003	0,1%	**9**
Segurança Pública (polícia)	2015	1,4%	**88**
Sistema Prisional*	2013	0,2%	**14**
Custo da violência no Brasil (I+II)		**5,9%**	**372**

Fonte: Cerqueira (2017).

É evidente que os valores da Tabela 1 devem ser atualizados de forma mais cuidadosa para refletir o aumento da violência nos últimos anos. Por outro lado, conforme se pode deduzir dos argumentos apresentados nos parágrafos anteriores, vários elementos que participam do custo da violência não foram mensurados, mesmo porque não existem dados minimamente confiáveis. Os valores apresentados na Tabela 1, portanto, devem ser encarados como limites inferiores ao custo real da violência no Brasil, configurando uma perda exorbitante que a sociedade brasileira tem a cada ano, que corresponderia a um imposto anual de R$ 1.800,00, pago por cada cidadão (CERQUEIRA, 2017).

Por fim, comparando-se os gastos nacionais com as polícias contra àqueles dos 28 países que formam a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), verifica-se que não se gasta pouco no Brasil para se controlar o crime. De acordo com Cerqueira (2017), enquanto os países desenvolvidos ocidentais despendem cerca de 1% do PIB com suas polícias, o Brasil gasta 1,4%. Esta observação indica que o debate acerca da segurança pública no país não deveria ser pautado apenas pela necessidade de mais recursos para comportar o aumento do efetivo policial e a aquisição de viaturas, mas sim focado na efetividade dos gastos públicos. Neste sentido, a crise fiscal dos anos recentes torna este o momento ideal para repensarem-se as políticas de segurança e o uso mais eficaz dos recursos pagos pelos cidadãos.

3.3 A desconexão entre os órgãos policiais

No Brasil, os serviços de segurança pública interna são atribuições das unidades da federação. Cada unidade da federação possui sua força policial constituída dos efetivos das policias militar e civil. A primeira, encarregada dos serviços de policiamento ostensivo e de repressão ao crime; a segunda, também chamada de polícia judiciária, encarrega-se das atividades de investigações (LIMA e MARINHO, 2016). A maioria das demandas nacionais por segurança pública envolve a atuação de ambas, responsáveis pela maioria das ocorrências criminais do país.

Os órgãos policiais possuem organização, estrutura, quadro funcional e remuneração diferentes em cada estado, assim como formas de atuação independentes e às vezes até mesmo conflitantes entre si. Porque não existem leis nacionais que regulamentem as polícias civis e militares, o resultado é um panorama de diversas formulações para a solução de problemas similares de segurança no país (SILVA, 2018).

Nas polícias civis e militares falta estrutura para o desempenho de suas atividades. Silva (2018) comenta que as corporações estão em geral sucateadas, com instalações antigas,

equipamentos obsoletos, armamentos e viaturas em precárias condições de uso. O efetivo reduzido e a ausência de políticas de recursos humanos que promovam a valorização, a segurança e o incentivo para o trabalho, geram um quadro de sacrifício dos policiais, que têm que fazer um esforço sobre-humano para atender à sociedade. Esse cenário tem deixado a polícia acuada e vitimado centenas de policiais.

A média nacional de elucidação de homicídios varia de 5 a 8%, segundo estimativa do Fórum Brasileiro de Segurança Pública. O arcaico inquérito policial, criado em 1871 (SILVA, 2018), burocratiza a investigação e impede que haja agilidade em sua execução, que é fundamental para o êxito da investigação policial. A escassez de dados e de estatísticas criminais dificulta o diagnóstico mais preciso, que poderia revelar um cenário ainda mais caótico.

3.4 A (des)padronização das estatísticas criminais

Suponha uma situação onde um carro freia em frente a uma festa e, dele, descem homens armados que invadem o local já atirando, deixando 14 pessoas mortas e outras 10 feridas. A polícia é chamada e, para formalizar a ocorrência, precisa definir quantos homicídios serão registrados.

O relato acima se refere a uma ocorrência real, conhecida como a chacina das Cajazeiras, ocorrida em janeiro deste ano em Fortaleza, no Ceará. Na ocasião, foram registradas 14 vítimas e outras 10 tentativas de homicídio, totalizando 24 ocorrências. Contudo, se o crime tivesse ocorrido em qualquer outro estado, seria necessário saber como cada um deles registra uma ocorrência de chacina e/ou homicídio para contabilizarem-se os números oficiais. Não seria impossível que o caso virasse apenas um registro em outra unidade federativa.

Outros exemplos de variação nos registros criminais podem ser levantados. Lima e Bueno (2018) questionam: uma pessoa sofre uma agressão muito violenta e, após um mês, morre em um hospital. O registro inicial na delegacia de polícia era de tentativa de homicídio, mas qual nomenclatura vai assumir após a morte da vítima? O boletim de ocorrência inicial será retificado ou um novo será produzido? E um estupro que resulta na morte de uma mulher, como é contabilizado na estatística oficial de um estado? E a morte decorrente da intervenção de um policial no horário de trabalho?

Os exemplos narrados acima caracterizam os desafios enfrentados pelo Estado brasileiro em uma tarefa que deveria ser prioridade: compilar de forma adequada o número de crimes contra a vida no país a partir de um sistema padronizado que permitisse a plena

comparação das informações entre os 27 estados. Embora já tenham se passado 30 anos desde a redemocratização, o Brasil ainda não desenvolveu um padrão único de classificação dos homicídios, o que prejudica não apenas as comparações entre as unidades da federação, mas também do Brasil com o resto do mundo. Esta ausência de padronização é reflexo da negligência histórica do governo federal em relação aos serviços de segurança pública, relegando às unidades federativas, responsáveis pela gestão das polícias Civil e Militar, a responsabilidade única pelo tema.

A falta de coordenação federal resultou também na falta de um sistema nacional de estatísticas para monitorar os fenômenos de crime e violência. Em 2012 foi regulamentado o Sinesp, sistema do Ministério da Justiça criado para sistematizar registros de criminalidade em todo o país, mas este vem se mantendo como um sistema falho e mal preenchido pelas polícias estaduais – e que já gastou R$ 200 milhões em investimentos (LIMA e BUENO, 2018). Isto pode ser aferido pelo fato de que, ao compararem-se os dados divulgados por organizações autônomas, como o Monitor da Violência, parceria do Portal G1 com o Núcleo de Estudos da Violência da USP e o Fórum Brasileiro de Segurança Pública, com os do Sinesp, verifica-se que a estatística oficial do Ministério da Justiça é inferior aos números pesquisados independentemente.

Sendo assim, muito do que se fala e do que se faz na segurança pública brasileira hoje não é fruto de levantamentos precisos e de planejamento, mas de improvisos e de "certezas" ideológicas. Vive-se no Brasil um paradoxo porque, mesmo diante de 59.103 crimes violentos letais intencionais estimados em 2017, o maior número absoluto registrado em todo o mundo segundo o levantamento do Escritório da ONU para Crimes e Drogas (LIMA e BUENO, 2018), grande parte das políticas públicas são formuladas e implementadas não com base em evidências e indicadores, mas como respostas eleitoreiras e populistas.

A desorganização dos registros de ocorrências criminais no país impõe enormes desafios metodológicos à sociedade civil organizada e à imprensa. Um dos maiores esforços independentes no sentido de elucidar as estatísticas nacionais é o Anuário Brasileiro de Segurança Pública (ABSP), publicado desde 2007 pelo Fórum Brasileiro de Segurança Pública (FBSP). Os dados do Anuário mostram um cenário preocupante com crises agudas de crescimento de crimes violentos em vários estados, especialmente no Nordeste.

É necessário exigir a coordenação de esforços, já que muito tem sido tentado. Porém, para obter-se sucesso nas ações, é imprescindível que os dados públicos sejam de qualidade. Para que pudesse publicar o número de homicídios, latrocínios e lesões corporais seguidas de morte em menos de três meses após o fechamento das estatísticas de 2017, o FBSP contou com

a união de esforços entre imprensa, universidade e sociedade civil organizada, cujo resultado é, através da informação, a capacidade de dar novos contornos à discussão sobre transparência e fortalecimento do controle social.

Enquanto a cultura de coleta e distribuição adequada da informação não ganha forma política e prioridade por parte do Estado brasileiro, convicções e falsas verdades vão sendo assumidas e disseminadas, exigindo atenção redobrada por parte dos responsáveis pela produção e sistematização de dados da área. Ao longo dos últimos anos, tem sido comum ouvir especialistas e a mídia comentando a indicação de um número mínimo de policiais por grupo de habitantes, o cálculo de quanto do total de homicídios é cometido por adolescentes e a propagação de que a Organização Mundial da Saúde considera que taxas superiores a 10 homicídios por 100 mil habitantes configuram um quadro epidêmico de violência (LIMA e BUENO, 2018).

Entretanto, as referências acima simplesmente não existem, sendo reproduzidas sem nenhuma consistência ou critério técnico que lhes dê embasamento. Elas são produto do debate ideológico travado no campo das políticas de justiça e segurança, já que há uma enorme discordância a respeito do que venha a ser segurança, ordem e garantia de direitos no país.

A produção de dados isolados de acompanhamentos estatísticos, cadastrais ou de inteligência é extremamente vulnerável a críticas e tende a perder seu valor nos debates metodológico e tecnológico, que tornam a prática cotidiana da atividade policial e judicial um ato secundário. Os fenômenos da criminalidade e violência são interpretados por lógicas pouco democráticas de resolução de conflitos e acabam reduzidos a pautas de determinados grupos. Para Lima e Bueno (2018), a pressão por ações efetivas de redução da insegurança acaba reforçando este quadro na medida em que novos recursos humanos, financeiros e materiais são alocados pelos líderes políticos mais em função daquilo que é entendido empiricamente como prioritário do que aquilo que seria fruto de um amplo debate sobre qual controle social é compatível com a democracia.

A intervenção federal na segurança pública do Rio de Janeiro é um exemplo deste processo, uma vez que foi feita no afogadilho político e sem informações transparentes sobre valores e prioridades para os investimentos necessários à recuperação das capacidades das polícias cariocas (LIMA e BUENO, 2018). A solução oferecida para o estado baseou-se em "mais do mesmo", ou que bastariam mais gastos com armas e viaturas, não se preocupando em mudar o padrão de atuação que permitiu o cenário atual.

Os dados das diversas edições do Anuário Brasileiro de Segurança Pública mostram que o Brasil ainda não conseguiu coordenar politicamente o ciclo das informações sobre justiça

e segurança pública. Em contrapartida, as tensões hoje impostas pelo avanço da transparência formal, representada pelo Sinesp, às práticas institucionais opacas podem ser consideradas conquistas e não devem ser menosprezadas, pois abrem uma janela de oportunidade para que os reais problemas do campo sejam mais bem conhecidos e mapeados.

Especialmente em um ano em que o medo da violência deverá ser um dos principais motores das eleições previstas para o mês de outubro, o tema segurança pública ganha destaque no debate público. A distribuição de informações robustas e confiáveis, mais do que nunca, representa uma poderosa ferramenta de indução de mudanças.

4 EFICIÊNCIA DOS SERVIÇOS DE SEGURANÇA DO BRASIL

Dada a problemática explorada no capítulo 3, entende-se que existe uma forte necessidade de produzirem-se estudos baseados em informações concretas que esclareçam e fomentem o debate acerca do atual cenário da segurança no país. Como contribuição ao corpo de pesquisas científicas relacionadas ao tema, este trabalho propõe uma avaliação dos serviços públicos de segurança no Brasil através da técnica DEA.

4.1 Metodologia

Para fornecer um diagnóstico interno sobre as condições dos serviços públicos de segurança, é conveniente utilizarem-se os estados brasileiros como DMUs. As seções a seguir descrevem todas as etapas envolvidas na definição dos componentes do modelo DEA.

4.1.1 Escolha das variáveis e orientação do modelo

Para comparar o desempenho do serviço segurança pública nos estados quantitativamente, é necessário definirem-se indicadores mensuráveis que representem esta função. Estes indicadores devem ser obtidos através de dados reais, analisados para um determinado período de tempo.

Os dados utilizados para desenvolvimento do modelo DEA foram retirados da edição de 2017 do ABSP, referentes ao ano de 2016. O ABSP é um documento publicado anualmente pelo Fórum Brasileiro de Segurança Pública (FBSP), uma organização sem fins lucrativos que tem por missão atuar como um espaço permanente e inovador de debate, articulação e cooperação técnica para a segurança pública no Brasil, valorizando a informação como eixo de transformação e mudança social (FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 200-?).

O ABSP compila e analisa dados de registros policiais sobre criminalidade, informações sobre o sistema prisional e gastos com segurança pública, entre outros recortes introduzidos a cada edição (FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 200-?). A organização reúne dados oficiais fornecidos diretamente pelas Secretarias Estaduais de Segurança Pública e/ou Defesa Social ou órgãos estaduais equivalentes, procurando categorizar

os tipos de ocorrências através de todas as UF segundo um mesmo critério a fim de fornecer informações o mais estandardizadas possível.

Os estados são divididos conforme Quadro 5, de acordo com a qualidade estimada dos registros estatísticos oficiais de segurança pública:

Quadro 5 – Grupos de estados segundo qualidade estimada dos dados

Grupo	Qualidade de informações	Estados
1	Maior qualidade das informações	AL, AM, CE, ES, MG, MT, PA, PB, PE, PI, PR, RJ, RN, SC
2	Qualidade intermediária das informações	AC, DF, GO, MA, MS, RS, SE, SP
3	Menor qualidade das informações	AP, RO, RR, TO
4	Não há como atestar a qualidade dos dados, pois a UF optou por não responder o questionário de avaliação	BA

Fonte: ABSP (2017).

Esta classificação foi obtida através da aplicação de um formulário respondido pelos gestores estaduais do Sistema Nacional de Estatísticas de Segurança Pública e Justiça Criminal (SINESPJC), responsáveis pela produção das estatísticas pelas UF (FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 2013). Contendo cerca de 30 questões, o formulário abordava tópicos relacionados à qualidade da informação, tal como estrutura do órgão de estatística, transparência dos dados, procedimentos de controle, cobertura e forma de coleta, dentre outros, atribuindo-se pesos maiores para as respostas consideradas desejáveis a fim de valorizar o que se entende como o "tipo ideal" de procedimentos para que as informações sejam produzidas com qualidade. Na prática, nenhum estado atende a todos os requisitos considerados ideais. No entanto, alguns se aproximam mais e outros menos deste tipo ideal, resultando no agrupamento visto no Quadro 5.

Em um modelo DEA a eficiência é medida em termos dos recursos (*inputs*) consumidos para gerar determinados resultados (*outputs*) assumindo-se que incrementos nos primeiros provoque também incrementos nos segundos, para a problemática da segurança pública devem-se selecionar variáveis que representem esta dinâmica. O quadro a seguir resume as variáveis escolhidas para este estudo, discutidas em seguida.

Quadro 6 – Definição das variáveis do modelo DEA

Variável	Nome	Fonte de dados	Cálculo
Input 1	Despesas Totais	ABSP 2017, Tabela 26 – Despesas realizadas com a Função Segurança Pública, por Subfunção	Despesas realizadas com a Função Segurança Pública (Total)
Input 2	Efetivo Total	ABSP 2017, Tabela 25 – Efetivo fixado e existente das Polícias Militar e Civis	Efetivo existente da Polícia Militar + Efetivo existente da Polícia Civil
Output 1	Taxa de Segurança	ABSP 2017, Tabela 01 – Mortes violentas intencionais; IBGE, População residente enviada ao Tribunal de Contas da União – 2001-2017	Razão entre a população e número de crimes CVLI (Homicídio Doloso + Latrocínio + Lesão Corporal Seguida de Morte) do estado $\left(\frac{População}{No.CVLI}\right)$

Fonte: Autora.

Das informações disponibilizadas pelo ABSP, foram escolhidos como *inputs* o item Despesas Totais, encontrado na tabela "Despesas realizadas com a Função Segurança Pública, por Subfunções" como a soma das despesas com Policiamento, Defesa Civil, Informação e Inteligência, e Demais Subfunções; e o item Efetivo Total, calculado a partir da tabela "Efetivo fixado e existente das Polícias Militares e Civis" somando-se os efetivos existentes (isto é, excluindo-se Corpo de Bombeiros) militares e civis. Para os estados onde os dados do Efetivo de 2016 ainda não haviam sido disponibilizados, os valores foram estimados por uma suavização exponencial simples dos dados de 2010-2015, dada por (Makridakis *et al.*, 1998 *apud* PELLEGRINI, 2000):

$$\hat{z}_{t+1} = \alpha z_t + (1 - \alpha)\hat{z}_t \qquad (14)$$

Onde $\hat{z}_{t+1}$ é a previsão do efetivo para *t+1*, feita no período atual *t*; α é a constante de suavização, assumindo valores entre 0 e 1; z_t é o efetivo observado na série temporal para o tempo *t*; e $\hat{z}_t$ é o valor da previsão feita para o tempo *t*. A previsão é feita para todos os períodos históricos da série a fim de encontrar-se o valor de α que mais aproxima a série de previsões à série de fato observada e com base nisto estimar-se um valor para um período futuro. Para o caso do efetivo policial, em todos os estados sujeitos à suavização exponencial, na série de 2010-2015, encontrou-se $\alpha = 0{,}75$, valor usado na equação acima junto aos efetivos real e previsto em 2015 para fazer-se as previsões de efetivo para 2016.

Como *output*, decidiu-se incluir apenas os Crimes Violentos Letais Intencionais (CVLI), definidos como a soma dos homicídios dolosos, latrocínios e lesões corporais seguidas de morte (FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 2017). Apesar de existirem outros tipos de crimes relevantes, os CVLI são aqueles com intenção e resultado mais graves, podendo assim representar índices gerais de violência. Adicionalmente, é importante preservar um número pequeno de variáveis que sejam representativas no modelo, já que, conforme subcapítulo 2.2.4, uma grande quantidade destas pode interferir com a capacidade da DEA de enxergar as DMUs mais eficientes. Como a DEA assume que um incremento nos *inputs* deve provocar um incremento nos *outputs* (devem ser diretamente "proporcionais"), não seria adequado simplesmente utilizar o número absoluto de CVLI como *output*, pois espera-se que este diminua com o aumento dos *inputs* Despesas Totais e Efetivo Total (são inversamente "proporcionais"). Deve-se, então, pensar em como mensurar a segurança em relação aos CVLI levando-se em consideração que ela deve aumentar com acréscimos nos *inputs*. A solução é utilizar como *output* a razão entre o número de habitantes de um estado e seu respectivo número de ocorrências de CVLI: quanto maior o número de habitantes para cada CVLI, menos CVLI estão ocorrendo naquele estado, e portanto mais seguro ele é. Para produzir esta razão, foram utilizadas as estimativas populacionais do IBGE para cada UF em 2016.

Finalmente, assumindo-se que um aumento nas despesas na área de segurança e efetivo policial (*inputs* 1 e 2) seria improvável dado o histórico nacional de escassez de recursos públicos, e que em contrapartida, uma redução poderia ser considerada antiética visto que nem mesmo os esforços atuais são capazes de gerar segurança, optou-se por orientar o modelo DEA a *outputs*, de forma que este indique onde é possível maximizar a eficiência mantendo-se inalterados os *inputs*.

4.1.2 Considerações sobre o uso de um **output-***razão na DEA*

A análise DEA é normalmente realizada a partir de dados numéricos absolutos, o que, dentre outras coisas, traduz o tamanho das DMUs. Em alguns casos encontrados na literatura, ao invés de variáveis absolutas, são utilizadas variáveis que são resultado de uma razão como *input* (*input*-razão) e/ou *output* (*output*-razão), o que pode ser necessário para refletir adequadamente a função produção ou simplesmente por causa da natureza dos dados disponíveis (HOLLINGSWORTH e SMITH, 2003). Na área da saúde, por exemplo, muitos dos indicadores de desempenho são expressos em forma de razão, como porcentagem de gastos em relação ao lucro bruto, taxa de altas hospitalares por 100.000 habitantes, ou mesmo o

número anual de faltas por doença por funcionário. Hollingsworth e Smith (2003) determinaram que para estes casos a formulação do modelo CCR não é adequada, demonstrando que o modelo BCC deveria ser usado na presença de um *input* ou *output*-razão. No entanto, Emrouznejad e Amin (2009) levantam problemas de convexidade mesmo com uso do modelo BCC.

Dado um conjunto de possibilidades de produção (CPP) P, definido como o conjunto de todos os *outputs* não-negativos que podem ser produzidos utilizando-se os *inputs* disponíveis na economia (BLACK *et al*., 2009), o vetor de *inputs* x e o vetor de *outputs* y, pode-se escrever (EMROUZNEJAD e AMIN, 2009):

$$P = \{(x, y) \mid x \text{ pode produzir } y\} \qquad (15)$$

Em grande parte das aplicações o CPP real não é conhecido. Sendo assim, a DEA estima P a partir do conjunto de DMUs contemplados na análise, avaliando a produção observada baseado na tecnologia estimada. Na modelagem matemática da DEA, um dos pressupostos para a estimativa de P é que a fronteira de eficiência seja convexa (axioma da convexidade), isto é, para todos os pares de pontos do conjunto, os segmentos formados devem estar inteiramente contidos nele.

Para demonstrar como o uso de variáveis-razão pode violar o axioma da convexidade, considera-se o caso de três DMUs genéricas com os dados das Tabelas Tabela 2 e Tabela 3 para um período qualquer:

Tabela 2 – Dados primários das unidades genéricas

Unidade	***Input* 1**	***Output* 1**	***Output* 2**
	Custos	**% Fidelização**	**Receitas**
Unidade 1	1	20	5
Unidade 2	1	12	8
Unidade 3	1	5	12

Fonte: Adaptado de Emrouznejad e Amin (2009).

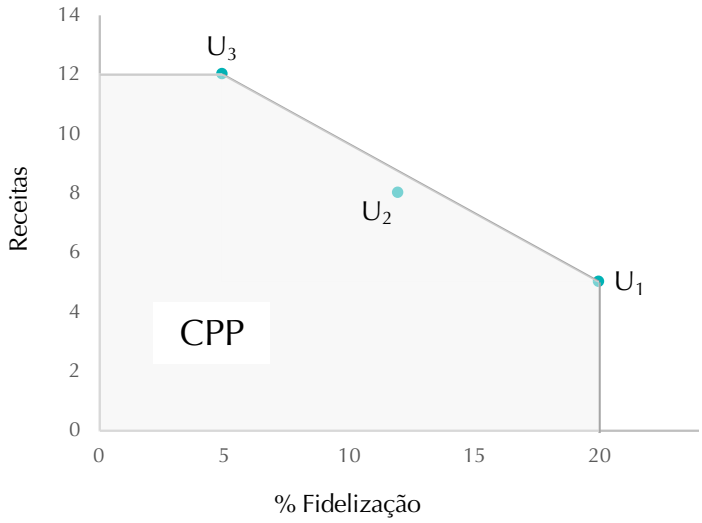
Tabela 3 – Dados adicionais das unidades genéricas

Unidade	No. clientes	No. fidelizados
Unidade 1	6.500	1.300
Unidade 2	12.000	1.440
Unidade 3	2.000	100

Fonte: Adaptado de Emrouznejad e Amin (2009).

Onde "Custos" representa os custos operacionais, "% Fidelização" a porcentagem obtida pela divisão do número de clientes fidelizados sobre o número total de clientes atendidos (Tabela 3), e "Receitas" as receitas do período. Fica evidente que a variável-razão é o *output* 1, "% Fidelização". Graficamente, pode-se reproduzir os dados de *output* da Tabela 2 conforme a Figura 8, onde as Unidades 1 e 3 formam a fronteira de possibilidades de produção e a área pintada equivale ao CPP.

Figura 8 – Conjunto de possibilidades de *outputs* para as unidades genéricas



Fonte: Adaptado de Emrouznejad e Amin (2009).

De acordo com o axioma da convexidade da DEA, a combinação convexa de quaisquer dois pontos do conjunto deve ser possível: isto é, deve pertencer ao CPP. Sendo assim U_{23}, combinação de U_2 e U_3, deve estar contida na área pintada do gráfico. A combinação convexa para cada *output* deve ser calculada por (EMROUZNEJAD e AMIN, 2009):

$$U_{23} = \lambda y_2 + (1 - \lambda) y_3 \qquad (16)$$

Onde y_2 corresponde ao *output* da Unidade 2 e y_3 ao *output* da Unidade 3. Assumindo-se $\lambda = {}^{1}/_{2}$, a expressão acima pode ser simplificada para:

$$U_{23} = {}^{1}/_{2}\,(y_2 + y_3) \qquad (17)$$

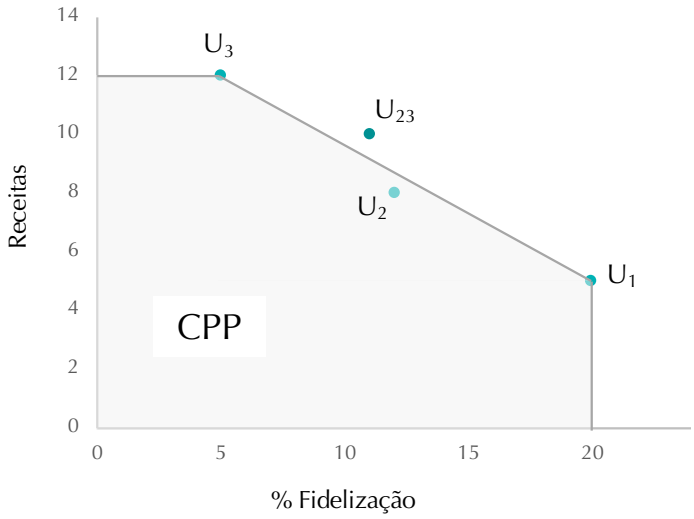
Resolvendo-se para a combinação U_{23}:

$$\begin{aligned}
\%\ \text{Fidelização}\ U_{23} &= \frac{No.fidelizados\ U_{23}}{No.clientes\ U_{23}} \\
&= \frac{{}^{1}/_{2}\,(No.fidelizados\ U_2 + No.fidelizados\ U_3)}{{}^{1}/_{2}\,(No.clientes\ U_2 + No.clientes\ U_3)} \\
&= \frac{{}^{1}/_{2}\,(1440 + 100)}{{}^{1}/_{2}\,(12.000 + 2.000)} = \frac{770}{7.000} \\
&= 11\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Receitas em}\ U_{23} &= {}^{1}/_{2}\,(Receitas\ U_2 + Receitas\ U_3) \\
&= {}^{1}/_{2}\,(8 + 12) \\
&= 10
\end{aligned}$$

Logo, a combinação convexa de U_2 e U_3 é uma unidade cuja porcentagem de fidelização é 11% e cujas receitas somam 10. Na Figura 9:

Figura 9 – Posição de U_{23} em relação ao CPP



Fonte: Adaptado de Emrouznejad e Amin (2009).

Nota-se que U_{23} não está contida no CPP, de forma que não pode ser considerada uma solução possível segundo o pressuposto de convexidade da DEA. Deste modo, conclui-se que o uso de variáveis-razão pode fazer com que a técnica devolva resultados falsos.

A comprovação matemática deste fenômeno foge ao escopo deste estudo, mas pode ser conferida na literatura de Emrouznejad e Amin (2009). Os autores afirmam em seu primeiro teorema: "Os modelos padrão da DEA não podem ser usados diretamente quando ao menos uma das variáveis de *input*/*output* está na forma de razão."

Para superar este problema, uma das soluções apresentadas pelos autores é desagregar a variável-razão em seu numerador e denominador, designando-os como *inputs* ou *outputs* adicionais dependendo do tipo e orientação do modelo. Quanto ao tipo de modelo mais adequado para avaliação da segurança pública, além da recomendação de Hollingsworth e Smith (2003) para uso do BCC na presença de variáveis-razão, entende-se que este é mesmo o tipo mais apropriado já que espera-se que os retornos de escala não sejam sempre constantes para os dados considerados (por exemplo, mesmo que se aumente indefinidamente o efetivo policial nas ruas, chegará um momento em que as cidades estarão tão seguras que acréscimos no efetivo não terão grande impacto: haverá então retornos decrescentes de escala). A orientação do modelo, por sua vez, é para *outputs*, conforme definido no subcapítulo 4.1.1. Para Emrouznejad e Amin (2009), neste caso o numerador da variável-razão deve ser incluído como *output* e o denominador como *input*.

4.1.3 Escolha das variáveis após considerações de convexidade

As ressalvas de Emrouznejad e Amin (2009) sobre a convexidade de um modelo DEA na presença de variáveis-razão levam à seguinte reorganização do Quadro 6:

Quadro 7 – Definição das variáveis do modelo DEA após considerações de convexidade

Variável	Nome	Fonte de dados	Cálculo
Input 1	Despesas Totais	ABSP 2017, Tabela 26 – Despesas realizadas com a Função Segurança Pública, por Subfunção	Despesas realizadas com a Função Segurança Pública (Total)
Input 2	Efetivo Total	ABSP 2017, Tabela 25 – Efetivo fixado e existente das Polícias Militar e Civis	Efetivo existente da Polícia Militar + Efetivo existente da Polícia Civil

Variável	Nome	Fonte de dados	Cálculo
Input 3	CVLI	ABSP 2017, Tabela 01 – Mortes violentas intencionais	Total de crimes CVLI (Homicídio Doloso + Latrocínio + Lesão Corporal Seguida de Morte)
Output 1	População	IBGE, População residente enviada ao Tribunal de Contas da União – 2001-2017	População enviada ao Tribunal de Contas da União

Fonte: Autora.

Percebe-se que a razão $Popula\tilde{c}ão/(No.CVLI)$, *output* original, foi dividida em duas variáveis adicionais: CVLI (denominador) como o *Input* 3, e População (numerador) como o novo *Output* 1. Isto faz sentido, inclusive para os *inputs* que foram mantidos, pois como a DEA maximiza a eficiência das DMUs por (subcapítulo 2.2.5):

$$\max h_0 = \frac{\sum_{j=1}^{s} u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^{r} v_i x_{i0}} = \frac{Outputs}{Inputs} \qquad (18)$$

as relações unitárias que serão maximizadas pela organização das variáveis conforme o Quadro 7 são:

$$\max h_0 = \frac{u_1 Popula\tilde{c}ão}{v_1 Despesas + v_2 Efetivo + v_3 CVLI} \qquad (19)$$

A maximização do número de habitantes para cada real gasto com segurança, cada funcionário policial e cada crime praticado é exatamente equivalente à minimização das Despesas, Efetivo e CVLI por habitante. É importante ressaltar que a equação acima pretende apenas analisar a adequação das unidades maximizadas pelo modelo proposto.

4.1.3.1 Teste da regra de ouro

A quantidade mínima de DMUs que um modelo DEA com 3 *inputs* e 1 *output* deve apresentar para manter seu poder discriminatório é (subcapítulo 2.2.4):

$$n \geq max\{3(m+s), m \times s\} \quad (20)$$
$$n \geq max\{3(3+1), 3 \times 1\}$$
$$n \geq max\{12, 3\}$$
$$n \geq 12$$

Como pretende-se usar os 27 estados como DMUs, o modelo obedece à regra de ouro e pode-se dizer que seus resultados serão confiáveis.

Com as definições desenvolvidas ao longo da metodologia, o modelo está pronto para ser processado pela DEA.

4.1.4 Dados utilizados no modelo

A tabela a seguir reúne as informações relevantes para entendimento do modelo utilizado no cálculo das eficiências de serviços de segurança pública no Brasil.

Tabela 4 – Resumo do modelo

DEA - Avaliação da Segurança Pública no Brasil				
Modelo BCC orientado a *outputs*				
UF	***Input* 1**	***Input* 2**	***Input* 3**	***Output* 1**
	Despesas	**Efetivo**	**CVLI**	**População**
Acre	43,42	35,21	3,68	8,17
Alagoas	104,22	92,63	17,69	33,59
Amapá	41,40	47,83	3,29	7,82
Amazonas	139,77	116,23	11,40	40,02
Bahia	414,64	372,78	66,53	152,77
Ceará	190,60	186,21	34,57	89,64
Distrito Federal	70,74	180,15	6,52	29,77
Espírito Santo	130,99	123,58	12,46	39,74
Goiás	301,00	163,20	27,25	66,96
Maranhão	138,79	96,89	22,15	69,54
Mato Grosso	181,65	111,04	11,72	33,06
Mato Grosso do Sul	127,12	80,30	6,08	26,82
Minas Gerais	888,45	511,58	43,67	209,98
Pará	222,25	183,82	39,27	82,73
Paraíba	112,08	114,20	13,22	39,99
Paraná	381,33	237,04	26,47	112,43
Pernambuco	231,47	246,38	44,79	94,10
Piauí	70,06	74,42	7,04	32,12

DEA - Avaliação da Segurança Pública no Brasil				
Modelo BCC orientado a *outputs*				
UF	***Input* 1**	***Input* 2**	***Input* 3**	***Output* 1**
	Despesas	**Efetivo**	**CVLI**	**População**
Rio de Janeiro	915,98	582,39	53,37	166,36
Rio Grande do Norte	105,85	105,18	19,11	34,75
Rio Grande do Sul	333,61	217,53	30,38	112,87
Rondônia	76,20	75,70	5,86	17,87
Roraima	35,62	24,40	0,97	5,14
Santa Catarina	218,15	126,09	9,76	69,11
São Paulo	1.099,45	1.203,61	40,69	447,50
Sergipe	82,06	63,35	13,55	22,66
Tocantins	73,15	54,55	4,00	15,33

Fonte: Autora. Dados de ABSP (2017) e IBGE (2017).

As unidades dos dados encontrados nas respectivas fontes foram ajustadas pois, em se tratando de cálculos computacionais, a presença simultânea de números muito grandes e muito pequenos pode causar problemas de escala, onde perde-se a precisão dos resultados a cada operação devido a sucessivos arredondamentos (IP_SOLVE, 200-?). Isto é especialmente pertinente para algoritmos iterativos como o simplex, no qual se baseia a DEA, já que podem ser feitos até milhares de cálculos consecutivos até encontrar-se uma solução ótima.

No Quadro 8 são relacionadas as unidades das variáveis fornecidas na fonte e aquelas utilizadas no modelo.

Quadro 8 – Equivalência de unidades na fonte dos dados e modelo

Variável	**Unidade**	
	Fonte	**Modelo**
Despesas	R$ Correntes	R$ Correntes $\times 10^{-7}$
Efetivo	No. Agentes	No. Agentes $\times 10^{-2}$
CVLI	No. CVLI	No. CVLI $\times 10^{-2}$
População	No. Habitantes	No. Habitantes $\times 10^{-5}$

Fonte: Autora.

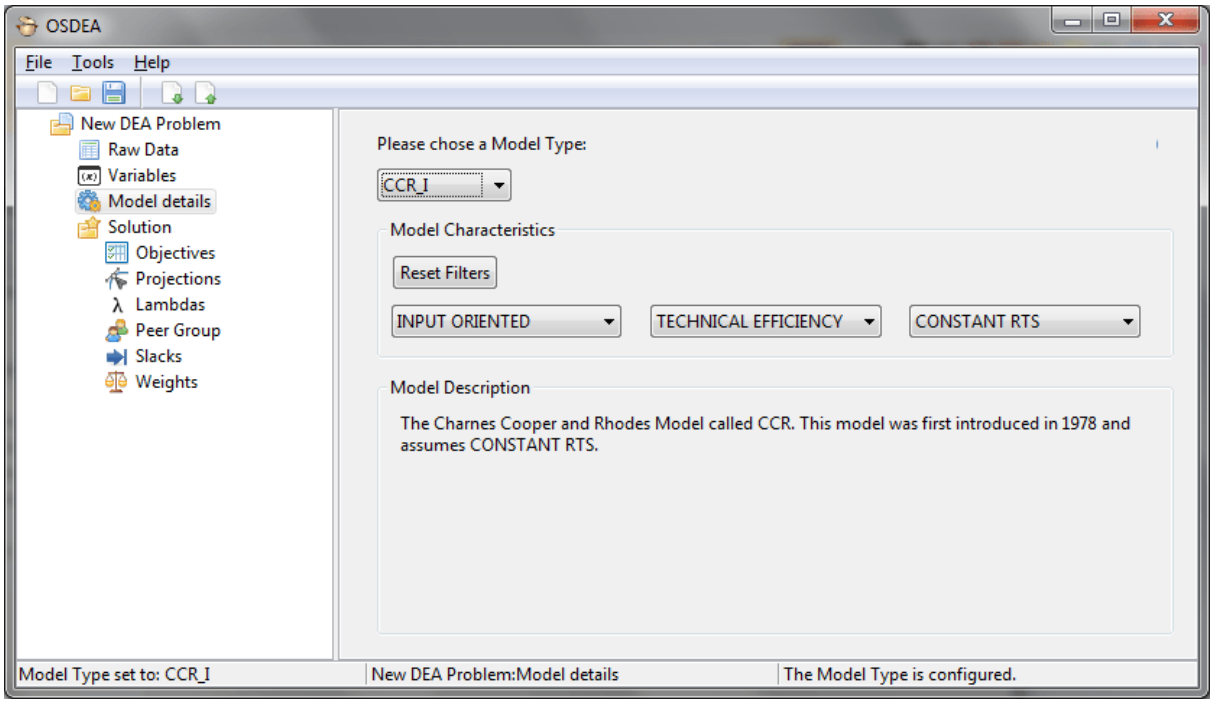
Cabe salientar que para a DEA, a unidade das variáveis é irrelevante, contanto que as mesmas unidades sejam usadas para todas as DMUs. O ajuste dos valores conforme o Quadro 8 equivale a uma transformação de unidades e não afetará os resultados do modelo.

4.1.5 Software utilizado

O *software* escolhido para resolução do modelo proposto foi o *Open Source Data Envelopment Graphical User Interface*, ou OSDEA-GUI. Como o nome sugere, o programa é um projeto *open source* que visa fornecer uma ferramenta para resolução de problemas DEA que seja ao mesmo tempo completa e acessível a todos. Disponível para pelo menos três sistemas operacionais, a versão utilizada neste estudo foi a do *Windows*.

Os dados do problema devem ser importados via um arquivo .cvs cujas linhas e colunas devem corresponder às DMUs e variáveis, respectivamente. Após designar as variáveis como *inputs* ou *outputs*, o usuário pode selecionar dentre os vários tipos de modelos DEA já carregados no programa, que podem ser navegados diretamente ou através de filtros relativos à sua orientação, tipo de eficiência e retornos de escala. Na Figura 10 é ilustrada a tela de seleção do tipo de modelo para um problema genérico. Para o problema da eficiência dos serviços de segurança pública no Brasil, conforme argumentações desenvolvidas ao longo das seções 4.1.1 e 4.1.2, o tipo de modelo selecionado foi o BCC orientado a *outputs* (chamado pelo programa de BCC_O).

Figura 10 – OSDEA-GUI: Tela de seleção do tipo de modelo DEA a ser utilizado



Fonte: Open Source DEA (200-?).

Com todos os parâmetros configurados, o *software* soluciona o problema e devolve os resultados em seis itens:

a) objetivos, que correspondem às eficiências relativas das DMUs, sendo a principal finalidade da DEA;
b) projeções, ou as projeções de cada DMU sobre a fronteira de eficiência;
c) lambdas, que indicam algebricamente a relevância de uma unidade eficiente como *benchmark* para uma unidade ineficiente;
d) unidades alvo, ou principais unidades-referência para cada unidade ineficiente, consequência do cálculo dos lambdas;
e) folgas, ou os ganhos adicionais que uma unidade ineficiente ainda pode alcançar após minimização dos *inputs* ou maximização dos *outputs*; e
f) pesos, apresentando os pesos dos problemas de PL resolvidos para cada DMU a fim de calcular-se sua eficiência.

4.2 Resultados

Inserindo-se os dados da Tabela 4 no OSDEA-GUI, para retornos variáveis de escala e orientação para *outputs*, foram encontradas as eficiências dos serviços de segurança pública dos estados brasileiros da Tabela 5.

Tabela 5 – Eficiência dos serviços de segurança pública dos estados brasileiros (2016)

UF	Eficiência
Santa Catarina	100%
Piauí	100%
Roraima	100%
São Paulo	100%
Rio Grande do Sul	100%
Maranhão	100%
Ceará	99,68%
Minas Gerais	98,74%
Distrito Federal	96,16%
Paraná	95,21%
Bahia	92,80%
Pernambuco	88,77%
Pará	83,21%
Amapá	80,89%
Paraíba	75,90%

UF	Eficiência
Acre	73,29%
Goiás	71,73%
Rio de Janeiro	70,29%
Amazonas	69,97%
Tocantins	68,01%
Mato Grosso do Sul	67,76%
Espírito Santo	67,75%
Rio Grande do Norte	67,34%
Alagoas	66,22%
Sergipe	63,88%
Rondônia	58,38%
Mato Grosso	52,23%
Média	**81,79%**

Fonte: Autora.

Os estados identificados como 100% eficientes pelo modelo foram Santa Catarina, Piauí, Roraima, São Paulo, Rio Grande do Sul e Maranhão. Estes 6 estados, portanto, formam a fronteira de eficiência e servem como *benchmarks* para os demais. Em contrapartida, os estados que demonstraram o pior desempenho nacional foram o Mato Grosso e Rondônia, com escores de eficiência abaixo dos 60%.

Estabelecendo-se faixas de eficiência, onde um escore de até 70% é considerado de baixa eficiência, de 70-90% de eficiência moderada, e de 90-99,99% de alta eficiência, é possível resumir os resultados de acordo com a Tabela 6:

Tabela 6 – Faixas de eficiência dos estados (2016)

Eficiência	Categoria	Estados	% Estados
< 70%	Baixa	MT, RO, SE, AL, RN, ES, MS, TO, AM	33,33%
70 - 90%	Moderada	RJ, GO, AC, PB, AP, PA, PE	25,93%
90 - 99,99%	Alta	BA, PR, DF, MG, CE	18,52%
100%	*Benchmark*	MA, RS, SP, RR, PI, SC	22,22%

Fonte: Autora.

As faixas de eficiência foram definidas rigorosamente, considerando altos apenas os desempenhos acima de 90% pelas variáveis do modelo se tratarem de recursos públicos, onde sua má-utilização pode ser considerada antiética.

Nota-se que 33,33% dos estados encontra-se na categoria de baixa eficiência, representando o pior uso de recursos de todo o país. O estado do Amazonas, com escore de

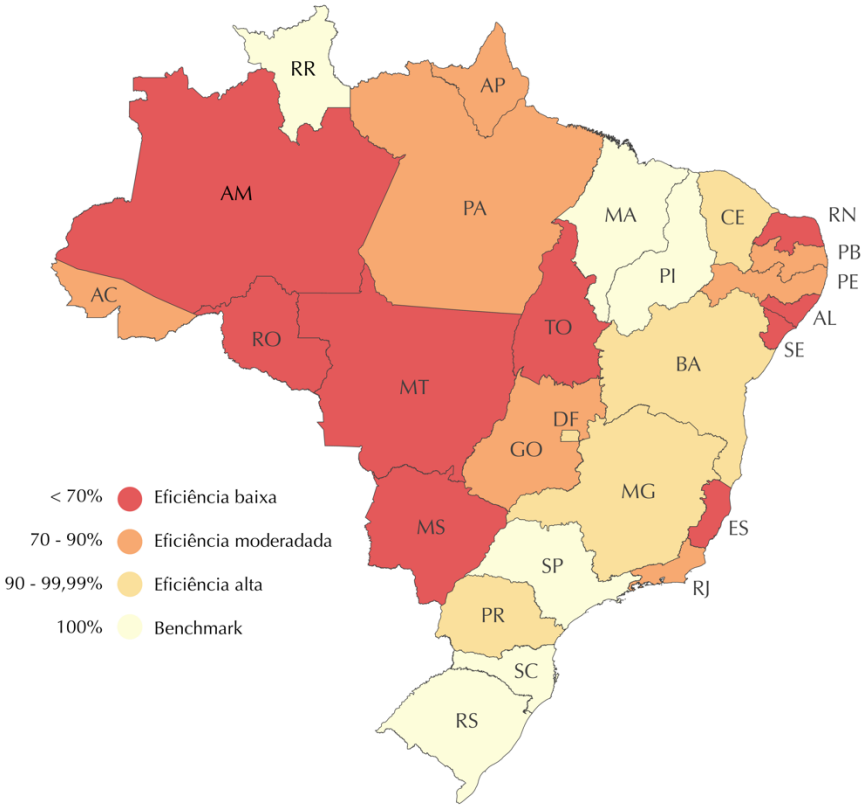
69,97%, está a apenas 0,03% de distância da categoria seguinte, de forma que pode-se dizer que esteja em transição entre as faixas de eficiência.

A faixa seguinte, onde estão localizados 25,93% dos estados, corresponde à eficiência moderada, onde há melhor utilização dos recursos que a faixa anterior, mas ainda não pode se considerar sua performance suficiente. Similarmente ao estado do Amazonas, o Rio de Janeiro, com eficiência de 70,29%, está a apenas 0,29% de distância da faixa anterior, encontrando-se em processo de transição. Juntos, os estados de baixa e moderada eficiência, consideradas faixas de desempenho insatisfatório, reúnem 59,26% das unidades federativas.

Na categoria de alta eficiência encontram-se apenas 18,52% das UF. Enquanto sua performance pode ser considerada satisfatória, estas unidades ainda têm oportunidade de aproveitar melhor seus recursos. Nesta faixa, destaca-se o Ceará, de escore 99,68%, a apenas 0,32% de distância da faixa de eficiência plena (*benchmarks*).

Na Figura 11 é apresentado um mapa dos estados brasileiros segundo as faixas de eficiência em que foram classificados.

Figura 11 – Mapa dos escores de eficiência dos serviços de segurança pública dos estados (2016)



Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que, sem grande rigor, há um agrupamento geográfico das unidades com escores de eficiência insatisfatórios (< 90%) e das unidades com escores satisfatórios (> 90%). Isto pode sugerir a presença de fatores relacionados à segurança semelhantes entre estes estados. Esta hipótese, no entanto, requer investigações mais profundas.

4.2.1 Análise dos resultados

A solução oferecida pelo *software* levanta alguns questionamentos. Primeiramente, as eficiências encontradas são no geral altas, com média nacional de 81,79%, o que poderia induzir o leitor à conclusão de que os serviços de segurança oferecidos pelos estados são na maior parte dos casos eficientes e, por conseguinte, que os estados são na verdade seguros. Esta dedução, no entanto, contraria os dados estatísticos encontrados no capítulo 3 deste trabalho, que definem o Brasil como um país de altos índices de violência.

Para interpretar as eficiências mais altas do que o esperado, é importante lembrar que a DEA é uma técnica de análise relativa, quer dizer, avalia as DMUs apenas umas contra as outras e não necessariamente contra as melhores práticas. Desta forma, é possível que as DMUs 100% eficientes não apresentem, de fato, bons resultados. Das 50 cidades mais violentas do mundo em 2016, 19 eram brasileiras, distribuídas entre 17 estados (CONSEJO CIUDADANO PARA LA SEGURIDAD PÚBLICA Y LA JUSTICIA PENAL, 2017). Isto significa que 17 das 27, ou 63%, das DMUs analisadas figuraram entre os piores resultados mundiais naquele ano. Em vista disto, pode-se estabelecer que as altas eficiências vistas na Tabela 5 são relativas a uma amostra de baixa performance no contexto global e não podem ser entendidas diretamente como um bom sinal.

Além disto, deve-se levar em consideração a confiabilidade dos dados utilizados como variáveis do modelo. Todos os dados usados como *inputs*, retirados do ABSP (2017), estão sujeitos à classificação dos estados em grupos segundo qualidade de informações (subcapítulo 4.1.1). Os estados que apresentam menores níveis de confiança podem, assim, distorcer as eficiências calculadas. O estado da Bahia, por exemplo, aparece com eficiência de 92,80%, mas pertence ao Grupo 4 (o pior) de qualidade de dados, de forma que não há como assegurar que este índice corresponda ao seu real desempenho. Apesar deste empecilho, o Anuário é atualmente a fonte mais concisa de parâmetros referentes à violência no Brasil.

Em segundo lugar, estados de reputação violenta, como o Maranhão e Piauí, aparecem como 100% eficientes. Um argumento semelhante ao do parágrafo anterior pode ser usado para explicar este fato. Adicionalmente, observando-se somente a taxa de CVLI por

habitante para o ano de 2016, os mesmos aparecem apenas como o 15º e 22º estados mais violentos do país, conforme Tabela 7:

Tabela 7 – *Ranking* de estados mais violentos segundo CVLI / 100.000 habitantes (2016)

UF	CVLI / 100.000 hab	*Ranking*	UF	*Ranking ordenado*
Acre	450,60	6	Sergipe	1
Alagoas	526,65	3	Rio Grande do Norte	2
Amapá	420,56	8	Alagoas	3
Amazonas	284,88	17	Pernambuco	4
Bahia	435,50	7	Pará	5
Ceará	385,67	10	Acre	6
Distrito Federal	219,00	23	Bahia	7
Espírito Santo	313,56	16	Amapá	8
Goiás	406,97	9	Goiás	9
Maranhão	**318,52**	**15**	Ceará	10
Mato Grosso	354,56	11	Mato Grosso	11
Mato Grosso do Sul	226,66	21	Paraíba	12
Minas Gerais	207,98	24	Rondônia	13
Pará	474,69	5	Rio de Janeiro	14
Paraíba	330,55	12	**Maranhão**	**15**
Paraná	235,44	20	Espírito Santo	16
Pernambuco	475,97	4	Amazonas	17
Piauí	**219,17**	**22**	**Rio Grande do Sul**	**18**
Rio de Janeiro	320,81	14	Tocantins	19
Rio Grande do Norte	549,93	2	Paraná	20
Rio Grande do Sul	**269,17**	**18**	Mato Grosso do Sul	21
Rondônia	327,87	13	**Piauí**	**22**
Roraima	**188,63**	**25**	Distrito Federal	23
Santa Catarina	**141,23**	**26**	Minas Gerais	24
São Paulo	**90,93**	**27**	**Roraima**	**25**
Sergipe	598,03	1	**Santa Catarina**	**26**
Tocantins	260,94	19	**São Paulo**	**27**

Fonte: Autora. Dados de ABSP (2017) e IBGE (2017).

Desta maneira, considerando-se ainda que a DEA avalia o tamanho e o consumo de recursos (*inputs*) de cada estado no cálculo das eficiências, conclui-se que o modelo proposto (Tabela 5) está consistente com os dados alimentados.

4.2.2 Projeções (metas)

Apesar de o *software* determinar as projeções na fronteira de eficiência para todas as variáveis, porque o modelo em estudo é orientado a *outputs* não serão avaliadas as projeções dos *inputs* já que a proposta é que estes sejam mantidos inalterados. Porém, porque o *output* original era uma razão (Quadro 6), tendo sido necessário desagregá-lo em seu numerador (*Input* 3) e denominador (*Output* 1) a fim de respeitar-se o axioma de convexidade da DEA, tem-se que um dos *inputs* faz parte da solução. Neste momento de avaliação de resultados, então, torna-se conveniente agregar novamente a fração. Os valores do *output*-razão, designado aqui como *Output* 1*, foram obtidos através dos seguintes quocientes para os dados de entrada do modelo (antes do cálculo da eficiência, Equação 21) e para sua projeção na fronteira de eficiência (depois do cálculo da eficiência, Equação 22):

$$Output\ 1^{*}{}_{E} = \frac{Output\ 1}{Input\ 3} \qquad (21)$$

$$Output\ 1^{*}{}_{P} = \frac{Projeção\ do\ Output\ 1}{Input\ 3} \qquad (22)$$

Nota-se que a projeção do *Output* 1* (Equação 22) foi obtida dividindo-se a projeção do *Output* 1 pelo *Input* 3 de entrada, respeitando-se a inalterabilidade dos *inputs* conforme orientação do modelo. Na Tabela 8 são apresentados os números encontrados. As unidades já foram reajustadas para entregarem a taxa de habitantes / CVLI.

Tabela 8 – Metas para as taxas de habitante / CVLI, por estado (2016)

UF	**Dados de entrada**			**Projeção**	
	***Input* 3**	***Output* 1**	***Output* 1***	***Output* 1**	***Output* 1***
	CVLI x 10^{-2}	**População x 10^{-5}**	**Hab / CVLI**	**População x 10^{-5}**	**Hab / CVLI**
Acre	3,68	8,17	2.219,26	11,14	**3.028,14**
Alagoas	17,69	33,59	1.898,79	50,72	**2.867,24**
Amapá	3,29	7,82	2.377,80	9,67	**2.939,56**
Amazonas	11,40	40,02	3.510,23	57,19	**5.016,91**
Bahia	66,53	152,77	2.296,19	164,62	**2.474,34**
Ceará	34,57	89,64	2.592,90	89,92	**2.601,22**
Distrito Federal	6,52	29,77	4.566,28	30,96	**4.748,77**

UF	Dados de entrada			Projeção	
	***Input* 3**	***Output* 1**	***Output* 1***	***Output* 1**	***Output* 1***
	CVLI x 10^{-2}	**População x 10^{-5}**	**Hab / CVLI**	**População x 10^{-5}**	**Hab / CVLI**
Espírito Santo	12,46	39,74	3.189,16	58,65	**4.707,42**
Goiás	27,25	66,96	2.457,19	93,35	**3.425,84**
Maranhão	22,15	69,54	3.139,52	69,54	**3.139,52**
Mato Grosso	11,72	33,06	2.820,42	63,29	**5.400,12**
Mato Grosso do Sul	6,08	26,82	4.411,82	39,59	**6.510,83**
Minas Gerais	43,67	209,98	4.808,23	212,65	**4.869,58**
Pará	39,27	82,73	2.106,63	99,42	**2.531,63**
Paraíba	13,22	39,99	3.025,28	52,70	**3.986,01**
Paraná	26,47	112,43	4.247,34	118,08	**4.460,89**
Pernambuco	44,79	94,10	2.100,99	106,01	**2.366,71**
Piauí	7,04	32,12	4.562,76	32,12	**4.562,76**
Rio de Janeiro	53,37	166,36	3.117,11	236,68	**4.434,74**
Rio Grande do Norte	19,11	34,75	1.818,42	51,60	**2.700,38**
Rio Grande do Sul	30,38	112,87	3.715,11	112,87	**3.715,11**
Rondônia	5,86	17,87	3.049,96	30,61	**5.224,30**
Roraima	0,97	5,14	5.301,33	5,14	**5.301,33**
Santa Catarina	9,76	69,11	7.080,48	69,11	**7.080,48**
São Paulo	40,69	447,50	10.997,71	447,50	**10.997,71**
Sergipe	13,55	22,66	1.672,16	35,47	**2.617,78**
Tocantins	4,00	15,33	3.832,26	22,54	**5.634,90**

Fonte: Autora.

A projeção do *Output* 1* na fronteira de eficiência representa a maximização da taxa de Habitantes / CVLI, ou a melhor taxa alcançável por cada UF dados os seus recursos Despesas (*Input* 1) e Efetivo (*Input* 2) disponíveis. Sendo assim, para os níveis de *inputs* atuais, as taxas encontradas acima são possíveis de se alcançar, e portanto servem como meta para que as unidades tornem-se 100% eficientes. Percebe-se que os valores das metas para os estados *benchmark* são os mesmos dos *Outputs* 1* de entrada, já que estas unidades já se encontram na fronteira de eficiência.

Uma taxa pode ser aumentada de duas maneiras: aumentando-se seu numerador ou diminuindo-se seu denominador. Neste caso o numerador é a população estadual, uma variável com pouquíssima flexibilidade (uma alteração significativa demoraria gerações para acontecer), de maneira que o decréscimo de seu denominador, ou o número de CVLI, seria uma opção mais realista para alcançar-se a taxa máxima possível sugerida pelo modelo.

Desta maneira, na Tabela 9 são indicadas as reduções necessárias no número de CVLI para que cada estado alcance sua melhor "taxa de segurança". Em outras palavras, mantendo-se as Despesas e Efetivo Policial inalterados, os estados deveriam ser capazes de produzir as taxas projetadas (projeção de *Output* 1*) através da redução de CVLI na porcentagem indicada.

Tabela 9 – Metas para redução do número de CVLI, por estado (2016)

	No. CVLI					
UF	**Atual**	**Meta**	**Dif.**	**Meta %**	**UF**	**Meta % ord.**
Acre	368	270	-98	-27%	Mato Grosso	-48%
Alagoas	1769	1171	-598	-34%	Rondônia	-42%
Amapá	329	266	-63	-19%	Sergipe	-36%
Amazonas	1140	798	-342	-30%	Alagoas	-34%
Bahia	6653	6174	-479	-7%	Rio Grande do Norte	-33%
Ceará	3457	3446	-11	0%	Espírito Santo	-32%
Distrito Federal	652	627	-25	-4%	Mato Grosso do Sul	-32%
Espírito Santo	1246	844	-402	-32%	Tocantins	-32%
Goiás	2725	1955	-770	-28%	Amazonas	-30%
Maranhão	2215	2215	0	0%	Rio de Janeiro	-30%
Mato Grosso	1172	612	-560	-48%	Goiás	-28%
Mato Grosso do Sul	608	412	-196	-32%	Acre	-27%
Minas Gerais	4367	4312	-55	-1%	Paraíba	-24%
Pará	3927	3268	-659	-17%	Amapá	-19%
Paraíba	1322	1003	-319	-24%	Pará	-17%
Paraná	2647	2520	-127	-5%	Pernambuco	-11%
Pernambuco	4479	3976	-503	-11%	Bahia	-7%
Piauí	704	704	0	0%	Paraná	-5%
Rio de Janeiro	5337	3751	-1586	-30%	Distrito Federal	-4%
Rio Grande do Norte	1911	1287	-624	-33%	Minas Gerais	-1%
Rio Grande do Sul	3038	3038	0	0%	Ceará	0%
Rondônia	586	342	-244	-42%	Maranhão	0%
Roraima	97	97	0	0%	Rio Grande do Sul	0%
Santa Catarina	976	976	0	0%	Piauí	0%
São Paulo	4069	4069	0	0%	Roraima	0%
Sergipe	1355	866	-489	-36%	Santa Catarina	0%
Tocantins	400	272	-128	-32%	São Paulo	0%

Fonte: Autora.

Percebe-se que ordenar os estados pela oportunidade de redução de crimes corresponde exatamente ao inverso de ordená-los de acordo com seu escore de eficiência

calculada pelo modelo (Tabela 5), já que na medida em que não aplicam seus recursos de maneira ótima, tornam-se ineficientes. Sendo assim, as UF com maior oportunidade de redução de CVLI são aquelas classificadas como pouco e moderadamente eficientes. Isto fica explícito na Tabela 10, que relaciona as faixas de eficiência dos estados às suas metas de redução do número de CVLI.

Tabela 10 – Faixas de eficiência e respectivas metas de redução de CVLI (2016)

Eficiência	Categoria	Estados	Meta Redução CVLI
< 70%	Baixa	MT, RO, SE, AL, RN, ES, MS, TO, AM	30 - 48%
70 - 90%	Moderada	RJ, GO, AC, PB, AP, PA, PE	11 - 30%
90 - 99,99%	Alta	BA, PR, DF, MG, CE	0,01 - 7%
100%	*Benchmark*	MA, RS, SP, RR, PI, SC	0,00%

Fonte: Autora.

4.2.3 Lambdas (λ) e unidades alvo

Os valores dos λ, representativos da proximidade de uma DMU de uma unidade eficiente, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores de λ em relação a cada estado *benchmark*

UF	***Benchmarks***					
	Maranhão	**Piauí**	**Rio Grande do Sul**	**Roraima**	**Santa Catarina**	**São Paulo**
Acre	0,007	0,206	0	0,787	0	0
Alagoas	0,497	0,503	0	0	0	0
Amapá	0	0,168	0	0,832	0	0
Amazonas	0,198	0,561	0	0	0,218	0,023
Bahia	0,391	0	0,404	0	0	0,205
Ceará	0,946	0	0	0	0	0,054
Distrito Federal	0	0,886	0	0,110	0	0,004
Espírito Santo	0,271	0,662	0	0	0,030	0,037
Goiás	0,450	0	0,550	0	0	0
Maranhão	1	0	0	0	0	0
Mato Grosso	0,211	0,069	0	0,053	0,668	0
Mato Grosso do Sul	0	0,159	0	0,369	0,471	4,771E-06
Minas Gerais	0	0	0,702	0	0	2,982E-01
Pará	0,842	0	0,089	0	0	6,887E-02

UF	*Benchmarks*					
	Maranhão	**Piauí**	**Rio Grande do Sul**	**Roraima**	**Santa Catarina**	**São Paulo**
Paraíba	0,374	0,610	0	0	0	1,587E-02
Paraná	0,590	0	0,318	0	0	9,202E-02
Pernambuco	0,904	0	0	0	0	9,648E-02
Piauí	0	1	0	0	0	0
Rio de Janeiro	0	0	0,630	0	0	0,370
Rio Grande do Norte	0,521	0,479	0	0	0	0
Rio Grande do Sul	0	0	1	0	0	0,000
Rondônia	0	0,697	0	0,271	0,019	0,012
Roraima	0	0	0	1	0	0
Santa Catarina	0	0	0	0	1	0
São Paulo	0	0	0	0	0	1
Sergipe	0,368	0,245	0	0,387	0	0
Tocantins	0	0,280	0	0,572	0,147	0,001

Fonte: Autora.

Quanto maior o λ, mais próxima está a DMU do referido *benchmark* e portanto mais relevante ele é como unidade alvo para aquela unidade. A partir da Tabela 11 pode-se escrever:

Quadro 9 – Unidades alvo para os estados ineficientes (2016)

UF	**← Mais relevante**			**Menos relevante →**
Acre	Roraima	Piauí	Maranhão	
Alagoas	Piauí	Maranhão		
Amapá	Roraima	Piauí		
Amazonas	Piauí	Santa Catarina	Maranhão	São Paulo
Bahia	Rio Grande do Sul	Maranhão	São Paulo	
Ceará	Maranhão	São Paulo		
Distrito Federal	Piauí	Roraima	São Paulo	
Espírito Santo	Piauí	Maranhão	São Paulo	Santa Catarina
Goiás	Rio Grande do Sul	Maranhão		
Mato Grosso	Santa Catarina	Maranhão	Piauí	Roraima
Mato Grosso do Sul	Santa Catarina	Roraima	Piauí	São Paulo
Minas Gerais	Rio Grande do Sul	São Paulo		
Pará	Maranhão	Rio Grande do Sul	São Paulo	
Paraíba	Piauí	Maranhão	São Paulo	
Paraná	Maranhão	Rio Grande do Sul	São Paulo	

UF	← Mais relevante			Menos relevante →
Pernambuco	Maranhão	São Paulo		
Rio de Janeiro	Rio Grande do Sul	São Paulo		
Rio Grande do Norte	Maranhão	Piauí		
Rondônia	Piauí	Roraima	Santa Catarina	São Paulo
Sergipe	Roraima	Maranhão	Piauí	
Tocantins	Roraima	Piauí	Santa Catarina	São Paulo

Fonte: Autora.

No Quadro 9 é fornecida uma lista dos estados *benchmarks* mais "parecidos" com cada estado ineficiente. Sendo assim, os estados ineficientes podem olhar para as práticas dos estados *benchmarks* mais relevantes como guias para alcançar a eficiência, replicando-as em sua própria unidade na medida do possível.

A DEA indica apenas em quais unidades *benchmark* procurar, mas cabe a cada unidade federativa estudar as práticas de suas colegas e planejar como implementá-las para si.

4.2.4 Folgas

Mesmo alcançando fronteira de eficiência após atingirem as metas sugeridas no subcapítulo 4.2.2, para tornarem-se Pareto-eficientes os seguintes estados ainda deveriam reduzir seus *inputs* nas seguintes medidas:

Tabela 12 – Possíveis ganhos adicionais de eficiência (2016)

UF	Despesas	Efetivo
	R$ Correntes (milhões)	Funcionários
Alagoas	0	704
Amapá	0	1.503
Ceará	0	2.963
Distrito Federal	0	10.632
Goiás	551,28	0
Minas Gerais	3.264,61	0
Paraíba	0	1.346
Paraná	922,70	0
Pernambuco	0	4.271
Rio de Janeiro	2.990,03	0
Rio Grande do Norte	0	1.906
Total	**7.728,61**	**23.326**

Fonte: Autora.

Os dados mostram que os estados acima poderiam não apenas ter entregue melhores indicadores de segurança via maximização de sua eficiência, mas também ter gerado uma economia de R$ 7,73 bilhões ao país no ano de 2016, desperdiçados em ações que não contribuíram para o aumento da segurança. Minas Gerais e Rio de Janeiro destacam-se como os estados que mais desperdiçaram seus recursos financeiros, somando despesas ineficientes de R$ 6,25 bilhões. Não obstante, os desperdícios de R$ 551 e 922 milhões em Goiás e Paraná, respectivamente, também representam uma gigantesca perda para os cidadãos destes estados.

De maneira semelhante, em 2016 cerca de 23.326 policiais, militares ou civis, estavam trabalhando de forma improdutiva. Enquanto o policiamento se mostra necessário para gerar segurança, se não há ganhos neste sentido, então os profissionais poderiam estar se dedicando a outras atividades que gerassem resultados. Não seria correto, portanto, dizer que estes policiais estiveram ociosos no ano de 2016, mas que suas habilidades não foram alocadas para as tarefas que contribuiriam de forma mais significativa para o combate à violência.

5 CONCLUSÃO

Este estudo propôs uma avaliação dos serviços de segurança pública do Brasil através da analise por envoltória de dados, um dos mais proeminentes métodos não-paramétricos para mensuração da eficiência e produtividade de um grupo de unidades produtivas, acomodando múltiplos *inputs* e *outputs*.

Foram utilizados os dados da edição de 2017 do ABSP, documento que compila e analisa dados de registros policiais sobre criminalidade, informações sobre o sistema prisional e gastos com segurança pública e principal fonte de dados relativos à segurança no país, para estruturar o modelo DEA. Para cada unidade federativa, foram selecionados dois *inputs*: suas despesas totais com segurança no período de 2016, representando os recursos monetários do estado, e seu total de efetivo policial trabalhando para promover a segurança, representando seus recursos humanos. Como *output*, foi selecionada uma "taxa de segurança" para ser maximizada: a razão No. Habitantes / No. CVLI.

Os resultados mostram que 6 estados, Santa Catarina, Piauí, Roraima, São Paulo, Rio Grande do Sul e Maranhão, foram 100% eficientes na alocação de suas despesas e efetivo policial a fim de se maximizar a taxa de habitantes / CVLI em 2016. Em contrapartida, as UF que demonstraram o pior desempenho nacional foram o Mato Grosso e Rondônia, com escores de eficiência abaixo dos 60%. Classificando-se os estados em grupos de acordo com seu escore, 33,33% das unidades federativas apresentaram baixa eficiência (< 70%) e 25,93% deles, eficiência moderada (70 – 90%), totalizando 59,26% dos estados na faixa de desempenho considerada insatisfatória. A próxima categoria configura o grupo de eficiência alta (90 – 99,99%), onde estavam presentes 18,52% das UF. A soma dos estados *benchmark* com os estados altamente eficientes reuniu 40,74% dos estados na faixa de desempenho considerada satisfatória.

Algumas características do modelo podem ser discutidas. As eficiências encontradas são no geral altas, com média nacional de 81,79%, o que poderia induzir o leitor à conclusão de que os serviços de segurança oferecidos pelos estados são na maior parte dos casos eficientes e, por conseguinte, que os estados são na verdade seguros. Esta dedução contraria os dados estatísticos encontrados no capítulo 3. É importante lembrar que a DEA é uma técnica de análise relativa, de forma que é possível que as DMUs 100% eficientes não apresentem, de fato, bons resultados. Segundo levantamento do *Consejo Ciudadano para la Seguridad Pública y la Justicia Penal*, 17 dos 27 estados continham cidades classificadas entre as mais perigosas do mundo em 2016. Assim, pode-se estabelecer que as altas eficiências

encontradas no modelo são relativas a uma amostra de baixa performance no contexto global e não podem ser entendidas diretamente como um bom sinal. Para além disto, deve-se levar em consideração a confiabilidade dos dados de entrada do modelo. Todos os dados retirados do ABSP estão sujeitos à classificação dos estados em grupos segundo qualidade de informações. Os estados que apresentam menores níveis de confiança podem, assim, distorcer as eficiências calculadas, aparecendo como mais eficientes do que deveriam. Apesar destas ressalvas, o modelo proposto está consistente com os dados alimentados.

Além das eficiências relativas, a DEA fornece diversas informações que podem ajudar as DMUs a traçar objetivos para alcançar seus *benchmarks*. As projeções da taxa de Habitantes / CVLI na fronteira de eficiência foram apresentadas como as metas deste indicador para cada estado, fornecendo assim a direção que estes devem tomar para que se tornem 100% eficientes. O aumento da taxa de segurança foi sugerido através da redução dos números de CVLI em cada UF, para os quais também foram estabelecidas metas. Foi demonstrado que, mantendo-se seus *inputs* inalterados, os estados de baixa eficiência poderiam reduzir os números de CVLI de 30-48%, os de eficiência moderada poderiam diminuí-los em 11-30% e os de eficiência alta poderiam ter redução de até 7% do número de crimes.

Também foram calculados os lambdas do modelo a fim de identificarem-se as unidades alvo, ou *benchmarks* mais "parecidos" com cada estado ineficiente. Sendo assim, os estados ineficientes podem olhar para as práticas dos estados *benchmarks* mais relevantes como guias para alcançar a eficiência, replicando-as em sua própria unidade na medida do possível.

A última informação fornecida pelo modelo DEA deste estudo foram as folgas, ou possíveis ganhos de eficiência mesmo após atingirem-se as metas de redução de CVLI. Os dados mostraram que em 2016, R$ 7,73 bilhões poderiam ter sido economizados pela redução de folgas. Minas Gerais e Rio de Janeiro destacaram-se como os estados que mais desperdiçaram seus recursos financeiros, somando despesas ineficientes de R$ 6,25 bilhões. De maneira semelhante, a folga de recursos humanos em 2016 foi calculada em 23.326 policiais. Não seria correto dizer que estes policiais estiveram ociosos no período, mas sim que suas habilidades não foram alocadas para as tarefas que contribuiriam de forma mais significativa para o combate à violência.

Havendo estimado as eficiências relativas dos serviços de segurança pública dos estados brasileiros, gerando um diagnóstico empírico da alocação de recursos públicos por parte dos órgãos competentes e deixando óbvias as oportunidades de melhoria, é possível afirmar que o objetivo deste trabalho foi alcançado com sucesso. Especificamente, foram identificados conjuntos de entrada e saída para o modelo representativo da segurança pública brasileira

(identificação de *inputs* e *outputs*), foi proposto um modelo de avaliação (configuração do modelo em si), foram classificados os estados segundo a eficiência apresentada (faixas de baixa, média e alta eficiência), foram projetadas metas para as unidades em função das eficiências apresentadas (metas de redução do número de CVLI) e por fim, foram identificados pontos de melhoria nas unidades ineficientes (metas e folgas).

Todas as informações comentadas acima, concebidas pelo modelo DEA desenvolvido neste trabalho, fomentam o debate sobre a segurança pública no Brasil, fornecendo diagnósticos e apontando soluções baseadas em dados categóricos. Em um cenário onde tanto se fala dos desperdícios de recursos públicos, uma estimativa científica das ineficiências e possibilidades de realocação destes recursos é extremamente pertinente.

Uma contribuição secundária deste estudo foi a demonstração do uso de uma razão como variável de um modelo DEA de maneira a respeitar o axioma de convexidade da técnica, muitas vezes ignorado até mesmo na literatura especializada.

Finalmente, dois estudos podem ser desenvolvidos em sequência a este. Sugere-se que o primeiro investigue os estados identificados como 100% eficientes a fim de verificar-se as melhores práticas do país para que possam ser reproduzidas de maneira mais ampla. A avaliação interna da eficiência dos serviços de segurança pública é limitada, já que todos os estados brasileiros são em maior ou menor proporção violentos. Sendo assim sugere-se que o segundo estudo, por sua vez, proponha um modelo DEA que compare os serviços de segurança do Brasil contra aqueles de países com baixos índices criminais, para aí sim estimarem-se as melhores práticas absolutas.

REFERÊNCIAS

ADLER, N.; YAZHEMSKY, E. Improving discrimination in Data Envelopment Analysis: PCA-DEA versus Variable Reduction. Which method at what cost? **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 273-284, Abril 2010.

ANDRADE, E. L. D. **Introdução à Pesquisa Operacional***:* Métodos e Modelos para Análise de Dados. 4a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BENICIO, J.; MELLO, J. C. C. B. S. D.; ANGULO-MEZA, L. **Análise da Eficiência sob Retornos Variáveis de Escala:** um Estudo das Instituições de Ensino Superior Privado. XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Porto de Galinhas: [s.n.]. 2015.

BESANKO, D.; BRAEUTIGAM, R. R. **Microeconomics**. 4a. ed. [S.l.]: Wiley, 2011.

BLACK, J.; HASHIMZADE, N.; MYLES, G. Production Possibility Set. In: _____ **A Dictionary of Economics**. 3a. ed. [S.l.]: Oxford University Press, 2009.

CAESAR, G.; REIS, T. Brasil registra quase 60 mil pessoas assassinadas em 2017. **Portal G1**, 2018. Disponivel em: <https://g1.globo.com/monitor-da-violencia/noticia/brasil-registra-quase-60-mil-pessoas-assassinadas-em-2017.ghtml>. Acesso em: 31 Maio 2018.

CARDOSO, A. **Fundamentos da Pesquisa Operacional (Apostila)**. Alfenas: UNIFAL-MG, 2011.

CERQUEIRA, D. Custo de Bem-estar da Violência e Criminalidade no Brasil. In: _____ **Anuário Brasileiro de Segurança Pública**. [S.l.]: Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2017. p. 76-78.

CERQUEIRA, D.; SOARES, R. The welfare cost of homicides in brazil: accounting for heterogeneity in the willingness to pay for mortality reductions. **Health Economics**, v. 25, p. 259–276, 2016.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional:** 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CONSEJO CIUDADANO PARA LA SEGURIDAD PÚBLICA Y LA JUSTICIA PENAL. **Las 50 Ciudades Más Violentas del Mundo 2016 + Metodología**. México, p. 3-4. 2017.

EL PAÍS. A violência no Brasil mata mais que a Guerra na Síria. **Portal El País**, 2017. Disponivel em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2017/12/11/politica/1513002815_459310.html>. Acesso em: 3 Junho 2018.

EMROUZNEJAD, A.; BANKER, R.; LOPES, A. L. M.; ALMEIDA, M. R. Data Envelopment Analysis in the Public Sector. **Socio-Economic Planning Sciences**, n. 48, p. 2-3, Janeiro 2013.

EMROUZNEJAD, A.; AMIN, G. R. DEA models for ratio data: Convexity consideration. **Applied Mathematical Modelling**, v. 33, n. 1, p. 486-498, Janeiro 2009.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Fórum Brasileiro de Segurança Pública**, 200-? Disponivel em: <http://www.forumseguranca.org.br/>. Acesso em: 22 Maio 2018.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Anuário Brasileiro de Segurança Pública**. [S.l.], p. 133. 2013.

FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Anuário Brasileiro de Segurança Pública**. [S.l.], p. 107. 2017.

FERNANDES, M. D. A. **Análise de eficiência da segurança pública dos estados brasileiros no ano de 2014**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 43. 2016.

FIORETTI, G. **The Production Function**. University of Bologna. [S.l.], p. 16. 2008.

FOGLIATTO, F. **Pesquisa Operacional (Apostila)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [S.l.], p. 271. 2009.

GUERREIRO, A. D. S. **Análise da Eficiência de Empresas de Comércio Eletrônico usando Técnicas da Análise Envoltória de Dados**. Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 87. 2006.

HOLLINGSWORTH, B.; SMITH, P. Use of ratios in data envelopment analysis. **Applied Economics Letters**, v. 10, n. 11, p. 733-735, 2003.

IBGE. População residente enviada ao Tribunal de Contas da União - 2001-2017. **IBGE**, 2017. Disponivel em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao>. Acesso em: 26 Maio 2018.

IBGE. Pesquisa Mensal de Emprego: Tabela 2275 - Rendimento médio e mediano real do trabalho principal, habitualmente recebido por mês, pelas pessoas de 10 anos ou mais de idade, conta própria, no trabalho principal da semana de referência. **SIDRA**. Disponivel em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/2275>. Acesso em: 30 Maio 2018.

IP_SOLVE. Scaling. **Ip_solve**, 200-? Disponivel em: <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/scaling.htm>. Acesso em: 28 Maio 2018.

LIMA, F.; MARINHO, E. L. L. **Segurança Pública no Brasil:** Eficiência e Defasagem Tecnológica. XLII Encontro Nacional de Economia. [S.l.]: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia. 2016.

LIMA, R. S. D.; BUENO, S. O buraco negro da informação em segurança pública no Brasil. **Portal G1**, 2018. Disponivel em: <https://g1.globo.com/monitor-da-violencia/noticia/o-buraco-negro-da-informacao-em-seguranca-publica-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 31 Maio 2018.

MATEO, J. R. S. C. **Management Science, Operations Research and Project Management**. Nova Iorque: Routledge, 2016.

MELLO, J. C. C. B. S. D.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. **Curso de Análise de Envoltória de Dados**. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Gramado: [s.n.]. 2005.

OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA. A Segurança Pública no Brasil. **Observatório de Segurança Pública**, 200-? Disponivel em: <http://www.observatoriodeseguranca.org/seguranca>. Acesso em: 30 Maio 2018.

OPEN SOURCE DEA. Tutorial for OSDEA-GUI. **Open Source DEA**, 200-? Disponivel em: <http://opensourcedea.org/tutorial-for-osdea-gui/>. Acesso em: 28 Maio 2018.

PACHECO, P. Violência no Brasil consome o equivalente ao PIB da Região Norte. **Portal EM**, 2018. Disponivel em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/03/23/internas_economia,946151/violencia-no-brasil-consome-o-equivalente-ao-pib-da-regiao-norte.shtml>. Acesso em: 3 Junho 2018.

PAULO, J. C. D. **Eficiência da aplicação de recursos públicos em segurança nos estados brasileiros**. Universidade Federal de Alfenas. Varginha, p. 36. 2016.

PELLEGRINI, F. R. **Metodologia para Implementação de Sistemas de Previsão de Demanda**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 130. 2000.

RAJGOPAL, J. Principles and Applications of Operations Research. In: ZANDIN, K.; MAYNARD, H. B. **Maynard's Industrial Engineering Handbook**. 5a. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2001.

RAMOS, R. E. B.; FERREIRA, G. M. Analisando retornos de escala usando DEA: um estudo em Instituições de Ensino Tecnológico no Brasil. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 5, n. 2, p. 25-38, out-dez 2007.

SCHULL, A. N.; FEITÓSA, C. G.; HEIN, A. F. Análise da eficiência dos gastos em segurança pública nos estados brasileiros através da Análise Envoltória de Dados (DEA). **Revista Capital Científico**, Eletrônica, v. 12, n. 3, Julho/Setembro 2014.

SERRANO, V. O.; MARTÍNEZ, P. L.; MUNÕZ, J. P. A. Measuring the Technical Efficiency of Public Service Broadcasters: An Application of DEA in Spain. **Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa**, Sevilla, v. 21, p. 5-20, Junho 2016.

SILVA, M. C. C. D. A nova estrutura da segurança pública do Brasil. **Portal Estadão**, 2018. Disponivel em: <http://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/a-nova-estrutura-da-seguranca-publica-do-brasil/>. Acesso em: 31 Maio 2018.

UNODC. Homicide rates, by country or territory (2012 or latest year). **Global Study on Homicide**, 2013. Disponivel em: <http://www.unodc.org/gsh/en/maps.html>. Acesso em: 3 Junho 2018.

YANG, Z. A two-stage DEA model to evaluate the overall performance of Canadian life and health insurance companies. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 43, n. 7-8, p. 910-919, 2006.