

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS  
NÍVEL DOUTORADO**

**MARIA CECILIA DA SILVA BRUM**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NO MODELO DE FINANCIAMENTO DO  
TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO NO BRASIL**

**Porto Alegre**

**2021**

MARIA CECILIA DA SILVA BRUM

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NO MODELO DE FINANCIAMENTO DO  
TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO NO BRASIL**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Contábeis pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves

Porto Alegre

2021

B893a Brum, Maria Cecília da Silva.  
Análise da eficiência no modelo de financiamento do transporte metroferroviário no Brasil / por Maria Cecília da Silva Brum. – 2021.  
92 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, Porto Alegre, RS, 2021.  
“Orientador: Dr. Tiago Wickstrom Alves”.

1. Eficiência. 2. Transporte metroferroviário.  
3. Subsídio. 4. Análise envoltória de dados (DEA).  
5. Função de custo. I. Título.

CDU: 657:652.6

MARIA CECILIA DA SILVA BRUM

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NO MODELO DE FINANCIAMENTO DO  
TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO NO BRASIL**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Contábeis pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves

Aprovado em 29/09/2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ricardo Cassel – UFRGS

---

Profa. Dra. Adriana Kroenke Hein - FURB

---

Profa. Dra. Taciana Mareth - UNISINOS

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Diehl - UNISINOS

---

Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves (Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento a todos, que de perto ou de longe, contribuíram para que esse trabalho pudesse ser concluído com êxito.

Meu agradecimento especial ao meu esposo Marcos, pela parceria incondicional ao longo desse caminho, e ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves, pelos ensinamentos e contribuições nesse processo de aprendizado.

## RESUMO

O transporte de passageiros sobre trilhos no Brasil é operado predominantemente por empresas públicas, com significativos níveis de dependência de subsídio para custeio de suas operações. Embora reconhecida a importância do subsídio como fonte de financiamento dos sistemas de transporte público, ele é apontado na literatura como um dos determinantes para a sua ineficiência. Desempenhos insatisfatórios transferem o custo da ineficiência para os usuários do transporte, ou para o governo, afetando tanto o acesso da população ao sistema de transporte, como os orçamentos públicos, já comprometidos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar se a eficiência das empresas do sistema metroferroviário brasileiro é função do modelo de financiamento, defendendo-se a tese de que o subsídio é um determinante do nível de eficiência do setor metroferroviário brasileiro e que essa relação é inversa. Para isso, a eficiência das empresas metroferroviárias foi determinada utilizando-se o método de Análise Envoltória de Dados - DEA, com suporte na Análise de Janelas e considerando o modelo de retornos variáveis. A análise abrangeu o período de 2014 a 2019, com uma amostra de oito empresas que representam 90% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro. Um modelo de regressão Tobit foi empregado para determinar a relação dos índices de eficiência e os subsídios, gerando parâmetros significativos que revelam que os subsídios estão associados a maiores gastos e a menores receitas de tarifas. Uma função de custo total foi determinada, verificando-se o predomínio de retornos crescentes de escala e tornando evidente que a maioria das empresas operam abaixo da sua capacidade ótima, sendo possível afirmar que as empresas não se beneficiam de ganhos de escala. Ao se identificar uma relação inversa entre eficiência econômica e subsídio, pressupõe-se que a escolha pública de utilizar o subsídio ao transporte como mecanismo de acesso a ele pela população não foi acompanhada de uma política de estímulos à eficiência, o que compromete cada vez mais os orçamentos públicos. Tal fato, torna-se ainda mais relevante quando se considera que há um elevado custo social de se estabelecer uma tarifa que cubra os custos operacionais das empresas metroferroviárias.

**Palavras-chave:** eficiência; transporte metroferroviário; subsídio; DEA; função de custo.

## ABSTRACT

Railway passenger transport in Brazil is predominantly operated by public companies, the majority of which are heavily subsidized to fund their operations. Although the importance of subsidization as a source of financing transport systems is recognized, literature suggests it may be one of the reasons for their inefficiency. Unsatisfactory performance transfers the cost of inefficiency to transport users, or to the government, affecting both the population's access to the transport system and public budget, the latter of which is already severely compromised. The objective of this research was to analyze the efficiency of Brazilian railway systems relative to financing model, thereby examining the theory that subsidization affects efficiency and that there is an inverse relationship between the two. The efficiency of the railway companies was determined using the Data Envelopment Analysis - DEA method, supported by Window Analysis and with consideration to the variable returns model. The period under analysis dated from 2014 to 2019 and used a sample of eight companies, representing 90% of passengers transported by the Brazilian railway system. Tobit's regression model was employed to determine the relationship between efficiency levels and subsidization. The resultant parameters revealed that subsidization is associated with higher expenses and lower revenues from tariffs. Thus, the initial theory was confirmed - subsidized systems are indeed, less efficient. A total cost function was determined, verifying the predominance of increasing returns to scale, confirming that most companies operate below their optimal capacity, and consequently that they do not benefit from scale gains. When identifying an inverse relationship between economic efficiency and subsidization, it is assumed that the public choice to utilize transport subsidization to improve the population's access to it, was not accompanied by a policy to improve efficiency, something which increasingly compromises the public budget. This fact becomes even more relevant when considering as there is a high social cost for establishing a tariff that covers the operational costs of metro-railway companies.

**Keywords:** efficiency; railway transport system; subsidy; DEA; cost function.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo do construto teórico da tese.....	16
Figura 2 – Etapas da pesquisa.....	42
Figura 3 – Empresas metroferroviárias brasileiras .....	43
Figura 4 – Macroprocesso do sistema de transporte metroferroviário .....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Função de produção com rendimentos variáveis.....	25
Gráfico 2 – Geometria da curva de custos.....	29
Gráfico 3 – Representatividade média dos custos dos serviços prestados e das despesas gerais e administrativas incorridos de 2014 - 2019.....	47
Gráfico 4 – Média do custo por passageiro transportado de 2014 - 2019.....	48
Gráfico 5 – Representatividade média dos recursos de 2014 - 2019.....	51
Gráfico 6 – Nível de cobertura dos custos por receita tarifária .....	52
Gráfico 7 – Custos, receitas e tarifas médias de 2014 - 2019.....	53
Gráfico 8 – Número de utilizações com base no salário-mínimo nacional .....	53
Gráfico 9 – Distribuição das variáveis para a avaliação da eficiência técnica .....	57
Gráfico 10 – Distribuição das DMUs por níveis de eficiência técnica.....	59
Gráfico 11 – Média dos índices de eficiência técnica por ano .....	59
Gráfico 12 – Médias dos níveis de eficiência técnica de 2014 - 2019 .....	60
Gráfico 13 – Melhorias potenciais da eficiência técnica .....	64
Gráfico 14 – Distribuição das variáveis para a avaliação da eficiência econômica .....	67
Gráfico 15 – Distribuição das DMUs por níveis de eficiência combinada .....	68
Gráfico 16 – Média dos índices de eficiência combinada por ano .....	70
Gráfico 17 – Médias dos níveis de eficiência combinada de 2014 - 2019.....	70
Gráfico 18 – Média dos índices de eficiência das DMUs .....	71
Gráfico 19 – Potenciais melhorias da eficiência combinada .....	74
Gráfico 20 – Eficiência combinada x Eficiência econômica.....	76
Gráfico 21 – Potenciais melhorias da eficiência econômica .....	77
Gráfico 22 – Média das eficiências apuradas .....	78
Gráfico 23 – Função de custo médio .....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis técnicas da aplicação DEA .....	37
Quadro 2 – Variáveis econômicas da aplicação DEA .....	38
Quadro 3 – Variáveis do modelo de regressão TOBIT .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais variáveis das aplicações de DEA .....	31
Tabela 2 – Empresas metroferroviárias brasileiras .....	34
Tabela 3 – Sistemas metroferroviários de médio e grande porte.....	44
Tabela 4 – Representatividade média do custo dos principais insumos de 2014 - 2019.....	49
Tabela 5 – Média dos principais insumos do transporte metroferroviário de 2014 - 2019 .....	50
Tabela 6 – Cobertura e variação dos custos e das tarifas .....	54
Tabela 7 – Estatísticas descritivas das variáveis técnicas.....	56
Tabela 8 – Eficiência técnica da DMUs por ano e por janela .....	60
Tabela 9 – Média dos índices de eficiência técnica por aplicação DEA .....	62
Tabela 10 – Frequência da DMU como referência nos índices de eficiência de outra DMU ..	63
Tabela 11 – Média da eficiência técnica e de escala .....	65
Tabela 12 – Estatística descritiva das variáveis econômicas .....	66
Tabela 13 – Eficiência combinada das DMUs por ano e por janela.....	69
Tabela 14 – Média dos índices de eficiência combinada por aplicação DEA .....	72
Tabela 15 – Frequência da DMU como referência nos índices de eficiência de outra DMU ..	73
Tabela 16 – Média da eficiência combinada e de escala .....	75
Tabela 17 – Eficiência econômica das DMUs por ano e por janela .....	76
Tabela 18 – Resultados dos modelos de regressão para eficiência técnica .....	81
Tabela 19 – Resultado dos modelos de regressão para eficiência combinada .....	82
Tabela 20 – Resultado dos modelos de regressão para eficiência econômica.....	82

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Problema de Pesquisa .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Tese.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>1.4 Justificativa e contribuições .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Delimitação do Estudo.....</b>	<b>18</b>
<b>2 TEORIA DA ESCOLHA PÚBLICA E FINANCIAMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Teoria da Escolha Pública.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Modelos de financiamento do transporte público – estudos empíricos .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Modelos empregados na análise .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Análise envoltória de dados - DEA.....	25
2.3.2 Função de Custo Total.....	27
<b>2.4 Eficiência no Transporte Público - estudos empíricos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Hipóteses de pesquisa .....</b>	<b>33</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Amostra e fonte de dados .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Modelos e variáveis .....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Análise envoltória de dados - DEA.....	35
3.2.2 Função de Custo Total.....	39
3.2.3 Regressão Tobit .....	40
3.2.4 Síntese da Seção .....	41
<b>4 TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO NO BRASIL.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Composição do sistema metroferroviário brasileiro .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 Estrutura do sistema metroferroviário.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Financiamento do custeio do sistema metroferroviário .....</b>	<b>50</b>
<b>5 EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO – ESTUDO EMPÍRICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>5.1 Eficiência Técnica .....</b>	<b>56</b>
5.1.1 Análise dos dados .....	56

5.1.2 Determinação do índice de eficiência .....	58
<b>5.2. Eficiência Econômica .....</b>	<b>66</b>
5.2.1 Análise dos dados .....	66
5.2.2 Determinação do índice de eficiência .....	68
<b>5.3 Análise das Funções de Custos .....</b>	<b>78</b>
<b>5.4. Eficiência e Subsídio .....</b>	<b>80</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte público urbano desempenha um papel fundamental para a mobilidade urbana, é um importante componente de infraestrutura das cidades, responsável por gerar benefícios a toda sociedade. (XU; WANG; WEI, 2018). Conforme Montanez (2017), as cidades precisam estar equipadas com redes de transporte público, para garantir a sustentabilidade da urbanização, e, uma vez tomada a decisão para projetar, construir e operar essas redes, é igualmente importante estabelecer regras para o financiamento dos sistemas de transporte.

Em geral, as receitas tarifárias do transporte público destinam-se à cobertura de seus custos operacionais e, na medida em que essas receitas não são suficientes, há a necessidade de subsídios à operação de transporte, sendo essa a realidade da maioria das cidades no mundo. (ASENSIO; MATAS; RAYMOND, 2003; KIGGUNDU, 2009).

O transporte público é considerado uma empresa de bem-estar público. (FEI, 2016). Conforme Sevrović, Brčić e Kos (2015), os subsídios do transporte público podem estabelecer uma combinação ótima entre a tarifa e o nível de serviço oferecido aos passageiros, embora o subsídio governamental para o transporte represente um custo elevado para os orçamentos públicos.

No Brasil, os custos operacionais dos sistemas de transporte público por ônibus são financiados predominantemente por meio de receita tarifária, com isso, a variação dos custos operacionais do transporte público é absorvida pelos usuários pagantes do transporte. Já nos sistemas de transporte metroferroviário, onde predomina o financiamento por meio de recursos públicos, a variação dos custos operacionais altera o nível de comprometimento dos orçamentos públicos com o custeio do transporte. Assim, é possível perceber a estreita relação existente entre custos operacionais, tarifa e subsídio.

Diante disso, considerando a relevância do subsídio para a operação do sistema de transporte metroferroviário e a importância deste modal para a mobilidade urbana, dada sua alta capacidade de transporte, estabelece-se o tema desta tese que é o modelo de financiamento do transporte metroferroviário no Brasil. O problema de pesquisa é descrito a seguir.

### 1.1 Problema de Pesquisa

O relatório anual de mobilidade urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP, classifica a mobilidade urbana no Brasil em três modos de transporte: transporte não motorizado (a pé e bicicleta), transporte individual (automóvel e motocicleta) e transporte

coletivo (ônibus e trilhos). O referido relatório revela que 43% das viagens são realizadas a pé e por bicicleta, 29% por meios de transporte individual e 28% por transporte coletivo (24% por ônibus e 4% por trilhos). O transporte coletivo, no ano de 2016, representou 18% dos custos da mobilidade urbana, sendo 17% obtidos de recursos gastos pelos usuários para utilização do sistema e 1% despendido pelo poder público. (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP), 2018).

O transporte público por ônibus tem seu custeio financiado basicamente por meio da arrecadação tarifária. A cidade de São Paulo é exceção a esse modelo, sendo a única cidade brasileira que recebe recursos significativos do orçamento público para financiar a operação de transporte – 20% do custo total do sistema. (CARVALHO *et al.*, 2013; CARVALHO, 2016).

Ao contrário do sistema de ônibus, o de transporte metroferroviário no Brasil caracteriza-se pelo financiamento por recursos públicos. (CARVALHO; PEREIRA, 2011). A exemplo, dos vinte e um sistemas metroferroviários existentes no Brasil, apenas três possuem cobertura plena dos custos operacionais por receitas tarifárias. (ANTP, 2020).

Comparativamente, em termos de capacidade de transporte, dados da ANTP (2018) revelam que enquanto o ônibus apresenta uma relação de 480 passageiros por veículo/dia e índice 1,75 passageiros/km, o transporte sobre trilhos possui uma relação de 1.823 passageiros por veículo/dia, com índice de 4,46 passageiros/km. Além disso, conforme a Associação Nacional de Transporte sobre Trilhos (ANPTRILHOS) (2017), a maior capacidade de transporte dos sistemas sobre trilhos contribui para evitar a entrada de mais de 1,1 milhão de carros e mais de 16.000 ônibus nos centros urbanos, diariamente, de acordo com dados de 2016. Assim sendo, frente à alta capacidade de transporte proporcionada pelos sistemas sobre trilhos, o transporte metroferroviário caracteriza-se como um importante componente para a estrutura de transportes urbanos. Dessa forma, a tarifa cobrada dos usuários desse modal afeta a demanda de passageiros e determina o nível de subsídio necessário para a cobertura dos custos operacionais desse sistema de transporte.

Conforme mencionado anteriormente, no sistema de transporte urbano sobre trilhos, predomina o financiamento por meio de subsídio e essa dependência do orçamento público pode ser decorrente da impossibilidade social de estabelecer uma tarifa que cubra os custos operacionais. Porém, esse sistema é fundamental para o transporte urbano, cobrindo viagens de larga escala geográfica, servindo de base para o transporte urbano em regiões metropolitanas e atendendo pessoas de menor poder aquisitivo. (CARVALHO, 2016). Segundo Fei (2016), o transporte público é determinante para o bem-estar social, e assim, o subsídio muitas vezes se

justifica por tornar o transporte público acessível para a população de baixa renda, sendo isso mais relevante do que questões de eficiência econômica. (ŠEVROVIĆ; BRČIĆ; KOS, 2015).

Posto isso, embora seja reconhecida a importância do subsídio como fonte de financiamento do sistema de transporte, o destinado para o transporte concorre com outros serviços essenciais como educação e saúde (POLIAK *et al.* 2017; POLIAK; SEMANOVÁ; MRNÍKOVÁ, 2017), assim sendo, a transferência eficiente dos recursos públicos para o transporte ganha relevância.

Conforme Fitzová, Matulová e Tomes (2018), empresas de transporte que operam exclusivamente dentro de mercados locais e que utilizam fundos públicos para sua manutenção não são disciplinadas pelo mercado, por isso, podem ter a eficiência de seus serviços comprometida. Os autores afirmam existir uma relação inversa entre eficiência e subsídio, sendo esse resultado também encontrado nos estudos de Oum e Yu (1994), Graham (2008) e Mallikarjun, Lewis e Sexton (2014).

Dessa forma, ainda que de maneira geral o subsídio público ao transporte se justifique dado o impacto socioeconômico e ambiental positivo gerado pelo transporte (DARAIIO *et al.*, 2016), níveis inadequados de subsídio contribuem para a ineficiência dos sistemas de transporte, além de favorecer a existência de uma lacuna crescente entre o nível das tarifas e os custos do transporte. (ARCIER, 2014).

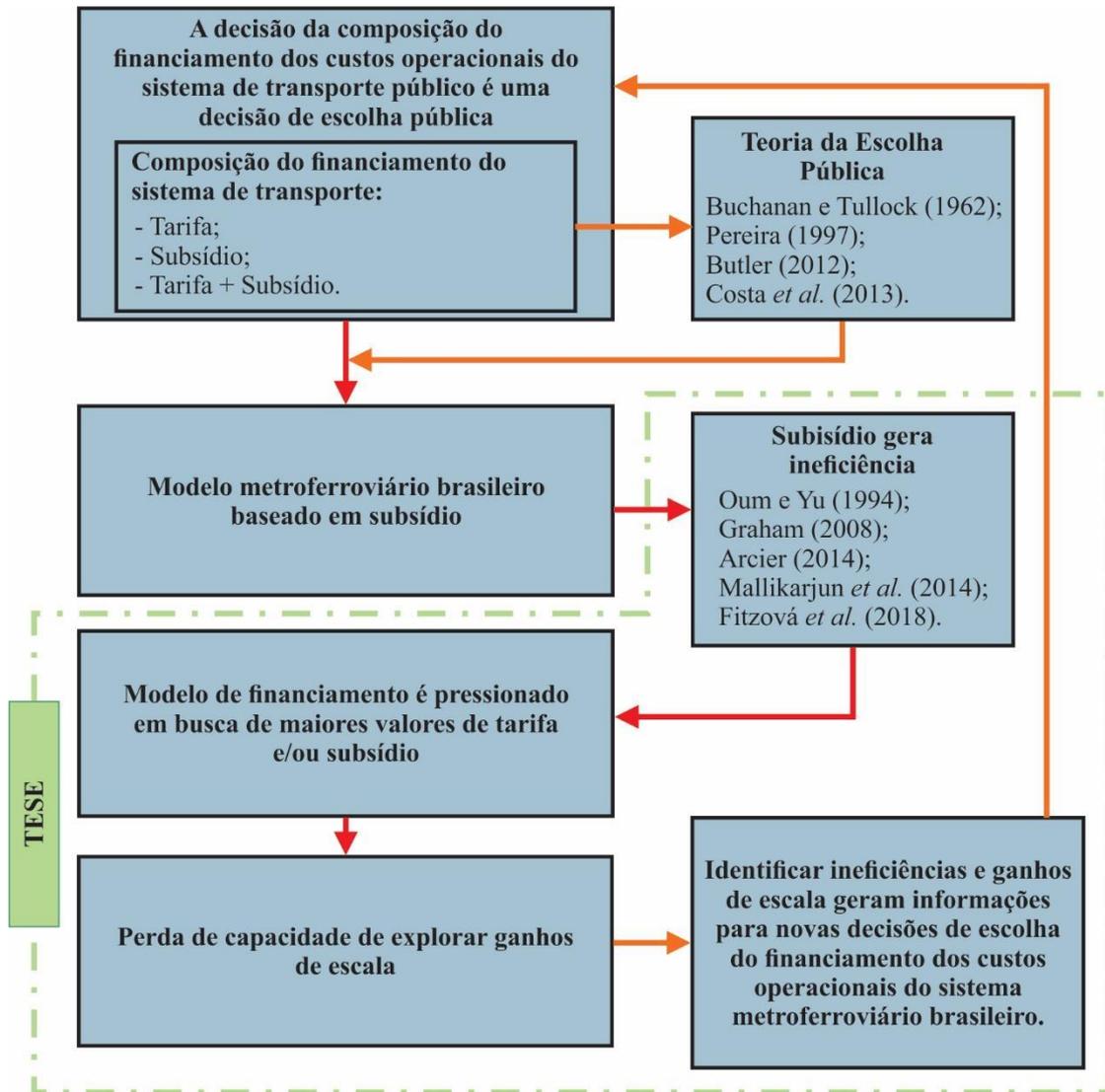
Por todo o exposto, verifica-se que o transporte público corresponde a um determinante para o bem-estar social, sendo os recursos públicos importantes fontes de financiamento para sistemas de transportes. É reconhecida, portanto, a necessidade de aplicação eficiente desses recursos. Considerando ainda, nesse contexto, que o transporte metroferroviário caracteriza-se como importante elemento da mobilidade urbana no Brasil, com a cobertura dos seus custos operacionais predominantemente ocorrendo por meio de recursos públicos, questiona-se: O modelo de financiamento do transporte metroferroviário no Brasil afeta a eficiência das empresas metroferroviárias?

## 1.2 Tese

Tendo em vista o problema de pesquisa apresentado, a tese deste estudo é a de que o subsídio é um determinante do nível de eficiência do setor metroferroviário brasileiro e essa relação é inversa, ou seja, quanto maior o nível de subsídio menor é o nível de eficiência.

Na Figura 1, apresenta-se o resumo teórico da tese.

Figura 1 – Resumo do construto teórico da tese



Fonte: Elaborado pela autora.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar a eficiência das empresas do sistema metroferroviário brasileiro como função do modelo de financiamento.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar a eficiência das empresas que compõem o sistema de transporte metroferroviário brasileiro;

- b) Analisar os efeitos de escala no modelo de financiamento do transporte metroferroviário brasileiro;
- c) Identificar a relação entre os índices de eficiência e os níveis de subsídio das empresas do sistema metroferroviário brasileiro.

#### **1.4 Justificativa e contribuições**

A mobilidade urbana pode ser definida “como a facilidade de deslocamento das pessoas e bens na cidade, tendo em vista a complexidade das atividades econômicas e sociais nela desenvolvidas”. (SUGUIY, 2017, p.19). Conforme Guzman e Oviedo (2018, p.1), “o transporte público tem reivindicado uma posição preferencial nas recentes agendas de desenvolvimento urbano internacional dado o crescente interesse pelo desenvolvimento inclusivo das cidades em diferentes níveis da política urbana”. Assegurar os benefícios gerados pelo sistema de transporte público requer políticas públicas que garantam o equilíbrio socioeconômico e a geração de bem-estar.

O crescimento das cidades associado ao aumento da mobilidade urbana são fontes de geração de externalidades, como congestionamentos, poluição do ar, ruídos, acidentes de trânsito, além de acarretarem limitações no atendimento das necessidades individuais do transporte. (TOMANEK, 2017). No entanto, para promover o uso e o desenvolvimento do transporte público não basta o desenvolvimento de um ambiente orientado para o trânsito, é necessária também a implementação de uma política econômica que incorpore subsídios aos transportes, uma vez que essa política pode afetar substancialmente o comportamento dos deslocamentos. (FEI, 2016). Financiar o transporte público é um desafio enfrentado por grandes cidades em todo o mundo (KIGGUNDU, 2009), e o nível ideal de subsídio depende da fonte de recursos, da elasticidade da renda da população e ainda do bem-estar que os formuladores de políticas públicas pretendem atribuir às diversas classes sociais. (ŠEVROVIĆ; BRČIĆ; KOS, 2015). A definição do nível de subsídio ao financiamento do transporte público e por consequência o estabelecimento do preço da tarifa a ser cobrada do usuário do transporte é uma escolha pública que impacta fortemente na sociedade. Níveis inadequados de subsídio podem tornar sistemas de transporte ineficientes (ARCIER, 2014), ao passo que a cobrança de tarifas elevadas pode limitar o acesso ao transporte, principalmente, da população de baixa renda. (ŠEVROVIĆ; BRČIĆ; KOS, 2015).

Conforme dispõe Xue *et al.*(2017), os governos, em todos os níveis, têm que enfrentar o problema de manter a qualidade dos serviços e as tarifas de transporte a níveis baixos, frente a

recursos financeiros limitados. A não existência de subsídio levaria as operadoras de transporte a cobrar o custo operacional por meio da tarifa, impactando de forma direta a demanda de passageiros.

Para Parry e Small (2009), há duas razões clássicas para o subsídio do transporte público. Em primeiro lugar, as economias de escalas, em que a maior densidade de passageiros permite que os veículos sejam operados com maior ocupação, economizando assim os custos do provedor do transporte. Em segundo lugar, a redução de tarifas de transporte, que desestimulam o uso do automóvel reduzindo os custos de externalidades como o congestionamento, a poluição e os acidentes de trânsito.

O transporte metroferroviário brasileiro apresenta-se como um sistema subsidiado, caracteriza-se por ser um transporte de massa, com vantagens competitivas em ambientes de intenso congestionamento de tráfego rodoviário, no entanto, o alto investimento exigido por soluções de transporte por trilhos requer economias de escala para a viabilidade em aglomerados urbanos. Sendo assim, identificar ineficiências e ganhos de escala gera informações para novas decisões de escolha do sistema de financiamento dos custos operacionais do sistema metroferroviário brasileiro.

Tendo em vista o exposto, justifica-se a escolha do tema e a proposição da tese deste trabalho. Busca-se contribuir teoricamente para políticas de decisão de escolhas públicas e empiricamente à geração de informações para os formuladores de políticas públicas, enriquecendo as discussões acerca dessas políticas voltadas ao transporte urbano, em especial, no que tange aos modelos de financiamento do transporte público sobre trilhos.

### **1.5 Delimitação do Estudo**

No que diz respeito ao escopo da pesquisa, ela limita-se a tratar sobre o financiamento dos custos para a operação do sistema de transporte metroferroviário de passageiros, sendo contemplado no âmbito de investimentos os custos de depreciação, não sendo considerada a necessidade de recursos para realização de novos investimentos. Além disso, são analisados apenas os impactos dos modelos de financiamento no âmbito econômico, uma vez que não integram este estudo os impactos sociais e ambientais generalizados pelo transporte, como, por exemplo, os efeitos de bem-estar. Quanto à temporalidade, são utilizados dados a partir do ano de 2014, considerando a disponibilidade das informações.

## 2 TEORIA DA ESCOLHA PÚBLICA E FINANCIAMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO

### 2.1 Teoria da Escolha Pública

A denominada Escola da Escolha Pública - *Public Choice* - teve origem em um conjunto de reflexões de alguns autores que visavam à adoção de uma perspectiva econômica para análise de fenômenos políticos, em especial, das decisões em situações de não mercado ou mercado político. (DIAS, 2009; SOUZA, 1996).

A Teoria da Escolha Pública em geral é definida como “a aplicação do método econômico a problemas que geralmente são estudados no âmbito da ciência política: grupos de interesse, sistemas eleitorais, partidos políticos e a constituição, entre outros”. (PEREIRA, 1997, p.423).

A origem mais recente da Teoria da Escolha Pública data do final das décadas de 50 e 60 do século XX, por meio de obras de pensadores contemporâneos da Escolha Pública, como Kenneth Arrow (1951), Anthony Downs (1957), Duncan Black (1958) e James Buchanan e Gordon Tullock (1962). (BUTLER, 2012; PEREIRA, 1997).

Conforme Butler (2012), o conhecido “teorema do eleitor mediano” foi a maior contribuição de Duncan Black à teoria da escolha pública. O teorema sugere que, em questões diretas, como, por exemplo, quanto deveria ser investido em estradas, as decisões dos partidos políticos irão se direcionar para o centro das opiniões onde está a maioria dos votantes, uma vez que é considerado que os partidos políticos necessitam de votos. Assim, os votantes possuem pouca escolha. Posteriormente ao teorema de Duncan Black, Anthony Downs ficou conhecido pela aplicação da teoria da Escolha Racional aos mecanismos do mercado político, em que, para alcançar objetivos individuais que envolvem renda e poder, os partidos mudam suas políticas em busca de votos. Em relação a Kenneth Arrow (1951), sua maior contribuição à escolha pública foi o “teorema da impossibilidade”, demonstrando que não existe de fato um sistema democrático capaz de garantir um resultado desejável, dada a predominância e a força das preferências dos grupos votantes.

Os autores norte-americanos James Buchanan e Gordon Tullock ganharam realce na Teoria da Escolha Pública com a publicação do livro “*The Calculus of Consent*”, em 1962. Já a Teoria da Escolha Pública destacou-se, em 1986, quando James Buchanan recebeu o prêmio Nobel em Economia.

Buchanan e Tullock (1962, p.6) afirmam que:

nossa teoria é ‘econômica’ apenas porque supõe que indivíduos separados são indivíduos separados e, como tal, provavelmente têm objetivos e propósitos diferentes para os resultados da ação coletiva. Em outros termos, assumimos que os interesses dos homens serão diferentes por outras razões que não as da ignorância .

Assim, a Teoria da Escolha Pública tem como foco “[...] o comportamento dos indivíduos relacionados com o processo político, abrangendo a qualidade dos agentes públicos, assim como eleitores ou pessoas que possuem interesse nas políticas a serem adotadas”. (FIIRST *et al.*, 2018, p.274). Como elucida Pereira (1997, p. 438):

A teoria da escolha pública veio clarificar os problemas inerentes à tomada de decisão coletiva e pôr a nu alguns problemas que hoje identificamos com os ‘fracassos do governo’, ou melhor, do setor público e do sistema político: ineficiência da administração pública, ausência de incentivos, problemas com obtenção de informação acerca das preferências dos cidadãos, rigidez institucional, permeabilidade à atuação de *lobbies*, financiamento ilegal de partidos políticos, etc. Esta visão mais realista do processo político, de certa forma, tem alterado um pouco o ideal democrático, e tem mostrado que eventualmente as aspirações desse ideal estavam demasiado elevadas em relação àquilo que o método democrático permite.

A diferença entre os resultados políticos e os de mercado é uma das principais percepções a respeito da Teoria da Escolha Pública. Uma escolha pública ocorre quando o indivíduo opta por uma ou mais alternativas e o resultado dessa opção afeta outros indivíduos. (COSTA *et al.*, 2013). O papel do governo na sociedade tornou-se um dos temas mais frequentes da pesquisa econômica nas últimas décadas. O crescente interesse reflete mudanças institucionais profundas ocorridas nas economias, especialmente, o intervencionismo governamental. (RYBÁČEK, 2016).

Para Schneider e Damanpour (2001), frente ao conflito de interesses, o pressuposto comportamental da Teoria da Escolha Pública é semelhante à teoria da agência no setor privado. No setor privado, o agente está ligado a somente um principal ou a um número reduzido deles. Já no setor público, na relação entre eleitor (principal) e político (agente), o agente está ligado a vários principais, que, em virtude do sigilo do processo eleitoral, desconhece quais sejam (pode ter uma ideia, mas não a certeza). (COSTA *et al.*, 2013, p. 1094).

Para Schwanka (2014), ao unir o dado político com o dado econômico, a Teoria da Escolha Pública destaca o desenvolvimento do processo de decisão coletiva inserido naquilo que a teoria chama de mercado político onde a informação está assimetricamente distribuída.

Considerando o disposto e o fato de que a Teoria da Escolha Pública foca no comportamento dos indivíduos relacionados com o processo político, abrangendo tanto a

qualidade dos agentes públicos como a de eleitores e demais pessoas com interesse nas políticas a serem adotadas, torna-se pertinente a relação dessa teoria com a mobilidade urbana, permitindo discutir importantes impactos gerados por escolhas públicas de governantes a esse respeito.

## **2.2 Modelos de financiamento do transporte público – estudos empíricos**

Os estudos empíricos revelam que o sistema de transporte público possui diferentes níveis e modelos de financiamento dos custos de operação. Entre os vinte maiores sistemas de transporte público nos Estados Unidos, classificados por milhas de passageiros, o subsídio, medido pela diferença entre os custos operacionais e as tarifas de passageiros, varia de 29% a 89% para ferrovias, e de 57% a 89% para o sistema de ônibus. (PARRY; SMALL, 2009). Conforme Brueckner (2005), na Europa, as tarifas cobrem, em média, 50% dos custos operacionais. O estudo de Buehler e Pucher (2011) demonstra que a produtividade e a eficiência financeira na Alemanha melhoraram significativamente, nos últimos anos, quando a participação das despesas operacionais cobertas pelas tarifas de passageiros passou de 59%, em 1991, para 77%, em 2007, e os subsídios caíram quase 40%. Os autores referenciam que há negligência quanto à sustentabilidade financeira que é refletida em muitos sistemas de transporte público do mundo com baixa produtividade, altos custos e necessidade de grandes subsídios do governo.

O estudo de Arcier (2014) teve como alvo o transporte público na França. Conforme o autor, as cidades francesas continuam financiando um alto nível de transporte, buscando um alinhamento à lei de transporte sustentável que obriga a limitação do uso de carros nas cidades europeias. A França possui imposto destinado ao transporte que gera recursos substanciais para o financiamento do transporte público urbano. Entretanto, segundo Arcier, esse cenário de financiamento aparentemente positivo contribuiu para que houvesse a negligência dos agentes do transporte na busca de uma melhor produtividade e um maior desempenho das redes de transporte, favorecendo também a existência de uma lacuna crescente entre o nível das tarifas e os custos do transporte.

Parry e Small (2009), utilizando dados de três grandes e diferentes áreas metropolitanas com extensos sistemas de trânsito, Washington, Los Angeles e Londres, aplicaram um modelo para analisar os efeitos de bem-estar. Os autores inferem como principal conclusão do estudo que, em quase todos os casos, a extensão de subsídios de tarifa além de 50% dos custos operacionais melhora o bem-estar. Conforme os autores, as principais razões pelas quais os

grandes subsídios melhoram o bem-estar confirmam os dois fatores clássicos citados na literatura sobre o tema: economia de escala e tarifas menores, que desestimulam o uso de automóveis e reduzem custos externos.

O estudo de Mouwen e Ommeren (2016), por sua vez, avaliou o impacto da renovação de contratos e da licitação competitiva sobre os custos operacionais, subsídio e número de passageiros no transporte público da Holanda. Os autores concluíram que a política do governo holandês, que visa aumentar a eficiência e o número de passageiros no setor do transporte público por meio da concorrência, é bem-sucedida. A renovação de contrato sob o regime de concorrência competitiva leva à diminuição dos subsídios e ao aumento do número de passageiros.

Tendo como referência a Suécia, onde o transporte público é controlado pelo agente público e é altamente subsidiado, Holmgren (2014) avaliou, por meio do uso, da oferta e dos custos do transporte público, a política das autoridades de transportes públicos, concluindo que a atual política de transporte não é eficiente em termos de maximização do bem-estar. Os resultados apontam que, no período analisado, as tarifas do transporte deveriam ter sido menores e a política de maximização de bem-estar sugerida deveria ter aumentado o número de viagens de transporte público. O autor afirma que, embora a política sugerida aumente a necessidade de subsídios ao setor de transporte público, teria como contrapartida o aumento do bem-estar e do uso geral do transporte público.

Já Montanez (2017) analisou o motivo pelo qual grandes áreas metropolitanas como Paris, Berlim ou Madrid precisam de recursos financeiros especiais das autoridades e, na maioria dos casos, de leis nacionais específicas para financiar redes de transporte público. O estudo identificou uma relação entre o tamanho da cidade e suas necessidades financeiras para o transporte público, apurando que as necessidades financeiras são mais do que proporcionais ao tamanho das cidades. O crescimento das cidades requer fundos financeiros para sustentar o transporte público em proporção maior do que o crescimento dos bairros e, por isso, grandes cidades possuem orçamentos significativamente maiores do que o resto do país. Embora os recursos públicos sejam limitados para subsidiar os serviços de transporte, os serviços requeridos por cidadãos são ilimitados.

Utilizando dados estatísticos da cidade de Pequim, Xu, Wang e Wei (2018) examinaram os efeitos econômicos e ambientais das políticas de subsídios ao transporte público. As simulações compararam o bem-estar social em toda a cidade, a distribuição da população e os efeitos das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas a viagens sob quatro políticas de subsídio: subsídio de tarifa, subsídios em dinheiro, expansão de estradas e aceleração do transporte público. Os

autores concluíram que os subsídios ao transporte público podem melhorar o bem-estar social geral, independentemente da forma adotada pela política. Em síntese, os efeitos sociais, espaciais e ambientais das quatro políticas de subsídios são bem diferentes. Portanto, quando os governos decidem sobre o nível e a forma de subsidiar os transportes públicos, a meta estratégica da política de subsídios deve ser verificada combinando condições.

Também com dados de Pequim, o estudo de Tu, Weng e Yuan (2016) concluiu que a política de transporte público de baixa tarifa melhorou a atratividade do transporte público, no entanto, levou a problemas como o pesado fardo financeiro, a otimização irracional da estrutura de viagens do transporte público e a aglomeração de passageiros em larga escala ao mesmo tempo. Diante disso, um ajuste tarifário do transporte público foi implementado sendo identificada grande influência dele nas viagens de transporte público, tendo ocorrido transferência de passageiros do trem para o ônibus.

O estudo de Poliak, Semanová e Mrníková (2017) analisou a hipótese de que o financiamento do transporte público de passageiros, a partir de fundos públicos, é uma ferramenta importante para influenciar o número de passageiros transportados individualmente por automóveis. Portanto, pode ser um instrumento para influenciar a segurança no trânsito em dado território. Como resultado, os autores inferem que usar o transporte público ao invés do transporte individual diminui o número de veículos na estrada e a possibilidade de acidentes. Com base na elasticidade, pode-se concluir que uma mudança significativa na segurança viária não pode ser alcançada, a menos que outras medidas sejam tomadas juntamente com o apoio financeiro do transporte público (por exemplo, linhas de ônibus reservadas e proibições de estacionamento para veículos).

Cadena *et al.* (2016) valeram-se de dados do transporte de Madrid, na Espanha, para avaliar o impacto dos subsídios de tarifa sobre a equidade vertical. O indicador transporte público urbano confirma que as pessoas nos bairros mais pobres usam viagens com muito mais frequência do que as pessoas em áreas mais ricas. Sendo assim, obtêm maior benefício dos subsídios públicos. Os resultados confirmam que os subsídios ao transporte público dão consideração especial aos bairros pobres em comparação com os ricos. Um modelo de regressão múltipla explica o transporte público urbano em relação a três variáveis: população, acessibilidade e nível de renda. Os resultados mostram que o nível de renda desempenha o papel mais significativo em influenciar o uso do transporte público.

Guzman e Oviedo (2018) reportam que o governo de Bogotá implementou um modelo de subsídios aos transportes públicos em prol dos pobres, que visa aliviar o fardo financeiro das famílias pobres para acessar o sistema de transporte público da cidade. O estudo baseia-se na

hipótese de que a acessibilidade é um construto multidimensional que pode se beneficiar da diminuição da economia tanto quanto os ganhos em custos de tempo. Os resultados da análise mostram que tanto a estrutura atual dos subsídios pró-pobres em Bogotá como os cenários alternativos para aumentar sua cobertura são progressivos, melhorando a acessibilidade e a equidade para aqueles com acesso ao subsídio.

O estudo de Cats, Susilo e Reimal (2017), que teve como objeto a cidade de Tallim na Estônia, evidencia uma política de transporte público livre de tarifas. Os autores enfatizam a expressão “Tarifa Livre” em substituição à expressão “Transporte Público Gratuito”, considerando o fato de que essa política não é gratuita, pois o sistema de transporte público não funciona de graça, sendo que os custos deverão ser cobertos por subsídios. Ao discutir o tema da tarifa livre, os autores referem-se a uma pesquisa realizada pela Comissão Europeia que aponta que os europeus acreditam que as duas melhores medidas para incrementar o transporte são preços baixos e melhorias no transporte. O suporte a essas medidas apresentou-se alto entre todos os usuários, principalmente, junto àqueles que consideram o congestionamento rodoviário um problema importante.

A pesquisa de Tomanek (2017) traz o tema da implementação de uma política de transporte público de tarifa e busca identificar argumentos que justifiquem a implementação da política de transporte público de tarifa livre na Polônia. O autor conclui que as evidências do impacto da referida política na mobilidade urbana sustentável são fracas e não reduzem a exclusão de mobilidade. Ao mesmo tempo, reporta que a introdução dessa solução é cara, especialmente, nas áreas metropolitanas. O autor considerou que o aumento da demanda do transporte público pode reduzir o acesso ao transporte público por parte de idosos e pessoas com deficiência. Ademais, considerou o fato de que na Polônia a maioria dos passageiros usa descontos de transporte, assim, o impacto na redução da exclusão da mobilidade seria pequeno.

Os estudos acima mencionados reforçam a importância das políticas públicas de mobilidade urbana, especialmente, no que concerne à escolha do modelo de financiamento para cobertura dos custos operacionais do transporte público. Os modelos de financiamento impactam de forma direta no nível de receita tarifária e dos subsídios governamentais, a demanda de passageiros, o impacto e a geração de externalidades, são alguns outros fatores. Conforme Holmgren (2018), o principal meio de afetar a demanda do transporte são alterações no preço e no nível dos serviços. Para o autor, do ponto de vista da política, o equilíbrio entre tarifa e nível de serviço, combinado com o nível de subsídio, constitui a principal decisão estratégica da gestão de transportes públicos. Já considerando o ponto de vista da sociedade, o padrão relevante para avaliação das operações de transporte é a maximização do bem-estar.

## 2.3 Modelos empregados na análise

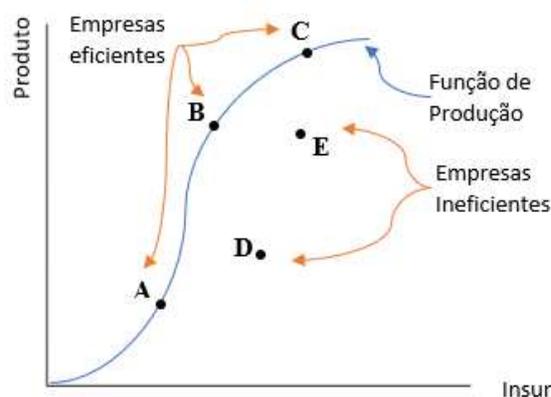
Nas seções a seguir, apresenta-se os modelos utilizados na análise das empresas metroferroviárias brasileiras.

### 2.3.1 Análise envoltória de dados - DEA

O DEA é um modelo não paramétrico, não utilizando, portanto, estatísticas de tendências centrais e variâncias populacionais (FERREIRA; GOMES, 2009) e pode ser empregado para identificar a eficiência relativa das Unidades de Tomada de Decisão (DMUs) que podem ser empresas, organizações, pessoas, ou qualquer sistema que apresente um conjunto de entradas e saídas mensuráveis, independentemente de serem quantitativas ou qualitativas. (CAVAIGNAC; PETIOT, 2017; MARKOVITS-SOMOGYI, 2011; SUGUIY, 2017).

A eficiência pode ser definida como sendo a obtenção do melhor resultado possível a partir da composição de entrada da maneira mais produtiva. (KUTLAR; KABASAKAL; SARIKAYA, 2013). A eficiência técnica resulta das combinações de máxima produção para todas as combinações de insumos possíveis. Essa máxima combinação resulta no que é chamado de função de produção, em que as empresas/unidades de análise que estão sobre a curva são eficientes e as que estão abaixo da curva são ineficientes, sendo o grau de ineficiência dado pela distância da unidade em relação à função de produção, uma vez que ela poderia produzir mais com os mesmos recursos (orientada para produto) ou o mesmo volume com menos insumo (orientada para insumos). Graficamente, essas situações podem ser representadas conforme a Gráfico 1.

Gráfico 1 – Função de produção com rendimentos variáveis



Fonte: Adaptado de Besanko e Braeutigam (2004).

Matematicamente, a função de produção pode ser definida, de forma genérica, como  $Q = f(K, T, \tau)$  sendo  $Q$  a quantidade produzida como função do estoque de capital ( $K$ ), trabalho ( $L$ ) e tecnologia ( $\tau$ ). No Gráfico 1, representou-se uma função de produção com rendimentos variáveis, ou seja, ao se alterar o insumo de forma constante, a produção cresce inicialmente a taxas crescentes e, depois, cresce a taxas decrescentes. Caso o rendimento fosse constante, a função de produção seria representada por uma linha reta que parte da origem. (JEHLE; RENY, 2000).

Na Análise Envoltória de Dados (DEA), as informações de eficiência são relativas, isto é, não há uma função de produção definida de forma absoluta, sendo considerada eficientes aquelas que “envelopam” as empresas/unidades com melhor desempenho. Logo, as empresas consideradas eficientes são significativamente sensíveis à amostra. (SOUZA; SOUSA; TANNURI-PIANTO, 2008). Com DEA, é possível determinar a eficiência de suas Unidades de Tomada de Decisão, as DMUs (*Decision-Making Unit*), a partir da relação entre os insumos (*inputs*) e os produtos (*outputs*), porém, essa eficiência é relativa e não absoluta. Com isso, identificam-se economias de insumos ou aumento de produção possíveis.

O método DEA origina-se em 1957 com Farrell (1957) e tem uma evolução significativa em 1978 com Charnes, Cooper e Rhodes, por meio da obra *Measuring the efficiency of decision making units*, com o uso de técnicas de programação linear, que ficou conhecido como CCR, em homenagem aos autores. Esse modelo também é conhecido como retornos constantes de escala, pois considera somente rendimentos constantes. Alguns anos depois, Banker, Charnes e Cooper inseriram na análise os rendimentos variáveis, ficando conhecido como BCC – também em homenagem aos autores. (MARIANO; ALMEIDA; REBELATTO, 2006).

Buscando cumprir o objetivo específico de determinar a eficiência das empresas metroferroviárias, utilizou-se o método DEA para o cálculo da eficiência, sendo usado o modelo de retornos variáveis (BCC), que possibilita verificar se há unidades com retornos de escala, o que foi constatado. Conforme Tsai, Mulley e Merkert (2015), para sistemas de transporte público, os retornos de escala são geralmente considerados variáveis, pois a relação entre as saídas do serviço e as entradas não é constante e varia de acordo com o tamanho da empresa.

No que se refere à orientação dos modelos, foram orientados para entrada (*inputs*), uma vez que se busca minimizar os insumos para um determinado nível de resultados. Esse direcionamento vai ao encontro dos achados nos estudos empíricos com aplicação do DEA em transportes públicos, já que as entradas são consideradas mais flexíveis. (FITZOVÁ;

MATULOVÁ; TOMES, 2018; MARKOVIST-SOMOGYI, 2011; TSAI; MULLER; MERKERT, 2015). Matematicamente, as DMUs eficientes foram obtidas por:

$$\text{Min } \theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \geq 0 \quad \forall i \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{mk} - y_{m0} \geq 0 \quad \forall m \quad m = 1, 2, \dots, s \quad (2)$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Onde,  $y$  é o produto,  $x$  os insumos,  $\lambda$  = pesos,  $\theta$  a eficiência com base nos pesos  $m$  *outputs* e *inputs* respectivamente e  $\lambda_k$  a  $k$ -ésima coordenada da DMU com base em uma DMU de referência.

Os índices de eficiência variam de 0,00 a 1,00 (0% a 100%) e a DMU é considerada eficiente quando o indicador é 1 (100%). Assim, quanto menor o índice de eficiência mais ineficiente será a DMU. A identificação dos índices de eficiência fornece parâmetros para que as unidades ineficientes busquem melhorias para atingir a eficiência com base na comparação com as DMUs eficientes.

### 2.3.2 Função de Custo Total

A função de custo total “é uma relação matemática que mostra como o custo total varia com os fatores que influenciam o custo”. (BENSANKO; BRAEUTIGAM, 2004, p.31). Do ponto de vista econômico, o “custo de um insumo é a remuneração que o insumo receberia em seu melhor emprego alternativo” (NICHOLSON; SNYDER, 2018, p. 198), cuja concepção é denominada de custo de oportunidade dos fatores de produção. Assim, para que se possa produzir algo, é necessário que se utilize os insumos necessários para essa produção e dados os custos de oportunidade dos insumos ter-se-á os custos totais de um determinado nível de produto. Ao se estabelecer uma relação entre os níveis de produtos e os insumos mínimos para cada um desses níveis, obtém-se a função de custos, conforme B. C. Eaton e D. F. Eaton (1999).

Com base nessa descrição, tem-se que a função de custos é uma função implícita da função de produção, cujos rendimentos podem ser crescentes, decrescentes ou constantes, de forma que “existe uma boa relação entre o tipo de rendimento de escala apresentado pela função de produção e o comportamento da função de custo”. (VARIAN, 2015, p. 392). Formalmente, então, o problema da minimização de custos passa a ser definido como (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995, p. 139):

$$\begin{aligned} & \min_{z \geq 0} w * z \\ & \text{Sj: } f^*(z) \geq q \end{aligned} \quad (3)$$

Onde  $w$  é um vetor de preços dos insumos,  $z$  é um não negativo vetor de insumos,  $f(z)$  a função de produção,  $q$  a quantidade produzida. A solução do problema dado na equação (3) dá a função de custos definida como  $c(w,q)$  e sua demanda condicional do fator definida como  $z(w,q)$ . Considerando apenas dois insumos, a função  $z(w,q)$  representa a linha de custos definida no plano dos números reais em  $\mathcal{R}^2$  que é a reta que apresenta o mesmo custo para todas as combinações de insumos, cuja solução para “n” insumos é representada pelo conjunto  $\{z \in \mathcal{R}_+^L : f(z) \geq q\}$ , (sendo  $L$  o número de Lagrangeanos com  $\ell = 1, \dots, L-1$ ) fechado em relação à origem. Sendo convexa em relação à origem, então, a condição de primeira ordem é necessária e suficiente para que:

$$w_l = \lambda \frac{\partial f(z^*)}{\partial z_l} \Rightarrow z_l^* > 0 \quad (4)$$

Sendo  $\lambda$  representando o custo marginal da produção, ou seja, aquele custo a ser incorrido quando a produção variar em uma unidade. Contudo, no curto prazo, alguns insumos serão fixos ( $z_f$ ) cujo vetor de preços é dado por  $w_f$  e outras variáveis ( $z_v$ ) com preços definidos por  $w_v$ , de forma que o custo total ( $CT$ ) de produção será dado por uma parcela fixa ( $CF$ ) e outra variável ( $CV$ ) com o volume de produção, ou seja (PINDYCK; RUBINFELD, 2014):

$$CT = CF + CV \quad (5)$$

Ao se dividir os custos totais pela quantidade, obtém-se o custo médio ( $CMe$ ), então, ao dividir ambos os lados da equação (5), pode-se verificar que o  $CMe$  é igual à soma dos custos fixos médios ( $CFMe$ ) com o custo variável médio ( $CVMe$ ):

$$CT/q = CF/q + CV/q \quad (6)$$

Entretanto, a demanda por insumos ( $z$ ) é dependente da estrutura fixa, de forma que se pode estabelecer o vetor de preços como sendo  $w = (w_f + w_v)$  e  $z(w,q,z_f)$ , então, a geometria da curva de custo ( $CT$ ) pode ser definida como (VARIAN, 1992):

$$c(w,q,z_f) = w_v z_v(w,q,z_f) + w_f z_f \quad (7)$$

E o custo médio, fixo médio e variável médio como:

$$CMe = \frac{c(w,q,z_f)}{q} = \frac{w_f z_f}{q} + \frac{w_v z_v(w,q,z_f)}{q} \quad (8)$$

Usualmente, essas funções derivam de funções de produção com rendimentos crescentes para pequenos volumes de produção ou de utilização de insumos variáveis proporcionalmente aos fixos e decrescentes a partir de determinado volume de produção, o que resulta em funções

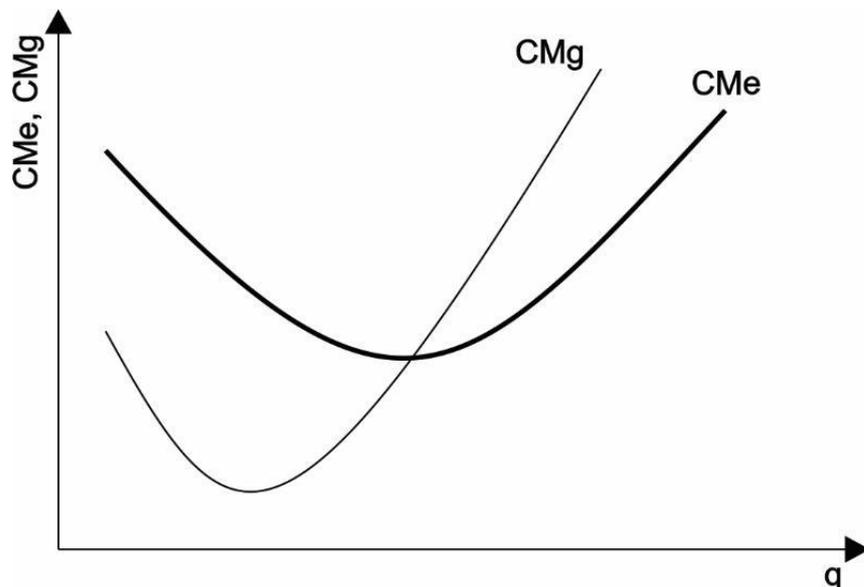
de custos de curto prazo que podem ser representadas por um polinômio de terceiro grau, ou seja:

$$Ct = \beta_0 + \beta_1q + \beta_2q^2 + \beta_3q^3 \quad (9)$$

Onde os  $\beta_i$  representam os parâmetros da função, tendo como representação dos custos fixos o  $\beta_0$  e, para representar adequadamente uma função de custos, deverão atender as seguintes restrições:  $\beta_0 > 0, \beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$  (BESANKO; BRAEUTIGAM, 2004).

Dado que o custo médio é a divisão do custo total pela quantidade produzida, então, essa é usualmente um polinômio de segundo grau, representando uma curva de custo médio em formato de “U” com a função de custo marginal (dada na equação 4) passando em seu ponto de mínimo, conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Geometria da curva de custos



Fonte: Adaptado de Frank (2013).

Destaca-se que uma firma de larga escala poderá não obter retornos decrescentes em função da magnitude do mercado e isso resultar em uma função de custo médio em formato de “L” ou apresentar somente o segmento decrescente da função desenhada no Gráfico 2. Por fim, uma empresa só teria lucros se sua receita total unitária fosse maior que os custos médios da função de custos. Considerando os preços de venda ( $P$ ) constantes para qualquer nível de produção ( $q$ ), o lucro seria maximizado quando o preço fosse igual ao Custo Marginal, ou seja,  $P = CMg$  e  $P > CMe$ .

## 2.4 Eficiência no Transporte Público - estudos empíricos

Há um interesse crescente em medir a eficiência e a produtividade no setor público, ao passo que a formulação de políticas públicas está cada vez mais voltada à sustentabilidade, nesse contexto, o transporte é considerado parte importante de um futuro sistema sustentável. A eficiência pode ser definida e analisada de várias maneiras, a base teórica para os dois métodos de análise comumente usados, Análise Envoltória de Dados (DEA) e Análise de Fronteira Estocástica (SFA), pode ser encontrada nas teorias econômicas da produção. (HOLMGREN, 2018).

Conforme referenciado por Fitzová, Matulová e Tomes (2017), a DEA é o método não paramétrico mais utilizado em pesquisas de eficiência na área de transportes públicos. No mais recente cenário da pesquisa acadêmica do setor de transportes, o DEA apresenta-se como tendo o mesmo reconhecimento de métodos econométricos tradicionais quando aplicado a trânsito, aeroportos, rodovias ou redes ferroviárias. (CAVAIGNAC; PETIOT, 2017).

No âmbito nacional, a partir de pesquisa realizada no sítio do Portal de Periódicos Capes/MEC, com as palavras-chave: “análise envoltória de dados” ou "DEA" e "transporte", no assunto, considerando somente artigos publicados em português, foram identificados treze artigos até o ano de 2020. Destes artigos, nove tratam do transporte aéreo, dois do transporte de cargas, um do transporte por ônibus e um aborda aspectos ambientais no transporte público de passageiros. Diante disso, verifica-se a existência de poucos estudos nacionais utilizando o método DEA na área de transportes de passageiros, não sendo identificado nenhum artigo com aplicação do DEA no transporte metroferroviário, o que reforça a contribuição deste estudo para a ampliação da pesquisa.

No âmbito internacional, a incidência de utilização do DEA, na área de transportes, pode ser verificada por meio de estudos como os de Markovits-Somogyi (2011), Jarboiu, Forget e Boujelbene (2012), Cavaignac e Petiot (2017) e Catalano *et al.* (2019).

Markovits-Somogyi (2011) analisou sessenta e nove estudos com aplicação do DEA na área de transportes, identificando o predomínio das aplicações em aeroportos, portos, empresas de transporte público e ferrovias, sendo que os dois primeiros representam mais de 50% dos estudos verificados. Para a autora, o estudo demonstra a aplicabilidade com sucesso do método DEA na área de transportes, com predomínio de variáveis de insumo vinculadas ao trabalho e ao capital, e variáveis de saída ligadas a aspectos operacionais e/ou fiscais.

Jarboiu, Forget e Boujelbene (2012) apresentou uma revisão de literatura sobre a eficiência do transporte rodoviário público por meio de vinte e quatro artigos publicados entre

2000 e 2011, tendo como referência a aplicação de DEA e de SFA, considerando como as duas abordagens mais conhecidas e adotadas na análise da eficiência do setor de transportes. O resultado da revisão revela a predominância de estudos com a utilização do DEA, como forma única de análise, e reporta a falta de estudos com abordagens mistas. Além disso, o estudo indica a necessidade de explicação acerca da ineficiência apurada nos operadores de transporte público, podendo ter origem em várias fontes, como práticas de trabalho, gerenciamento de operações e investimentos.

Cavaignac e Petiot (2017) realizaram estudo que contemplou quatrocentos e sessenta e um artigos com aplicação de DEA na área de transportes, identificados nas bases de dados Scopus, Google Scholar e Econlit, abrangendo o período de 1989 a 2016. Mais de um terço das publicações estavam indexadas na base de dados Econlit, o que, para os autores, mostra a relevância das questões econômicas do setor de transporte e a possibilidade de análise dessas questões por meio de aplicação do DEA. Mais de um terço dos estudos estão publicados na Europa, na sequência, figuram a Ásia e as Américas do Norte e do Sul, com 27,1% e 19% do total de artigos respectivamente. Embora o estudo de Cavaignac e Petiot (2017) revele que apenas 5% das publicações gerais com aplicação de DEA são da área de transporte, sublinha que há uma taxa de crescimento anual de 18,5%, havendo uma aceleração desse aumento a partir de 2008, com média de 37,5 publicações ao ano, representando uma ampliação genuína da aplicação do DEA na área de transportes. Quanto aos modos de transporte, o aéreo e o marítimo são tema em 65% dos estudos. O transporte ferroviário está presente em 8,4% dos estudos, sendo que 70% desses artigos focam na eficiência das companhias ferroviárias e utilizam principalmente dados europeus. O estudo oferece ainda, com base na amostra analisada, informações detalhadas dos dez artigos mais citados, por modo de transporte. A partir da análise dos 10 artigos mais citados do modo de transporte ferroviário com aplicação do DEA, verifica-se que predomina a utilização de modelos orientados a minimizar as entradas (*inputs*). Quanto às medidas empregadas para mensuração da eficiência, na Tabela 1, constam as variáveis mais presentes nos artigos.

Tabela 1 – Principais variáveis das aplicações de DEA

<b>Tipo</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Nº Incidência</b>
Entrada ( <i>Inputs</i> )	Número de empregados	10
	Número de Veículos	8
	Extensão da Via	6
	Consumo de Energia Elétrica/Combustível	3
Saída ( <i>Outputs</i> )	Passageiros x Quilômetros	7
	Carro x Quilômetros	5

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Cavaignac e Petiot (2017).

Dentre os principais estudos com aplicação de DEA no transporte ferroviário, citados por Cavaignac e Petiot (2017), destaca-se a pesquisa de Kutlar, Kabasakal e Sarikaya (2012), que diferentemente das demais, incluiu como insumo as variáveis econômicas custos e receitas operacionais. O referido estudo apurou por meio do método DEA a eficiência de trinta e uma empresas ferroviárias que operam mundialmente, identificando diferentes níveis de eficiência entre elas e apontando pouca variação ao longo do período analisado, além disso, averiguando que o número de passageiros transportados afeta negativamente a eficiência.

Direcionado ao transporte ferroviário, o trabalho de Catalano *et al.* (2019), por meio de pesquisas nas bases de dados do *Google Scholar* e da *Scopus*, realiza uma revisão sistemática que resultou na análise de cem artigos publicados até o ano de 2016, com foco na eficiência e eficácia dos serviços de transporte ferroviários de passageiros de viagens suburbanas e intermunicipais. Dentre os achados do estudo, encontra-se o predomínio da aplicação de modelos não paramétricos para análise de desempenho, sendo identificada em 38% dos estudos analisados, com o avanço da aplicação dos modelos a partir de 2010 e prevalência do modelo DEA. A Europa aparece como o continente para o qual a maioria dos estudos estão voltados. Os autores trazem as principais variáveis utilizadas na mensuração das eficiências e elas são segregadas por tipo de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*). As variáveis de entrada são classificadas em variáveis físicas, de preço e de custo, e divididas entre os principais tipos de insumos do transporte ferroviário: Capital, Trabalho e Material. Para o capital, a variável com maior incidência é o número de carros ou veículos, seguida da extensão da rede. Para o trabalho, segue a principal variável identificada nos estudos precedentes: número ou custo de empregados. Segundo Markovits-Somogyi (2011), a variável “trabalho” com número de empregados ou custo do trabalho é considerada onipresente nos estudos de transporte com aplicação de DEA. Para representação dos materiais, o consumo ou o custo da energia é a variável de maior incidência. Como variável do produto, passageiros x km, é a variável de maior recorrência, presente em 63% dos estudos, seguida da variável trem x km, com 17%.

Além das principais variáveis referidas, o estudo esboça um conjunto de variáveis adicionais não classificadas como de entrada e saída de um modelo de produção. Dentre elas, destaca-se a utilização de variáveis socioeconômicas, como densidade da população, com 13% de incidência, e Produto Interno Bruto per capita, com 12% de presença.

No rol dos estudos analisados por Catalano *et al.* (2019), que empregaram a metodologia DEA, sublinham-se os de Tsai, Mulley e Merkert (2015) e de Yu (2008) que utilizaram dados de ferrovias mundiais. Tsai, Mulley e Merkert (2015) avaliaram a eficiência de vinte ferrovias urbanas internacionais de sistemas na Ásia, Austrália, Europa e América do Norte, no período

de 2009 a 2011, concluindo que os resultados obtidos por meio de DEA, ao longo do período considerado, constata tendências de desempenho de eficiência e sugerem potenciais estratégias operacionais para melhorar as operações dos sistemas ferroviários urbanos. A maioria dos sistemas demonstrou desempenho consistente entre eficiência técnica e de custo, ao longo dos anos. Isso implica em que as mudanças de eficiência para os operadores ferroviários urbanos tendem a ser lentas.

Yu (2008), valendo-se de três medidas de desempenho, analisou a eficiência e a eficácia para um grupo de quarenta ferrovias globais, no ano de 2002, usando o modelo DEA tradicional e o modelo de redes. O estudo revela que o uso de diferentes modelos do DEA para avaliar o desempenho de um sistema ferroviário não distorce a classificação de seu desempenho. No entanto, a magnitude das pontuações de desempenho de eficiência técnica e eficácia do serviço entre os dois modelos varia consideravelmente, dependendo do ponto do modelo de avaliação escolhido. Para o autor, o resultado mais importante da análise entre os diferentes desempenhos apurados é o fato de que a eficiência técnica e a eficácia do serviço ou eficácia técnica não se mostram estatisticamente significativas, revelando que maior (menor) eficiência técnica não implica necessariamente em menor (maior) eficácia. Isso indica que aumentar o consumo tanto em serviços de passageiros quanto em carga é uma questão crucial.

## **2.5 Hipóteses de pesquisa**

Considerando as disposições deste capítulo, e após as discussões dos estudos empíricos que abordam os modelos de financiamento do transporte público e a eficiência desses sistemas, tem-se como hipóteses de pesquisa:

H1: As empresas metroferroviárias não se beneficiam dos ganhos de escala;

H2: O subsídio é um determinante da eficiência no transporte metroferroviário brasileiro.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia empregada nesta tese e, para isso, foi dividido em duas seções. Na primeira seção, são identificadas a amostra e a fonte de dados. Na segunda, são apresentados os modelos e as variáveis utilizadas na pesquisa.

#### 3.1 Amostra e fonte de dados

A análise de eficiência do transporte metroferroviário brasileiro teve como população os onze sistemas do transporte metroferroviário brasileiro, classificados como de médio e grande porte. Os sistemas de médio porte transportam entre 10 e 100 milhões de passageiros por ano, e os de grande porte são responsáveis pelo transporte de mais de 100 milhões ao ano. (ANTP, 2020). Esses sistemas operam trens e metrô urbanos e representam 98% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro.

Após a análise preliminar dos dados, foram excluídos os sistemas operados pelas empresas CCR, CBTU – Recife e Via Mobilidade. A CCR deu início a operação de suas atividades de forma assistida no ano de 2014 e teve sua operação efetivamente consolidada apenas em 2018, com isso, possui grande variação de custos e receitas. A CBTU – Recife opera de forma mista por meio de Trens e VLTs, por isso, os dados operacionais não possuem comparabilidade com os demais sistemas. A Via Mobilidade passou a operar um trecho do Metrô de São Paulo por concessão apenas em agosto de 2018.

Desse modo, este estudo contemplou oito empresas metroferroviárias, identificadas na Tabela 2, que representam 90% dos passageiros transportados no sistema brasileiro. A coleta de dados deu-se para os anos de 2014 a 2019.

Tabela 2 – Empresas metroferroviárias brasileiras

<b>SIGLA</b>	<b>EMPRESA</b>	<b>ESTADO</b>
Metrô SP	Companhia do Metropolitano de São Paulo.	São Paulo
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos.	São Paulo
VIAQUATRO	Concessionária da Linha 4 do Metrô de São Paulo S.A.	São Paulo
Metrô RIO	Concessão Metroviária do Rio de Janeiro S.A.	Rio de Janeiro
SUPERVIA	Supervia Concessionária de Transporte Ferroviário S.A.	Rio de Janeiro
CBTU BH	Companhia Brasileira de Trens Urbanos.	Minas Gerais
TRENSURB	Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A.	Rio Grande do Sul
Metrô DF	Companhia do Metropolitano do Distrito Federal.	Brasília

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à fonte de dados, esta pesquisa tem caráter documental, pois tem como referência dados secundários obtidos por meio de documentos disponibilizados pelas empresas metroferroviárias e órgãos vinculados ao transporte público.

As principais fontes de coleta de dados foram as demonstrações contábeis e os relatórios de gestão publicados nos sítios eletrônicos das empresas da amostra. Além desses, foram utilizados os relatórios do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos - Simob/ANTP, disponíveis no sítio eletrônico da Associação Nacional de Transportes Públicos (<http://www.antp.org.br/relatorios-a-partir-de-2014-nova-metodologia.html>).

Complementarmente, para informações não identificadas nas fontes acima referidas, ou quando havia inconsistência entre as fontes, foram solicitadas informações por meio dos canais de atendimento aos usuários, disponíveis nos sítios eletrônicos das empresas privadas, e por meio do Sistema de Informação ao Cidadão (e-SIC), disponível para as empresas e órgãos públicos.

Ademais, foram utilizados dados públicos de indicadores macroeconômicos relativos aos municípios onde as empresas metroferroviárias da amostra operam, extraídos do sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

### **3.2 Modelos e variáveis**

Nesta seção, são apresentados os modelos utilizados para atender o objetivo geral desta pesquisa, bem como as variáveis usadas em cada um deles. Quanto ao método empregado, esta pesquisa classifica-se como quantitativa, pois utiliza o *Software Frontier Analyst 4.0* para apurar a eficiência relativa das empresas metroferroviárias e o *Software Eviews 9.0* para realização das estimações.

#### **3.2.1 Análise envoltória de dados - DEA**

A aplicação de DEA foi realizada por meio do modelo de Análise de Janelas, considerando a existência de oito DMUs, seis variáveis técnicas e três variáveis econômicas. Tal aplicação tem como referência o estudo de Charnes *et al.* (1984). Para os autores, a aplicação de DEA por meio da Análise de Janelas é adequada quando se pretende introduzir mais graus de liberdade, além de facilitar a verificação e interpretação dos resultados.

Para tanto, foi estabelecido o conjunto de três anos como janela e, com isso, a primeira janela contempla os três primeiros anos da análise: 2014, 2015 e 2016. As demais janelas se movem em um período de um ano, eliminado o primeiro ano e adicionado um novo, assim, a segunda janela é formada pelos anos 2015, 2016, 2017; a terceira contempla os anos 2016, 2017 e 2018; e, por fim, a quarta contempla os anos de 2017, 2018 e 2019. Na Análise de Janelas, a mesma DMU, que está em período de tempo diferente, é considerada como outra unidade de decisão, ou seja, uma DMU é a empresa  $i$  no ano  $t$ . Dessa forma, foram avaliadas no estudo oito DMUs, em janelas de três anos, totalizando vinte e quatro DMUs por janela.

A mensuração das eficiências ocorreu em duas etapas: na primeira, foi apurada a eficiência utilizando somente variáveis técnicas e, na segunda, a eficiência das empresas foi verificada considerando variáveis econômicas. Por meio dos estudos precedentes, identifica-se que as variáveis de entrada (insumos) dos sistemas de transporte podem ser classificadas em três grupos principais de medidas de produção: Trabalho, Capital e Material. (CATALANO *et al.*, 2019; CAVAIGNAC; PETIOT, 2017). Assim, em consonância com as principais variáveis identificadas na literatura sobre eficiência de transportes, foram utilizadas como variáveis técnicas de insumo, neste estudo, os principais componentes qualitativos do custo dos serviços do transporte metroferroviário: o número de empregados, representando Trabalho, o consumo de energia elétrica, representando Material, e a extensão da via, o número de estações e o número de carros, representando Capital.

Em relação às variáveis de saída (produto), ao contrário de muitas indústrias onde a produção pode ser claramente identificável, a saída de uma empresa de transporte pode ser quantificada de várias maneiras, e a principal razão para isso é que a saída do sistema de transporte não pode ser armazenada para o futuro, ou seja, o serviço produzido deixa de existir independentemente de ser consumido ou não. (KARLAFTIS, 2004). Tal questão levou à identificação de medidas separadas para as saídas dos serviços de transporte.

De um lado, nota-se a chamada saída produzida, ou seja, a saída que direciona para o lado da oferta, e para ela são utilizadas medidas como veículos x quilômetro, assentos x quilômetro e veículos por hora. De outro lado, está a saída consumida, ou seja, aquela direcionada para a demanda do serviço, e para ela prepondera a utilização da variável passageiro x quilômetro. (KARLAFTIS, 2004; TSAI; MULLEY; MERKERT, 2015).

Com base em estudos como o de Fielding (1987), as saídas direcionadas à oferta se relacionam com a eficiência dos serviços, já as medidas direcionadas ao consumo, relacionam-se com a sua eficácia. Diante disso, a utilização conjunta dos tipos de saída possibilita a obtenção de um resultado conjunto de desempenho. (KARLAFTIS, 2004). Para Tsai, Mulley e

Merkert (2015), a identificação dos dois tipos de saída proporciona avaliar o desempenho pelo lado do operador e do consumidor. A relação entre o consumo de serviço e a saída de serviço pode ser definida como a eficiência do serviço. Além disso, cabe referir o disposto por Catalano *et al.* (2019), isto é, de que obrigações dos serviços públicos e outras restrições externas não permitem uma relação adequada entre oferta e demanda de transporte, dado que a produção do sistema é diferente do consumo. Por isso, deve-se ter cuidado em especificar as variáveis de saídas, sendo recomendada a utilização tanto de variáveis de oferta como de consumo, na aplicação dos modelos de mensuração de eficiência.

Diante de todo o exposto, em conformidade ao que orienta os estudos precedentes, como variáveis técnicas de saída (produto) foram utilizadas uma variável de oferta, representada pelo número de carros por trem x quilômetros rodados pelos trens, e uma variável de consumo, representada pelo número de passageiros transportados x quilômetros rodados pelos trens. No Quadro 1, podem ser vistas as variáveis técnicas usadas na pesquisa.

Quadro 1 – Variáveis técnicas da aplicação DEA

Tipo Variável	Variável	Descrição
Entrada (Insumos)	Car	Número total de carros operacionais.
	ExEs	Extensão da via em quilômetros/nº estações.
	Cee	Quantidade de Energia Elétrica consumida pelos trens em GWh.
	Emp	Número total de empregados.
Saída (Produto)	Paskm	Total de passageiros transportados (em milhões), vezes os quilômetros rodados (em milhões).
	Carkm	Número de carros por trem, vezes o total de quilômetros rodados (em milhões).

Fonte: Elaborado pela autora.

Na segunda etapa, foram realizadas duas estimações de eficiência com o objetivo de determinar a eficiência com a utilização de variáveis econômicas. Inicialmente, dada a relevância das medidas de produção para o serviço de transporte, foram mantidas as variáveis de saída definidas na eficiência técnica e como variável de entrada foram selecionadas as variáveis econômicas que representam monetariamente os serviços de transporte. Com isso, foram selecionadas como variável de insumo: o custo dos serviços, que é o custo diretamente ligado à operação de transportes e que se relaciona com as variáveis técnicas utilizadas no estudo; e as despesas gerais e administrativas, estando vinculadas aos serviços de apoio do transporte. Desta forma, foi determinada a eficiência combinada, englobando variáveis técnicas e econômicas.

Posteriormente, foi determinada a eficiência econômica, considerando como insumo o custo dos serviços e as despesas gerais e administrativas, e como produto, a receita tarifária. A

receita tarifária foi incluída como medida de produção, levando-se em conta o fato de o sistema de transporte urbano concorrer com outros serviços públicos para obter apoio financeiro. Assim, conforme dispõe Mallikarjun, Lewis e Sexton (2014), é fundamental que os sistemas de transportes ferroviários públicos se tornem mais viáveis economicamente e dependam menos do apoio financeiro público, ao mesmo tempo em que lidam com os custos crescentes de energia e mão de obra.

No Quadro 2, são explicitadas as variáveis econômicas.

Quadro 2 – Variáveis econômicas da aplicação DEA

<b>Tipo Variável</b>	<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
ENTRADA (Insumos)	Csp	Total dos custos dos serviços prestados, em milhões de Reais.
	Des	Total das despesas gerais e administrativas, em milhões de Reais.
SAÍDA (Produto)	Rec	Total de receita tarifária, em milhões de Reais.

Fonte: Elaborado pela autora.

As variáveis econômicas foram extraídas das demonstrações do resultado do exercício publicadas pelas empresas da amostra, considerando as rubricas contábeis padronizadas. Para fins de comparabilidade dos dados coletados, foram excluídos, quando existentes, o custo e a receita de construção correspondente, uma vez que possuem impacto nulo no resultado. Foi agrupada a rubrica custos dos serviços prestados, o custo de depreciação ou amortização, quando apresentados em rubrica específica na demonstração do resultado. Além disso, foram excluídas das despesas gerais e administrativas as rubricas inerentes às provisões para contingências cíveis e trabalhistas, uma vez que não se tratam de despesas correntes e prejudicam a comparabilidade dos dados. Por fim, os valores monetários correntes das variáveis econômicas foram inflacionados pelo Índice Geral de Preços - disponibilidade interna (IGP-DI) da fundação Getúlio Vargas, disponível em [www.portalbrasil.net](http://www.portalbrasil.net), compondo, dessa forma, a estimação em valores constantes em 31/12/2019.

Definidos o modelo e as variáveis, por meio da função de produção e com o uso do *software Frontier Analyst 4.0*, foram calculados os índices de eficiência das empresas metroferroviárias brasileiras de médio e grande porte. Os resultados permitem observar as empresas que estão trabalhando de forma eficiente e também aquelas que não estão nesse patamar. Ademais, indicam os ajustes necessários aos sistemas, considerando as unidades que não foram caracterizadas como eficientes.

### 3.2.2 Função de Custo Total

Considerando o exposto na seção 2.3.2, , busca-se analisar os efeitos de escala no modelo de financiamento do transporte metroferroviário, bem como avaliar se há economias de escala na operação das empresas metroferroviárias e se essas são eficientes na capacidade de absorverem esses ganhos. Para tanto, foi estimada uma função cúbica para a obtenção da função de custo total.

O modelo estimado fundamentou-se no que foi apresentado pela equação (9), porém, estimado para os custos médios, seguindo os modelos já estabelecidos nos estudos de Wilson (1981) e de Koshal e Koshal (1995). A estimação dos custos médios agrega duas contribuições em relação aos custos totais das empresas. A primeira refere-se à constante, pois como os dados apresentam valores muito distantes da origem haveria uma distorção muito ampla para considerar que ela representasse os custos fixos. A segunda diz respeito a que ao considerar os custos médios há uma redução na discrepância dos valores. Assim, o modelo estimado foi:

$$CMe_t = \beta_0 + \beta_1 q_t + \beta_2 q_t^2 + \varepsilon_t \quad (10)$$

Onde,  $\beta_i$  são os parâmetros a serem estimados,  $q_t$  a quantidade de passageiros transportados, em milhões, no ano “ $t$ ” e  $CMe_t$  o custo médio operacional anual em reais,  $\varepsilon_t$  o erro que representa o efeito médio, para cada nível de passageiros transportados, de todas as variáveis que impactam no custo e que não estão no modelo.

O custo médio foi apurado com base na divisão do custo total pela quantidade de passageiros transportados, onde o custo total é o somatório dos custos dos serviços prestados e das despesas gerais e administrativas.

Quanto aos sinais esperados dos betas estimados, no que se refere à consistência teórica dos resultados, vê-se que é  $\beta_0 > 0$ ,  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  e a robustez do modelo está associada apenas ao nível de significância dos betas, do coeficiente de determinação, dos sinais dos betas e do teste de estabilidade, especificada, conforme Maddala (2003), como:

$$F = \frac{(SQRR - SQRI)/(k + 1)}{SQRI(n1 + n2 - 2k - 2)} \quad (11)$$

Onde  $SQRR$  é a soma dos quadrados da regressão com todos os dados da amostra,  $SQRI$  é a soma dos quadrados da regressão irrestrita (composto pela soma dos quadrados dos diversos agrupamentos da amostra),  $k$  o número de regressores e  $n_i$  o tamanho do conjunto da amostra (no caso da equação 11 com a constituição de dois subconjuntos a partir da amostra total).

O modelo dado na equação (10) foi estimado por Mínimos Quadrados Ordinários, considerando que esse é o modelo teórico esperado e que não há colinearidade, dado que se

trata de um fenômeno de relações lineares e a variável ingressa em nível e ao quadro (GUJARATI, 2006). A autocorrelação é elemento natural e esperado para esse tipo de relação, sendo que com autocorrelação os estimadores por MQO ainda são lineares e não viesados, contudo, não são mais eficientes, pois não são os que possuem variância mínima. (PINDYCK ; RUBINFELD, 2004). Entretanto, essa propriedade não é requerida para a análise realizada porque não se está fazendo testes de hipóteses nem previsão de valores.

A Fronteira de Eficiência, ou seja, aquela de pontos de minimização de custos, foi estimada por Mínimos Quadrados Ordinários a partir da fronteira formada pelos erros de mínimo valor da estimação da equação (10).

A estimação contemplou o período de 2014 a 2019, sendo que, no que se refere ao custo total, os valores monetários correntes foram inflacionados pelo Índice Geral de Preços - disponibilidade interna (IGP-DI) da fundação Getúlio Vargas, disponível em [www.portalbrasil.net](http://www.portalbrasil.net), compondo, dessa forma, a estimação em valores constantes em 31/12/2019. Compôs-se a estimação dessa forma em valores constantes.

### 3.2.3 Regressão Tobit

Os resultados do método DEA permitem determinar a eficiência das empresas operadoras do transporte metroferroviário com base em suas entradas e saídas de produção, mas isso não fornece informações sobre os fatores que influenciam a eficiência. Por conta disso, a partir dos resultados da aplicação do modelo DEA, os índices de eficiência das empresas metroferroviárias brasileiras foram utilizados como variáveis dependentes em um modelo de regressão Tobit, buscando cumprir o objetivo específico de identificar a relação entre os índices de eficiência e os níveis de subsídio das empresas, além de testar a hipótese da pesquisa de que o subsídio é um determinante da eficiência no transporte metroferroviário brasileiro.

Conforme referido por Fitzoá, Matulová e Tomes (2018), a utilização da Regressão Tobit como segundo estágio dos estudos sobre eficiência, após a obtenção do escore por meio da aplicação do DEA, são recorrentes na literatura e muitos estudos têm evidência empírica e teórica sobre a confiabilidade da regressão Tobit nesse segundo estágio. Exemplos dessa aplicação podem ser verificados nos estudos de Tsai, Mulley e Merkert (2015), Nashand e Nash (2010), Merket e Hensher (2011), Kutlar, Kasabasakal e Sarikaya (2012), dentre outros.

O modelo de regressão Tobit para o segundo estágio da análise de eficiências calculadas por meio do DEA tem se mostrado o método mais apropriado, dado o fato de que a eficiência

das DMUs é encontrada em uma determinada faixa, e, com isso, a variável dependente tem valores limitados. (KUTLAR; KASABASAKAL; SARIKAYA, 2012).

O modelo de regressão Tobit inclui como principal variável explicativa o subsídio governamental, sendo incluídas também, no modelo, variáveis que refletem aspectos socioeconômicos e demográficos, para capturar efeitos potenciais sobre a eficiência das empresas. O Quadro 3 identifica as variáveis do modelo de regressão.

Quadro 3 – Variáveis do modelo de regressão TOBIT

Variável	Descrição	Fonte
ET	Índice de Eficiência Técnica.	Modelo DEA - Janela
EC	Índice de Eficiência Combinada	Modelo DEA - Janela
EE	Índice de Eficiência Econômica	Modelo DEA - Janela
SUB	Subsídio - Valor do recurso recebido do governo para custeio das atividades operacionais.	Demonstração do Resultado do Exercício - DRE
POP	Total de habitantes da principal cidade onde opera o transporte metroferroviário.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
PIB	Produto Interno Bruto per capita da principal cidade onde opera o transporte metroferroviário.	

Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo da regressão Tobit está representado a seguir e foi estimado com o auxílio do *software Eviews* versão 9.0, considerando as variáveis identificadas no Quadro 3.

$$ET = f(SUB, POP, PIB) \quad (12)$$

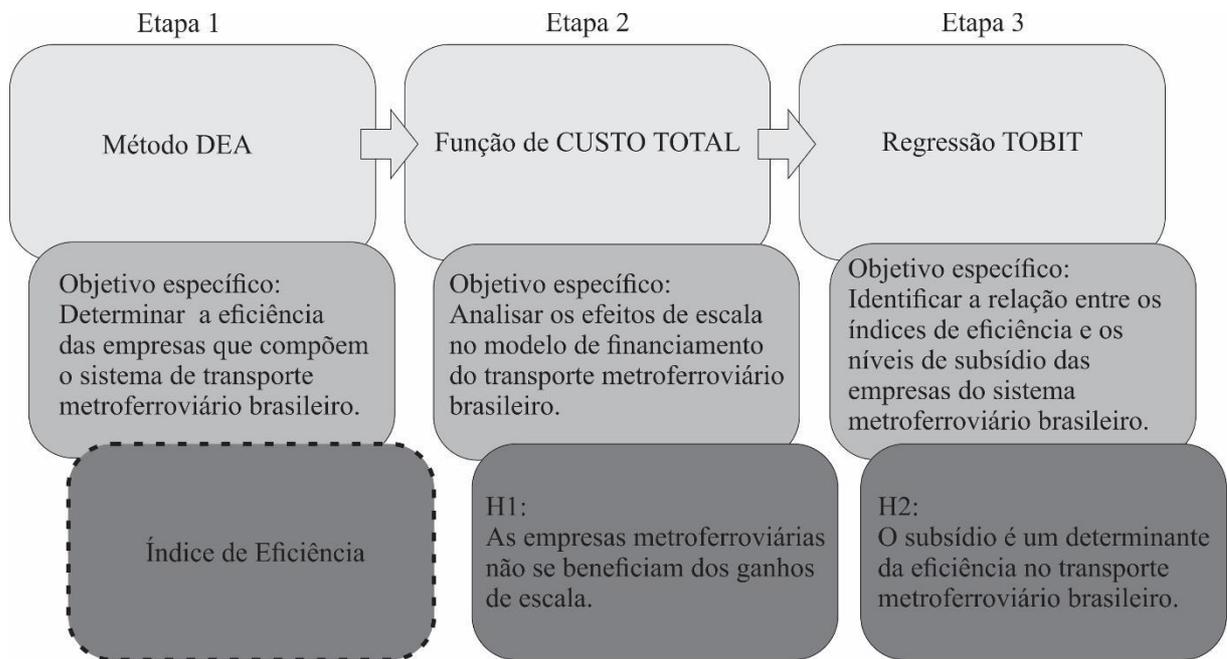
$$EC = f(SUB, POP, PIB) \quad (13)$$

$$EE = f(SUB, POP, PIB) \quad (14)$$

### 3.2.4 Síntese da Seção

Como síntese desta seção, apresenta-se a Figura 2, que identifica as etapas da pesquisa, definidas para atender o objetivo de avaliar a eficiência das empresas do sistema metroferroviário brasileiro como função do modelo de financiamento.

Figura 2 – Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

Na primeira etapa, foram determinados os índices de eficiência das empresas metroferroviárias brasileiras e, para isso, foi utilizado o método de Análise Envoltória de Dados (DEA). Na segunda etapa, estimou-se a Função de Custo Total para identificar em que região da Função de Custo Total o setor metroferroviário brasileiro opera, e se há ganhos de escala.

Por fim, na terceira etapa, com aplicação do modelo Tobit foram estimadas regressões, para identificar a relação estatística entre os índices de eficiência apurados e o subsídio público destinado ao custeio do transporte metroferroviário.

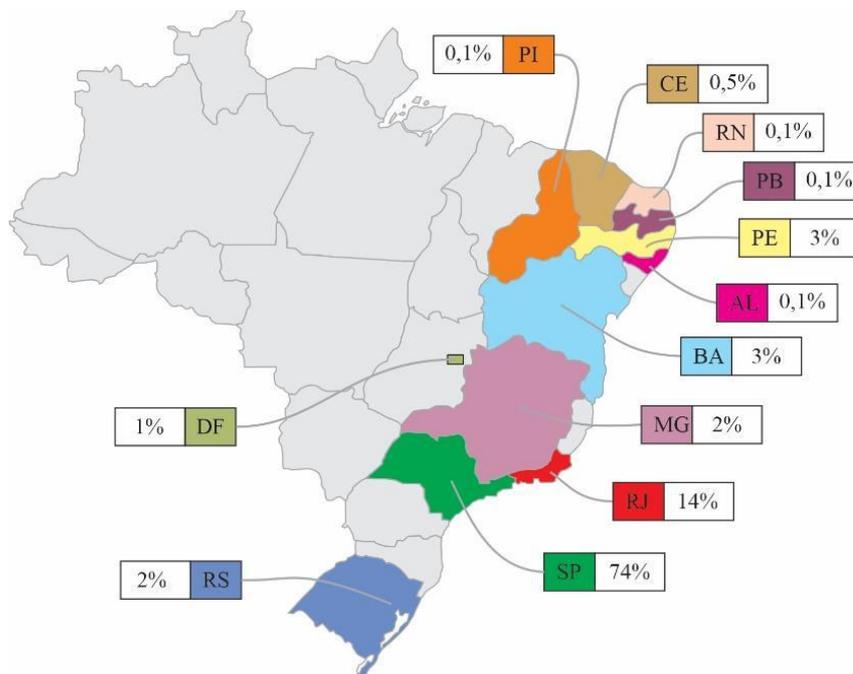
## 4 TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO NO BRASIL

Este capítulo apresenta o sistema metroferroviário brasileiro, analisado no período de 2014 a 2019. Para tanto, está dividido em três seções. A primeira seção analisa os aspectos gerais do transporte metroferroviário brasileiro; a segunda traz as características e a estrutura do sistema; e a terceira seção identifica o modelo de financiamento do custeio deste transporte.

### 4.1 Composição do sistema metroferroviário brasileiro

O sistema de transporte metroferroviário brasileiro é composto por quinze operadoras e vinte e um sistemas, operados em três principais modalidades: Metrô, Trens Urbanos e VLTs, classificados como de pequeno, médio e grande porte com base no número de passageiros transportados/ano (ANTP, 2020). Em 2019, o sistema de transporte metroferroviário brasileiro transportou 10,9 milhões de passageiros dia/útil, em uma extensão de 1.116,5 km, com 48 linhas, 624 estações, 5.269 carros de passageiros operacionais e 39,4 mil funcionários. (ANPTRILHOS, 2020). O uso desse transporte mostra-se prioritariamente para o trabalho, sendo esse o motivo alegado de 70% das viagens realizadas pelos passageiros. Na Figura 3, identifica-se a distribuição e a representatividade dos sistemas metroferroviários sobre trilhos no Brasil, considerando o número de passageiros transportados.

Figura 3 – Empresas metroferroviárias brasileiras



Fonte: Elaborado pela autora, com base em ANTP (2020).

Os sistemas de médio e grande porte operam por meio de metrô e trens urbanos e são responsáveis por 98% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro. (ANTP, 2020). Desses sistemas, seis são operados por empresas públicas e cinco por empresas privadas, no regime de concessão. Na Tabela 3, elenca-se esses sistemas.

Tabela 3 – Sistemas metroferroviários de médio e grande porte

<b>Operadora</b>	<b>Cidade</b>	<b>Operação</b>	<b>Porte</b>	<b>Extensão (Km)</b>	<b>Passageiros Transportados (milhões)</b>
Metrô SP	São Paulo	Pública – Estadual	Grande	64,7	1.092,0
CPTM	São Paulo	Pública – Estadual	Grande	270,4	863,3
Via Quatro	São Paulo	Concessão Privada	Grande	12,8	217,0
Via Mobilidade	São Paulo	Concessão Privada	Médio	20,1	38,9
Metrô Rio	Rio de Janeiro	Concessão Privada	Grande	58,0	242,4
Super Via	Rio de Janeiro	Concessão Privada	Grande	270,0	163,0
CBTU	Recife	Pública – Federal	Médio	71,4	102,1
CBTU	B. Horizonte	Pública – Federal	Médio	28,1	58,4
Trensurb	Porto Alegre	Pública – Federal	Médio	43,8	51,8
Metrô DF	Brasília	Pública – Estadual	Médio	42,4	42,8
CCR	Salvador	Concessão Privada	Médio	33,4	92,7

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme se verifica na Tabela 3, o município de São Paulo concentra a maior extensão de via e o maior número de passageiros transportados do sistema metroferroviário brasileiro, sendo responsável pelo transporte de 74% dos passageiros transportados sobre trilhos no Brasil.

O transporte metroferroviário do município de São Paulo é realizado por quatro empresas, sendo duas privadas, que operam por concessão em trechos do Metrô de São Paulo, e duas públicas, responsáveis por 88% do transporte sobre trilhos do município. Em relação a elas, sublinha-se que o Metrô de São Paulo possui 25% da extensão total de via da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM, e transporta 26% a mais de passageiros. Essa diferença ocorre em relação às características dos trechos de operação, pois a CPTM opera em trecho mais extenso, atendendo regiões metropolitanas, enquanto o Metrô de São Paulo atua de forma centralizada na cidade de São Paulo.

Além das diferenças relativas às características dos trechos de operação, destaca-se o fato de que a CPTM tem parte significativa de sua operação custeada por recursos do governo. Esses recursos são aportados para fazer frente às despesas de custeio da operação não cobertas por receita própria. Já o Metrô de São Paulo recebe recursos do governo na forma de ressarcimento, sendo oriundos de gratuidades e subsídios concedidos a grupos de passageiros, como idosos e estudantes.

O município do Rio de Janeiro possui o segundo maior sistema de transporte metroferroviário do Brasil e situação semelhante a de São Paulo quanto ao aspecto operacional. A empresa Supervia opera com uma extensão 4,6 vezes maior que a do Metrô Rio, e desloca aproximadamente metade dos passageiros transportados por este, atuando na região metropolitana. No entanto, diferencia-se de São Paulo quanto ao modelo, pois é operado exclusivamente por empresas privadas.

Em relação às empresas privadas que operam nos municípios do Rio de Janeiro e de São Paulo, cabe distinguir o tipo de contrato de concessão. Enquanto no Rio de Janeiro os contratos, assinados na década de 1990, determinam que a operação deve ser custeada pela tarifa cobrada dos usuários, sem previsão de subsídio do governo, em São Paulo, as concessões são na modalidade de Parceria Público Privada, após 2004, a partir de quando são previstos subsídios do governo, além da tarifa cobrada do usuário, com mecanismos de mitigação de demanda, ou seja, regramento que garante o compartilhamento do prejuízo com o poder concedente. (DAMASCENO, 2021).

Em terceiro lugar, entre os sistemas metroferroviários, considerando a extensão e o número de passageiros transportados, estão os sistemas operados pela Companhia de Trens Urbanos – CBTU. Trata-se de uma empresa pública vinculada ao Governo Federal que tem parte significativa de seus custos cobertos por recursos públicos. Opera cinco sistemas, sendo três classificados como de pequeno porte e dois como de médio porte. Destes, apenas o sistema de Belo Horizonte tem características operacionais semelhantes aos demais sistemas brasileiros do mesmo porte, pois o sistema de Recife tem operação mista de Trem e VLT.

Assim como a CBTU, a Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre – TRENSURB também é uma empresa pública, dependente de recursos do Governo Federal para manutenção de seus custos operacionais. Opera na cidade de Porto Alegre, com extensão para mais cinco cidades da região metropolitana.

Na sequência, em termos de extensão e de passageiros transportados, figura o Metrô do Distrito Federal, empresa pública vinculada ao governo do Distrito Federal, que entre as demais empresas públicas do sistema, apresenta o maior custo operacional por passageiro.

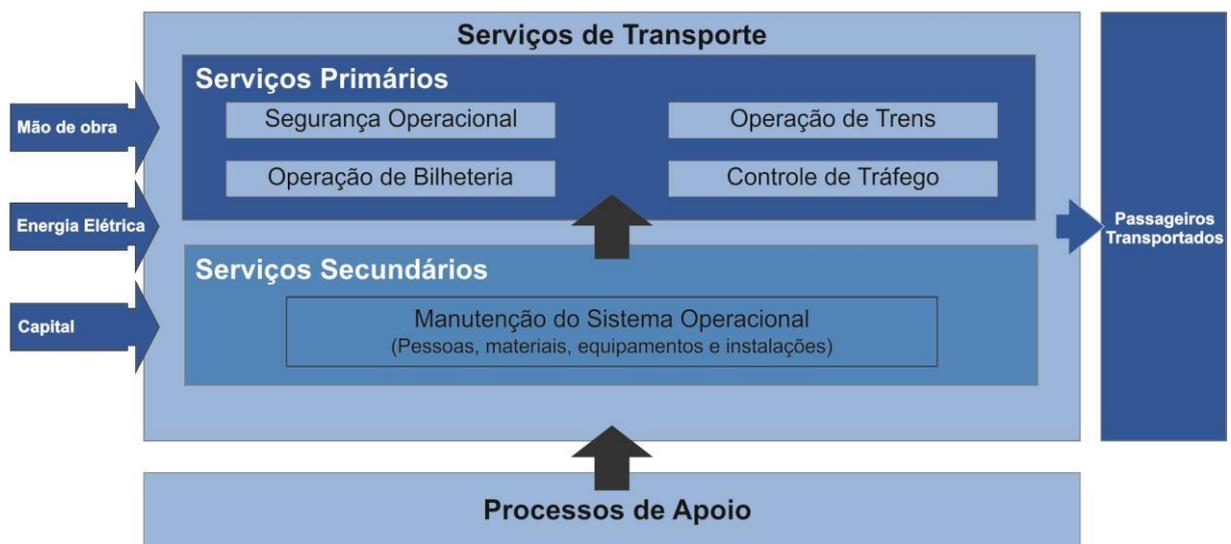
Por fim, identifica-se a Companhia de Concessões Rodoviárias, empresa privada, que opera na forma de Parceria Público Privada nos municípios de Salvador e Lauro de Freitas, no estado da Bahia, que teve em 2018 a consolidação efetiva de sua operação, que iniciou em 2016 de forma parcial.

## 4.2 Estrutura do sistema metroferroviário

A estrutura do transporte metroferroviário de passageiros distingue-se consideravelmente do transporte por ônibus. Enquanto o transporte por ônibus utiliza estrutura das vias públicas para operação, o transporte metroferroviário vale-se de patrimônio próprio, com instalações absolutamente segregadas e exclusivas, de valor elevado e que representa um custo fixo para as operadoras. A estrutura principal do sistema de transporte metroferroviário é composta por estações, vias e trens. As estações são os pontos de entrada e saída de passageiros, e as vias e os trens fazem a conexão entre as estações. Dessa forma, efetiva-se o serviço de transporte de passageiros sobre trilhos.

O sistema de transporte metroferroviário é composto por serviços de transporte e processos de apoio, estando os serviços de transporte divididos em primário e secundário. A Figura 4 representa o macroprocesso do sistema de transporte metroferroviário.

Figura 4 – Macroprocesso do sistema de transporte metroferroviário



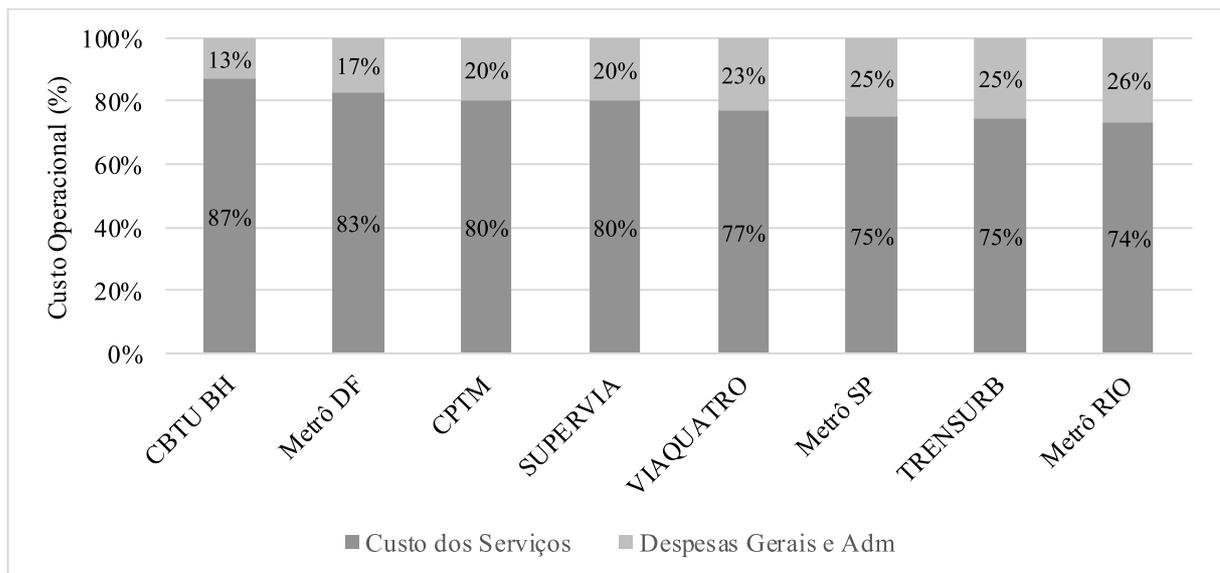
Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme se verifica na Figura 4, o serviço primário é composto por operações em bilheteria, segurança operacional, operação dos trens e controle de tráfego, constituindo o sistema operacional, que se relaciona diretamente com o usuário do transporte. O serviço secundário envolve recursos humanos, materiais, equipamentos e instalações para manutenção do sistema operacional. Já os processos de apoio representam gastos com a administração geral e englobam planejamento, administração financeira, suprimentos, recursos humanos, tecnologia da informação, dentre outros. (PEZERICO, 2002).

Com isso, o custo operacional das empresas de transporte metroferroviário é formado pelos serviços de transporte e pelos processos de apoio, que quantitativamente estão representados nas demonstrações contábeis, nas rubricas, custo dos serviços prestados e despesas gerais e administrativas. Dessa forma, nesta tese, o custo total do sistema de transporte metroferroviário é referenciado como custo operacional.

Os dados apresentados nesta seção contemplam os oito sistemas de médio e grande porte analisados neste estudo e que representam 90% dos passageiros transportados do sistema metroferroviário brasileiro. No Gráfico 3, verifica-se a representatividade dos custos dos serviços prestados (serviços de transporte) e das despesas gerais e administrativas (processos de apoio) em relação ao custo operacional das empresas metroferroviárias brasileiras de médio e grande porte.

Gráfico 3 – Representatividade média dos custos dos serviços prestados e das despesas gerais e administrativas incorridos de 2014 - 2019.

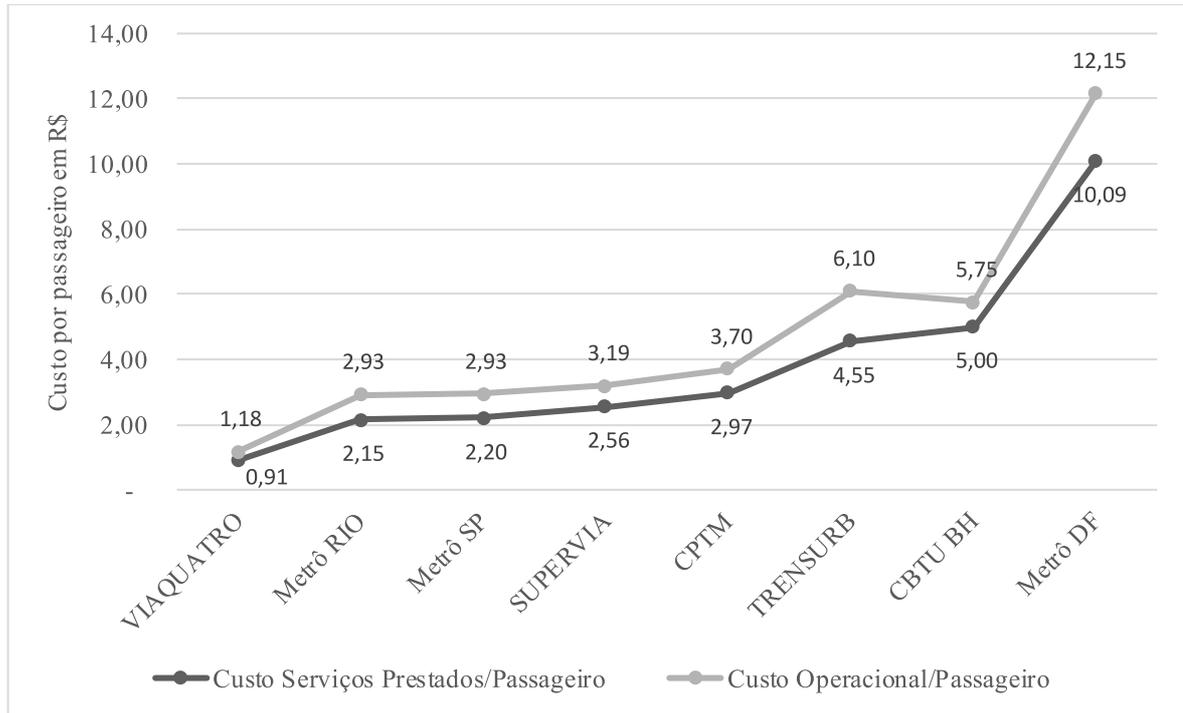


Fonte: Elaborado pela autora.

Em uma leitura simplificada, a maior representatividade do custo dos serviços das empresas SUPERVIA e CPTM pode estar relacionada ao fato de que elas possuem as maiores extensões de via do sistema metroferroviário. O Metrô do DF possui o maior custo por passageiro dentre as empresas. A CBTU BH apresenta estrutura administrativa dos sistemas que opera de forma centralizada, podendo impactar na redução das despesas administrativas.

No Gráfico 4, é percebida uma significativa diferença na média do custo por passageiros das empresas metroferroviárias.

Gráfico 4 – Média do custo por passageiro transportado de 2014 - 2019



Fonte: Elaborado pela autora.

A diferença entre o custo por passageiro nas empresas sugere espaço para uma análise de custos de cada uma das empresas, para que se possa compreender as razões de tamanha diferença. Os custos dos serviços prestados referem-se a todo o custo diretamente ligado à atividade de uma empresa e para o transporte metroferroviário comporta os custos do sistema operacional, composto por custos com pessoal (mão de obra, benefícios e encargos), energia elétrica, serviços de terceiros e materiais de consumo. Destes custos, os com pessoal, energia elétrica e serviços de terceiros são considerados os principais insumos do sistema operacional metroferroviário. A energia elétrica é o insumo propulsor para movimentação dos trens; os serviços de terceiros, por sua vez, reportam-se à prestação de serviços que envolvem a manutenção e a segurança do patrimônio, quais sejam: serviços de manutenção de via, rede aérea, sistema de sinalização, limpeza e conservação de trens e estações e segurança.

Identifica-se ainda na composição dos custos, os de depreciação e/ou amortização, que representam a diminuição do valor dos bens de capital utilizados para a execução das atividades da empresa. Essa redução de forma geral ocorre em decorrência do uso, da ação da natureza, da obsolescência ou do tempo. Nas empresas metroferroviárias públicas, verifica-se o registro da depreciação dos bens próprios, tendo como referência principal as taxas de utilização, consideradas as vidas úteis estimadas. Já nas empresas privadas que operam na forma de

concessão, observa-se o registro de amortização, que possui como referência o prazo da concessão para a prestação dos serviços.

Aproximando a lente para a formação dos custos, na Tabela 4, figuram os principais custos dos serviços prestados do sistema metroferroviário, considerando a média dos valores para o período de 2014 a 2019.

Tabela 4 – Representatividade média do custo dos principais insumos de 2014 - 2019

Operadora	Média do Custo dos Serviços Prestados de 2014/2019 (em milhões)	Custo Serviços Prestados/ Custo Operacional	Representatividade dos insumos no Custo dos Serviços Prestados				
			Pessoal	Serviços de Terceiros	Energia Elétrica	Depreciação/ Amortização	Outros Custos
CPTM	2.473	80%	38%	36%	9%	12%	5%
Metrô SP	2.421	75%	60%	5%	6%	17%	12%
CBTU BH	297	87%	59%	22%	8%	9%	2%
Metrô RIO	518	74%	39%	14%	18%	15%	13%
SUPERVIA	431	80%	40%	19%	17%	13%	11%
Metrô DF	403	83%	37%	33%	11%	18%	2%
TRENSURB	248	75%	43%	20%	14%	17%	6%
VIAQUATRO	187	77%	42%	9%	14%	26%	10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Os níveis de custo dos serviços prestados em relação ao custo operacional variam de 74% (Metrô Rio) a 87% (CBTU BH) e se desconsiderados os custos de depreciação e/ou amortização, os montantes variam de 69,1% a 85,6%, respectivamente. Os custos de pessoal, serviços de terceiros e energia elétrica, na média, representam 76% do custo dos serviços prestados, e se desconsiderados os custos de depreciação e amortização, representam 88%.

O custo com pessoal é o mais representativo nos sistemas, seguido dos custos com serviços de terceiros. Esses dois se relacionam na medida em que o nível de terceirização dos serviços substitui a utilização de mão de obra própria. Nesse contexto, destaca-se o Metrô SP, em que o predomínio de utilização de mão de obra própria nos serviços de manutenção reflete o menor custo com serviços de terceiros. Cabe referir ainda que o custo dos serviços de terceiros também é afetado pelo tipo de contratação, podendo esta incluir ou não o fornecimento de materiais de consumo para a manutenção. A inclusão do fornecimento de materiais nos contratos de manutenção eleva o custo da contratação dos serviços e, em contrapartida, tende a reduzir os outros custos, como se verifica, por exemplo, no Metrô DF. A energia elétrica, principal insumo para a operação do sistema de transporte metroferroviário, varia sua representatividade de 6% a 18%, e é impactada diretamente pela forma de aquisição desta energia pelas empresas do transporte metroferroviário. Além da forma de aquisição, outros

fatores como as diferentes tarifas de energia elétrica por região e a tecnologia dos trens em operação afetam o custo das operadoras do transporte.

Quanto ao custo dos serviços prestados, é importante destacar a situação particular das empresas públicas dependentes de recursos governamentais, em que a dependência de recursos pode afetar, por exemplo, o nível de contratação de serviços, havendo com isso um menor custo dada a indisponibilidade de orçamento para contratação, não sendo, portanto, o menor custo reflexo de eficiência.

Na Tabela 5, estão identificados em termos qualitativos os principais insumos que se relacionam com os custos dos serviços prestados, considerando a média do período de 2014 a 2019.

Tabela 5 – Média dos principais insumos do transporte metroferroviário de 2014 - 2019

Empresa	Extensão da Via (Km)	Nº Estações	Nº Carros	Carros por trem	Km percorridos trens/ano (milhões)	Consumo E.Elétrica/ano (GWh)	Nº Empregados
Metrô SP	68,1	68,1	1.017	6	18,5	355,0	9.073
CPTM	264	92,2	1.422	7	26,7	499,0	8.283
Metrô RIO	50,0	39,3	356	6	6,6	262,3	2.494
VIAQUATRO	9,7	9,7	127	6	2,3	43,3	1.028
SUPERVIA	270	102,7	814	7	9,6	239,0	2.603
CBTU BH	28,1	19	128	4	2,6	40,6	1.247
TRENSURB	43,8	23	110	4	3,7	51,1	1.088
Metrô DF	42,4	24	123	4	3,7	64,0	1.028

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se na Tabela 5, que as empresas CPTM e SUPERVIA, que dispõem das maiores extensões de via dos sistemas, possuem o maior número de estações. No entanto, quanto ao número de carros, a CPTM possui, na média, 78% a mais do que a SUPERVIA, o que pode ser justificado pelo maior número de passageiros transportados. Quanto aos quilômetros rodados pelos trens, as empresas Metrô SP e CPTM, que transportam 65% dos passageiros do sistema, possuem as maiores quilometragens rodadas e os maiores consumos de energia elétrica, embora tenham a menor representatividade do custo da energia elétrica frente aos custos totais. Além disso, cabe destacar que possuem a maior quantidade de empregados.

### 4.3 Financiamento do custeio do sistema metroferroviário

Os recursos para custeio da operação do transporte metroferroviário advêm de duas fontes principais: recurso próprio e recurso governamental. A receita tarifária é a principal fonte de recursos próprios e tem origem na tarifa cobrada dos usuários pagantes do transporte, no

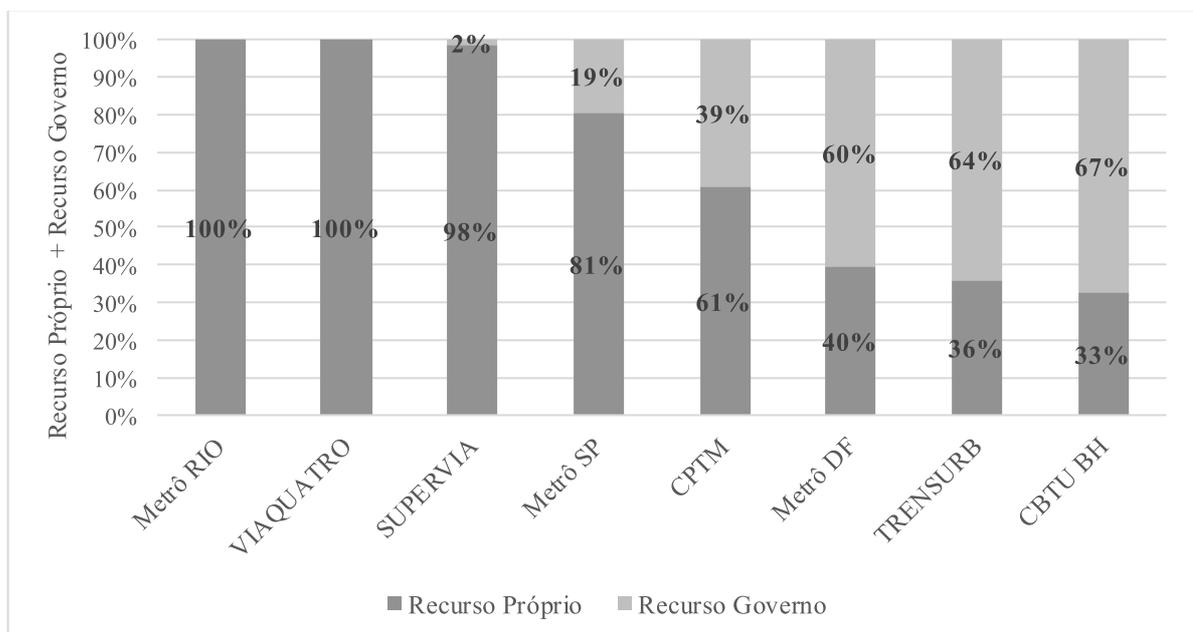
transporte metroferroviário brasileiro, na média, representa 95% da receita própria das operadoras. As receitas não tarifárias correspondem a uma pequena parcela dos recursos próprios e têm como principal origem a exploração de espaços comerciais e publicitários. Os recursos governamentais são repassados às empresas na forma de subvenção ou ressarcimento, este último vinculado a benefícios concedidos por políticas públicas, como subsídio para idosos e estudantes.

As empresas públicas, CBTU, TRENSURB, CPTM e Metrô DF, recebem recursos do governo para o custeio de suas atividades operacionais, na forma de subvenção. Já o Metrô SP recebe recursos do governo na forma de ressarcimento. Os sistemas do Metrô RIO, VIAQUATRO e SUPERVIA operam em regime de concessão privada e não recebem recurso governamental para custeio. Cabe referir que é identificada, na SUPERVIA, uma pequena parcela de receita por ressarcimento (2%).

Para fins de padronização do termo, nesta tese, os recursos aportados pelo governo nas empresas metroferroviárias são designados como subsídio, independentemente de sua natureza.

No Gráfico 5, identifica-se a representatividade dos principais recursos que financiam o custo operacional das empresas metroferroviárias brasileiras.

Gráfico 5 – Representatividade média dos recursos de 2014 - 2019

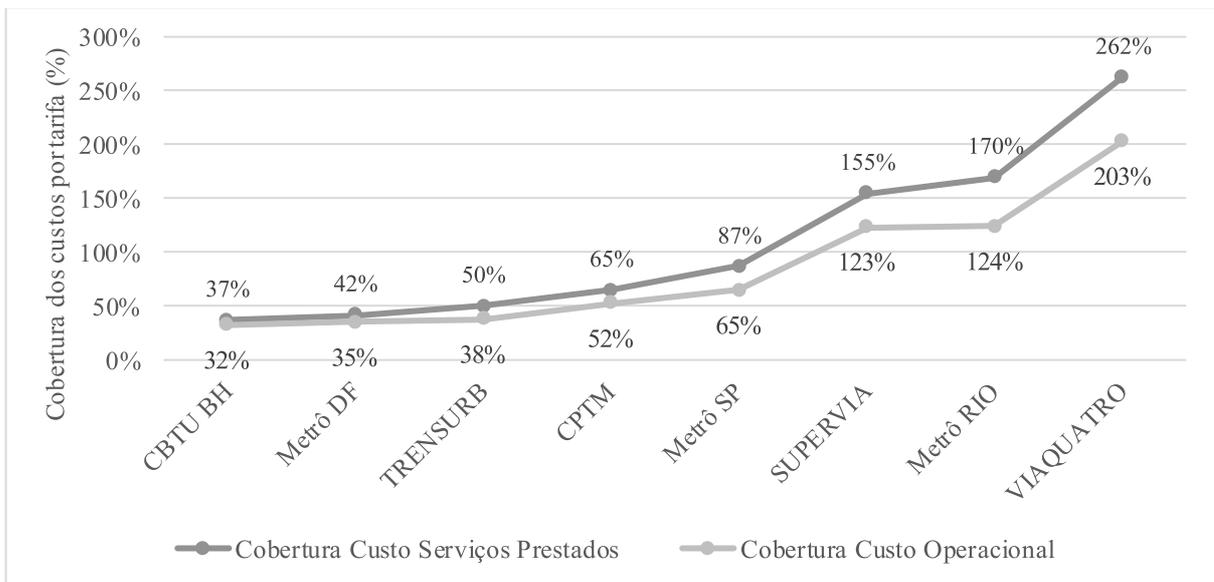


Fonte: Elaborado pela autora.

A determinação da tarifa do sistema de transporte é reflexo da política pública adotada e tal política define o nível de financiamento dos custos pelo usuário do transporte e o nível de financiamento por recursos do governo, ou seja, determina o modelo de financiamento para

custeio do transporte. No Gráfico 6, mostra-se o nível de cobertura do custo dos serviços e do custo operacional por receita tarifária, que varia de 32% a 203% para o custo operacional e de 37% a 262% para o custo dos serviços prestados. Os maiores níveis de cobertura dos custos por receita tarifária são obtidos nas empresas que operam por meio de concessão privada, seguidas das duas empresas públicas que concentram o maior nível de passageiros transportados, CPTM e Metrô SP.

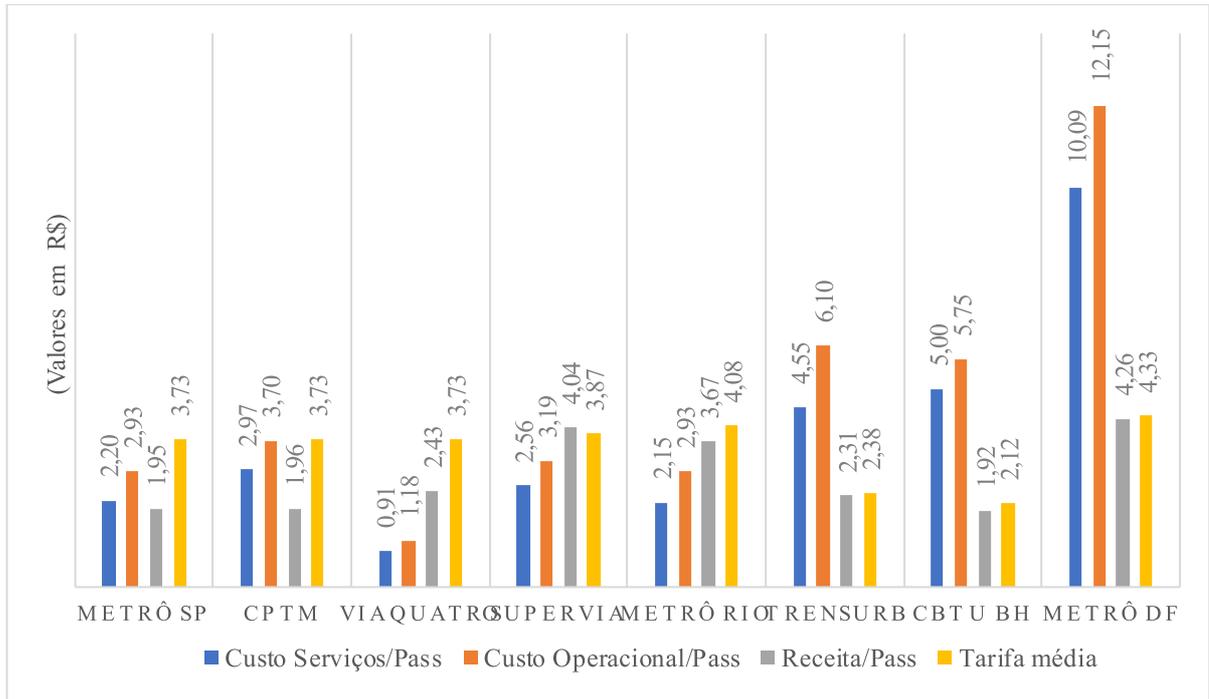
Gráfico 6 – Nível de cobertura dos custos por receita tarifária



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 7, estão apresentadas as médias das tarifas praticadas pelas empresas metroferroviárias em comparação com a média dos custos e receitas por passageiro de 2014 a 2019. Pode-se verificar que há diferenças relevantes entre a receita por passageiros e a tarifa unitária praticada. Um dos fatores que contribui para essas diferenças são as políticas de integração entre os modais de transporte, que geram redução da tarifa unitária integral, dado o benefício de integração ao usuário pagante, além de passageiros beneficiados por políticas públicas de gratuidades e subsídios.

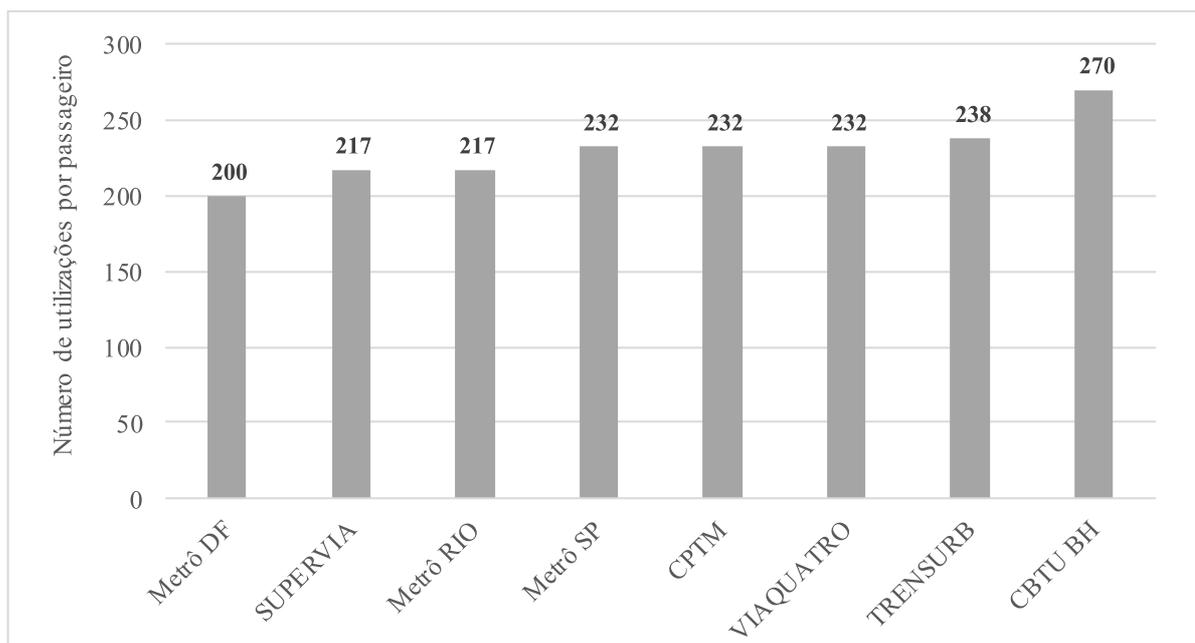
Gráfico 7 – Custos, receitas e tarifas médias de 2014 - 2019



Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando que prepondera a utilização do transporte metroferroviário para deslocamentos vinculados ao trabalho, no Gráfico 8, é possível identificar a capacidade de aquisição do transporte em relação ao salário-mínimo nacional, considerando as tarifas de transporte e o salário mínimo vigentes no ano de 2019.

Gráfico 8 – Número de utilizações com base no salário-mínimo nacional



Fonte: Elaborado pela autora.

A definição das tarifas do transporte metroferroviário é de competência dos governos estaduais, exceto para as empresas vinculadas ao Governo Federal, cabendo a este tal determinação. Pelos dados apresentados no gráfico anterior, verifica-se que as empresas públicas vinculadas ao Governo Federal possuem o menor nível de tarifa em relação ao salário-mínimo nacional, apresentando a maior capacidade de utilização do transporte. Essas empresas possuem um histórico de congelamento de tarifas. A TRENSURB, em 2018, aumentou sua tarifa em 94% após dez anos de congelamento, e a CBTU obteve a autorização para o aumento requerido somente em meados de 2019, ampliando sua tarifa em 106%. Nas demais operadoras, foram verificados reajustes periódicos ao longo do período de análise (2014/2019).

Na Tabela 6, assinala-se a variação acumulada das tarifas e dos custos dos serviços prestados no período de 2014 a 2019, bem como a variação do índice geral de preços - IGP-DI do período e o nível de cobertura dos custos dos serviços por receita tarifária no ano de 2019.

Tabela 6 – Cobertura e variação dos custos e das tarifas

<b>Operadora</b>	<b>Cobertura Custo Operacional por Tarifa – 2019</b>	<b>Cobertura Custo dos Serviços por Tarifa – 2019</b>	<b>Variação Custos Operacionais 2014/2019</b>	<b>Variação Tarifária Unitária 2014/2019</b>	<b>IGP-DI Acumulado 2014/2019</b>
CBTU BH	34%	39%	46%	106%	
Metrô DF	43%	52%	4,3%	67%	
TRENSURB	52%	69%	34%	147%	
CPTM	62%	75%	10%	43%	
Metrô SP	59%	82%	50%	43%	31,11%
Metrô RIO	108%	150%	34%	31%	
SUPERVIA	109%	153%	58%	44%	
VIAQUATRO	213%	255%	43%	43%	

Fonte: Elaborado pela autora.

As variações ocorridas nos custos operacionais são predominantemente reflexo das variações nos custos dos serviços prestados. No Metrô DF, em que se verifica a menor variação de custos, é identificado, ao longo dos períodos, um aumento na representatividade do custo com pessoal e energia elétrica e uma redução no custo dos serviços de terceiros.

Apontadas as principais características do sistema de transporte metroferroviário brasileiro, verifica-se o seu desenvolvimento nos principais centros urbanos do país, onde há alto nível de demanda de passageiros. No município de São Paulo, predomina a operação por empresas públicas estatais, mas se identificam avanços da modalidade por concessão privada, já operacional em dois trechos do Metrô de São Paulo. No município do Rio de Janeiro, a operação ocorre de forma integral por concessão privada. Nos demais estados, operados por

empresas públicas, nota-se maior dependência de recursos governamentais e menor demanda de passageiros.

## 5 EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO – ESTUDO EMPÍRICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a eficiência das empresas metroferroviárias brasileiras selecionadas no estudo, para isso, está dividido em quatro seções. A primeira seção traz a eficiência técnica estimada por meio do DEA; a segunda identifica a eficiência econômica; a terceira analisa os ganhos de escala por meio da função de custos; e, por fim, a quarta seção apresenta a segunda fase da análise de eficiência com aplicação do modelo de regressão Tobit.

### 5.1 Eficiência Técnica

A eficiência técnica das empresas metroferroviárias foi mensurada por meio do modelo DEA, considerando variáveis técnicas que representam os principais insumos e produtos do transporte metroferroviário.

#### 5.1.1 Análise dos dados

Na Tabela 7, apresenta-se a estatística descritiva das variáveis utilizadas para mensuração da eficiência técnica por meio do modelo DEA.

Tabela 7 – Estatísticas descritivas das variáveis técnicas

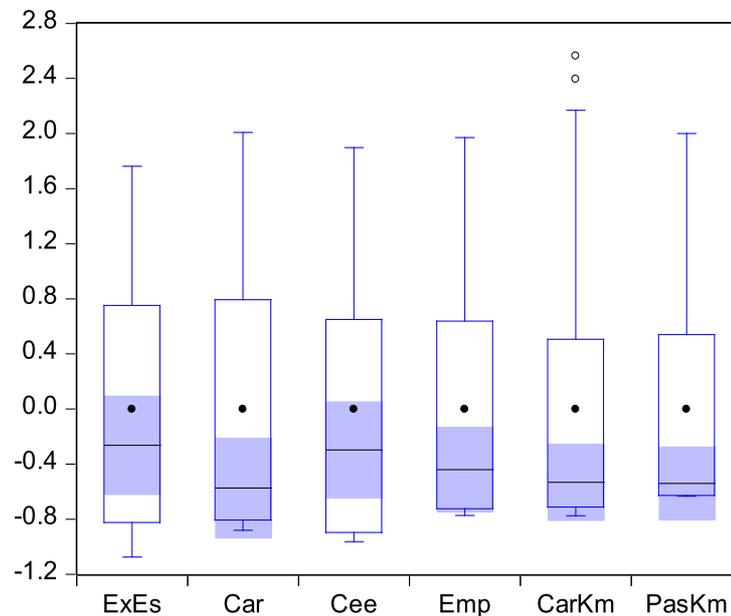
REFERÊNCIAS	VARIÁVEIS					
	ExEs	Car	Cee	Emp	CarKm	PasKm
Média	1,782	510,479	194,463	3.369,729	59,32	5890,659
Mediana	1,622	235,000	146,660	1.994,000	25,850	1012,655
Máximo	2,876	1484,00	506,100	9.612,000	222,400	24122,06
Mínimo	1,115	84,000	36,400	924,000	10,200	127,445
Desvio Padrão	0,620	484,785	164,121	3.166,491	63,564	9111,716
CV	34,79	94,96	84,40	93,97	107,15	154,68
Jarque-Bera	5,591	6,535	4,907	9,923	14,109	11,480
p-valor	0,061	0,038	0,085	0,007	0,000	0,003

Fonte: Elaborado pela autora.

Dois aspectos podem ser ressaltados nas estatísticas descritivas apresentadas na Tabela 7. O primeiro é que apenas ExEs e Cee possuem indicação de normalidade da distribuição, dado o p-valor das estatísticas Jarque-Bera - considerando um nível de 5% de significância. O segundo é que a dispersão dos dados é significativamente mais ampla nas variáveis Car, CarKm, PasKm e Emp – considerando o coeficiente de variação (CV). Essa distribuição pode ser

melhor compreendida via gráfico de *boxplot*, conforme o Gráfico 9, apresentado com os dados normalizados.

Gráfico 9 – Distribuição das variáveis para a avaliação da eficiência técnica



Fonte: Elaborado pela autora.

Em geral, verifica-se pelo Gráfico 9 que as variáveis possuem distribuição assimétrica positiva, dado que os valores das médias são superiores aos das medianas. Essa assimetria é esperada, em função de que as empresas de grande porte possuem níveis de insumos e produtos bem superiores às demais empresas, sendo que as variáveis que mais se destacam nessa assimetria são as relacionadas a carros por trem – Car (número total de carros operacionais), CarKm (total de quilômetros rodados x número de carros por trem) e Pas.Km (número de passageiros transportados x o total de quilômetros rodados). Essa percepção é importante para a análise do DEA porque se houver ganhos de escala as empresas que estão no quartil superior deverão apresentar esses ganhos ou serão ineficientes.

Em relação à variável de insumo, carros (Car), a extensão da cauda à direita, que atinge uma assimetria positiva de 1,975 a partir da sua média, é direcionada pelo número de carros da empresa CPTM, que na média do período em análise possui 1.422 carros operacionais, enquanto a SUPERVIA, que possui extensão equivalente a esta, possui 814 carros. Quanto a esse aspecto, cabe referir que a CPTM possui um número de passageiros transportados significativamente maior que a SUPERVIA. O Metrô SP, que dispõe do segundo maior número de carros do sistema, possui na média do período 1.017 carros.

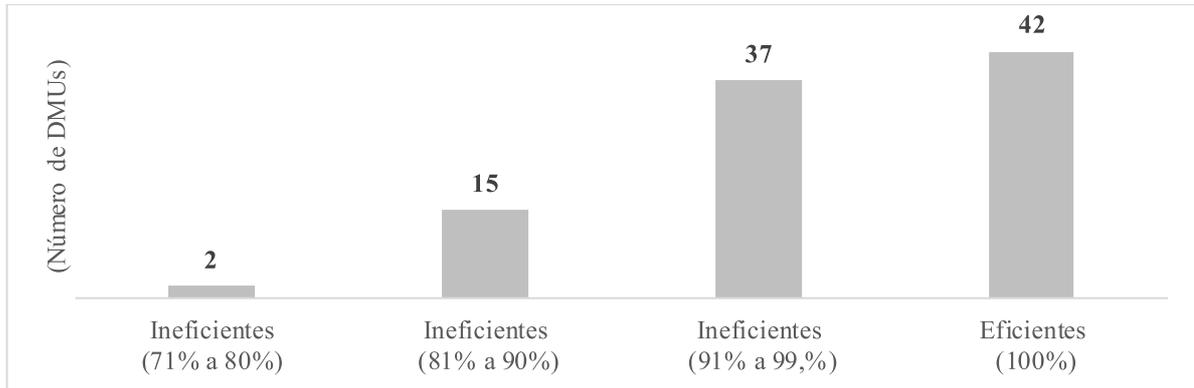
Quando se analisa a variável carros x km (CarKm), identifica-se a existência de dois *outliers*. Eles referem-se a dados da empresa CPTM dos anos de 2018 e 2019, impactados pelo aumento no número de quilômetros rodados dos trens, reflexo do aumento de 10 km na extensão da via, contemplando duas novas estações.

Ao se analisar a variável empregados (Emp), a extensão da cauda à direita, que atinge uma assimetria positiva de 1,971 a partir da sua média, é determinada pelo número de empregados do Metrô SP e da CPTM. Essas duas empresas possuem o maior volume de empregados dentre as empresas do transporte metroferroviário, sendo a quantidade de empregados quase quatro vezes maior do que a quantidade das empresas Metrô Rio e SUPERVIA, que apresentam o maior número de empregados depois delas. Cabe referir ainda que o Metrô SP e a CPTM são empresas públicas e concentram 65% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário. Diante dessa informação, é possível entender a assimetria positiva de 2,0 da variável Pass x Km (Paskm), uma vez que há uma concentração no número de passageiros transportados nessas duas empresas.

#### 5.1.2 Determinação do índice de eficiência

Utilizando-se variáveis técnicas, foram apurados os índices de eficiência, contemplando no modelo DEA quatro variáveis de entrada (Car, ExEs, Cee, Emp) e duas de saída (PasKm e CarKm), com dados de oito empresas metroferroviárias. Buscando introduzir mais graus de liberdade ao modelo e qualificar a verificação e interpretação dos dados ao longo do período de análise, foi aplicado o método DEA com base na Análise de Janelas, conforme indica o estudo de Charnes *et al.* (1985). Com isso, a eficiência técnica (ET) foi apurada e contemplou quatro janelas de tempo com 24 DMUs cada, em um modelo DEA direcionado a minimizar as entradas (*inputs*) e considerando retornos variáveis de escala (BCC). Os índices de eficiência de 100% representam as empresas eficientes, ou seja, aquelas que estão na fronteira de eficiência. Os índices menores de 100% correspondem às empresas consideradas ineficientes, ou seja, aquelas que possuem maiores potenciais de melhorias. No Gráfico 10, apresenta-se o resultado da estimação, distribuído por níveis de eficiência das DMUs.

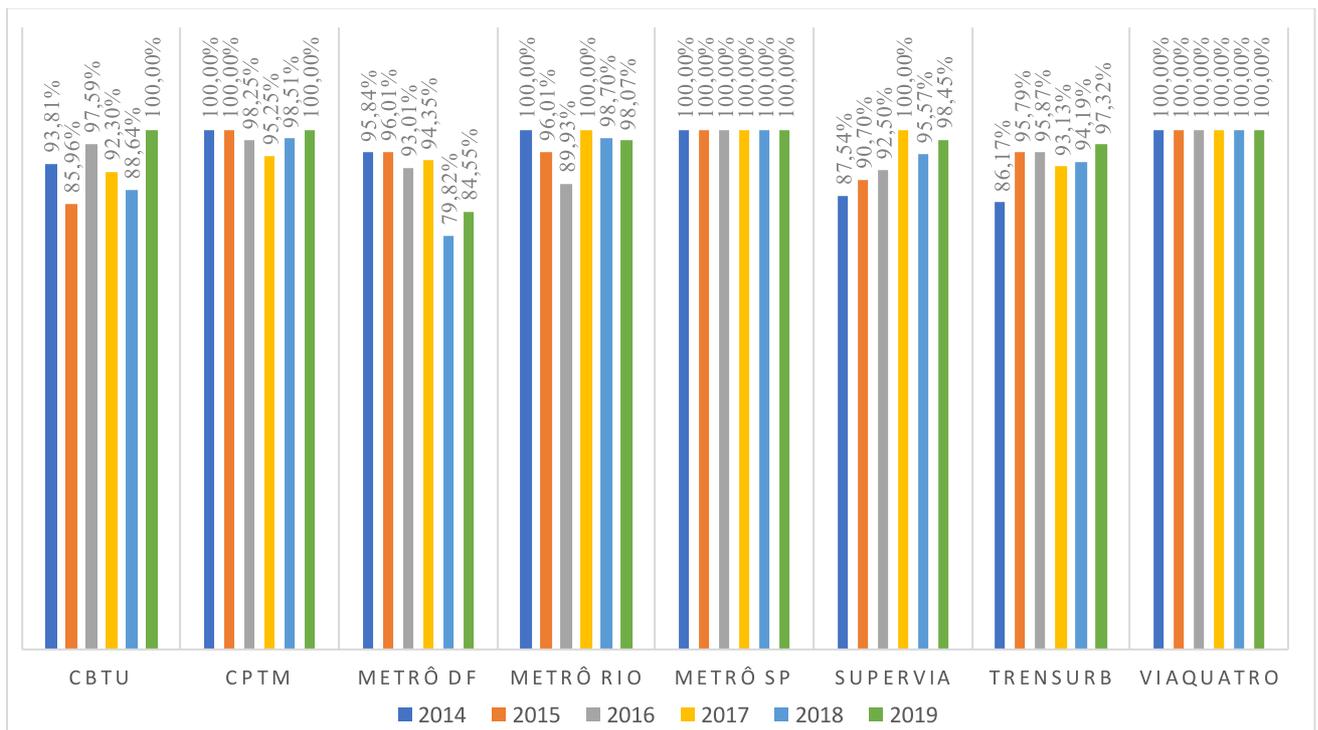
Gráfico 10 – Distribuição das DMUs por níveis de eficiência técnica



Fonte: Elaborado pela autora.

Como se verifica no Gráfico 10, os níveis de eficiência técnica das empresas concentram-se entre 91% e 100%, representando 82% das DMUs em análise. No Gráfico 11, apresenta-se a média destas eficiências por ano.

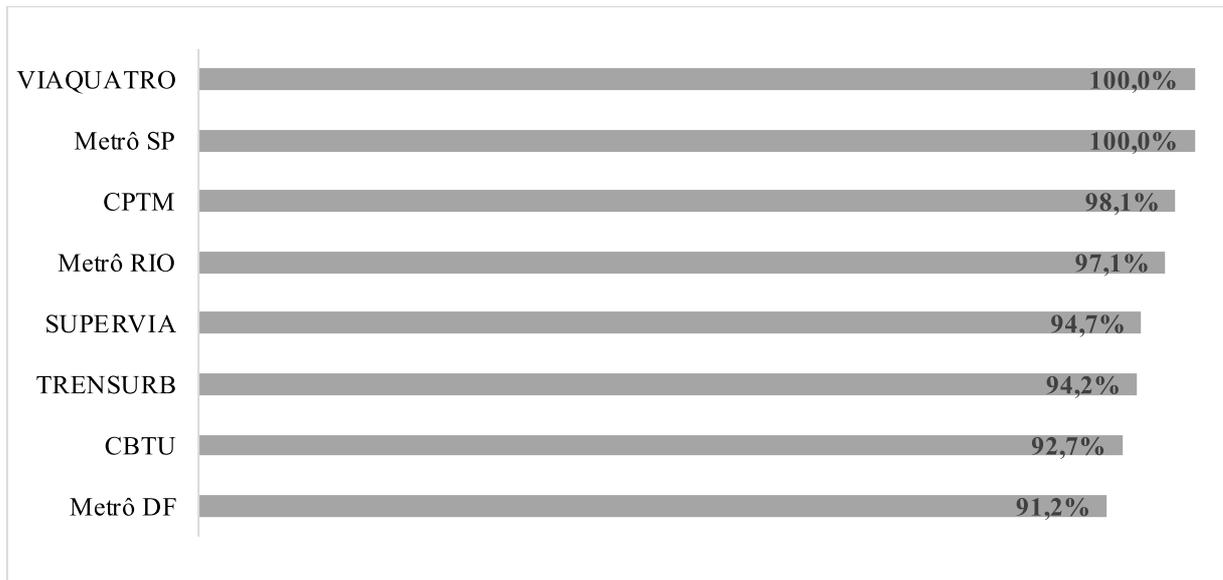
Gráfico 11 – Média dos índices de eficiência técnica por ano



Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando a média das eficiências anuais apuradas por meio da análise de janelas, verifica-se que os níveis de eficiência para as empresas metroferroviárias são superiores a 90%, sendo essa informação consolidada no Gráfico 12.

Gráfico 12 – Médias dos níveis de eficiência técnica de 2014 - 2019



Fonte: Elaborado pela autora.

Detalhando os índices de eficiência, apresenta-se, na Tabela 8, os índices por janela, sendo que na primeira linha de cada empresa está representado o resultado de eficiência da janela 2014 a 2016, na segunda, da janela 2015 a 2017, na terceira, da janela 2016 a 2018, e na quarta linha, da janela 2017 a 2019.

Tabela 8 – Eficiência técnica da DMUs por ano e por janela

(continua)

EMPRESA	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)
Metrô SP	100	100	100			
		100	100	100		
			100	100	100	
				100	100	100
CPTM	100	100	100			
		100	99,9	100		
			94,8	95,1	100	
				90,6	97,0	100
VIAQUATRO	100	100	100			
		100	100	100		
			100	100	100	
				100	100	100
Metrô RIO	100	100	89,8			
		100	89,9	100		
			90,1	100	98,6	
				100	98,8	98,1
SUPERVIA	87,5	95,6	100			
		85,8	89,2	100		
			88,2	100	95,6	
				100	95,5	98,4

						(conclusão)
EMPRESA	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)
CBTU	93,8	85,9	97,6			
		85,9	97,6	90,5		
			97,6	90,5	85,9	
				95,8	91,3	100
Metrô DF	95,8	96,7	93,5			
		95,2	92,8	92,8		
			92,8	92,8	78,9	
				97,5	80,7	84,5
TRENSURB	86,2	96,3	96,6			
		95,3	95,5	92,0		
			95,5	91,8	92,8	
				95,5	95,6	97,3

Fonte: Elaborado pela autora.

As empresas VIAQUATRO e Metrô SP atingiram índices de eficiência técnica de 100% em todos os anos da análise. Já a empresa CPTM tem média de eficiência de 98,1% e apresentou índice de 100% em pelo menos um ano das janelas de análise. Essas empresas são classificadas como de grande porte, operam na cidade de São Paulo e representam 73% do total de passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro e 81% da amostra em análise.

O Metrô Rio e a SUPERVIA, que completam o conjunto de empresas de grande porte, possuem índices de eficiência que variam de 85,8% a 100%. O Metrô Rio possui índices de eficiência individuais nas janelas de análise superiores a 89% em todos os anos da análise. Os anos de 2014, 2015 e 2017 apresentaram eficiência de 100%, e redução deste índice nos anos de 2016, 2018 e 2019, sendo a redução influenciada principalmente pela extensão da linha e pelo aumento do número de estações. Já a SUPERVIA possui média de eficiência do período de análise de 94,7%, e, individualmente, os índices de eficiência variam de 85,8% a 100%, sendo que o menor índice identificado está na segunda janela de análise. Nos anos seguintes a 2016, há uma redução no número de empregados e no consumo de energia elétrica.

Nas demais empresas, que são públicas e classificadas como de médio porte, apenas a CBTU atingiu, no ano de 2019, o índice de eficiência de 100%, impactado pela redução no consumo de energia elétrica no período, para os demais anos e empresas, os índices médios variaram de 78,9% a 97,6%.

Qualificando a análise, em complemento à aplicação do DEA com todas as variáveis técnicas, a eficiência técnica foi apurada considerando como produto apenas a variável direcionada à oferta, ou seja, a variável "CarKm". Na média, o resultado dessa estimação não gerou alteração nos níveis de eficiência como pode ser observado na Tabela 9. Em seguida, apurou-se a eficiência considerando apenas a variável "PasKm", que direciona o produto para a demanda. Como se verifica na Tabela 9, com exceção da empresa CBTU, houve uma redução

nos níveis de eficiência quando retirada a variável "CarKm", isso reflete a preponderância da contribuição desta variável na formação da eficiência das empresas. A maior redução é verificada na empresa SUPERVIA, que passou de um índice de eficiência de 94,7% para 60,7%. Esta maior variação pode ser explicada pelo fato de a empresa possuir a maior extensão de via do sistema e, portanto, sua operação mostra-se direcionada para a oferta, uma vez que a demanda de passageiros é bastante inferior a da empresa CPTM, que possui o mesmo porte em extensão.

Tabela 9 – Média dos índices de eficiência técnica por aplicação DEA

<b>Empresa</b>	<b>Variável Produto CarKm e PasKm</b>	<b>Variável Produto CarKm</b>	<b>Variável Produto PasKm</b>
Metrô DF	91,2%	91,2%	89,5%
CBTU	92,7%	92,7%	93,0%
TRENSURB	94,2%	94,2%	83,9%
SUPERVIA	94,7%	94,7%	60,7%
Metrô RIO	97,1%	97,1%	89,9%
CPTM	98,1%	98,0%	96,8%
VIAQUATRO	100%	100%	98,6%
Metrô SP	100%	100%	99,1%

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao se avançar na análise, foram identificadas as DMUs que compõem o padrão de referência (*Benchmark*) para os índices de eficiência apurados. Ressalta-se que a medida de eficiência técnica é específica para a amostra e as DMUs eficientes formam uma fronteira de melhores práticas e são pontos de referência para DMUs ineficientes. Cada DMU eficiente ou uma combinação das DMUs eficientes podem ser referência para DMUs ineficientes.

Conforme se verifica na Tabela 10, as de grande porte são as empresas referência de *Benchmark*, destacando-se a empresa VIAQUATRO, que compõe a referência de 70% das DMUs da análise e está presente na composição de todas as empresas que não atingiram o nível máximo de eficiência (100%).

Quanto a VIAQUATRO, cabe referir que é uma empresa privada que opera na forma de concessão em trecho vinculado ao Metrô SP, concentrando o maior número de passageiros transportados do sistema metroferroviário brasileiro. Por conta disso, atua em um curto trecho de extensão, com um elevado número de passageiros transportados, se comparado com as empresas de médio porte.

Tabela 10 – Frequência da DMU como referência nos índices de eficiência de outra DMU

<b>Empresas</b>	<b>Frequência DMUs - Janela (2014-2016)</b>	<b>Frequência DMUs - Janela (2015-2017)</b>	<b>Frequência – DMUs Janela (2016-2018)</b>	<b>Frequência DMUs - Janela (2017-2019)</b>	<b>Frequência TOTAL</b>
Metrô DF	0	0	0	0	0
TRENSURB	0	0	0	0	0
CBTU	0	0	0	3	3
Metrô SP	3	5	4	5	17
Metrô RIO	4	4	6	3	17
CPTM	7	7	6	5	25
SUPERVIA	9	9	8	2	28
VIAQUATRO	19	16	18	14	67

Nota: Total máximo de referência por empresa na janela = 24

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando as características específicas da VIAQUATRO e buscando qualificar a análise das empresas, aplicou-se o mesmo modelo DEA sem a VIAQUATRO, e como resultado verificou-se que houve alterações significativas apenas nos índices das empresas de médio porte, CBTU, Metrô DF e TRENSURB, que aumentaram seus índices médios de eficiência de 91,2%, 92,7% e 94,2%, respectivamente, para índices superiores a 99,9%.

Complementarmente, ainda sem a VIAQUATRO, a aplicação foi segregada para as empresas de médio e grande porte. O primeiro modelo contemplou as empresas CPTM e Metrô SP que são públicas, e as empresas Metrô Rio e SUPERVIA que operam por meio de concessão privada, classificadas como de grande porte. Como resultado dessa mensuração, o Metrô SP e CPTM mantiveram os índices de eficiência, de 100% e 98,1%, respectivamente. A SUPERVIA aumentou seu índice de eficiência na média de 94,7% para 98,5%, e o Metrô RIO de 97,1% para 100%.

Posteriormente, foi aplicado o modelo DEA contemplando as empresas CBTU, Metrô DF e TRENSURB, sendo empresas públicas e classificadas como de médio porte. Com a retirada da empresa VIAQUATRO, o resultado demonstrou um aumento da média de eficiência para todas as empresas, passando todos os índices de eficiência para valores superiores a 99%.

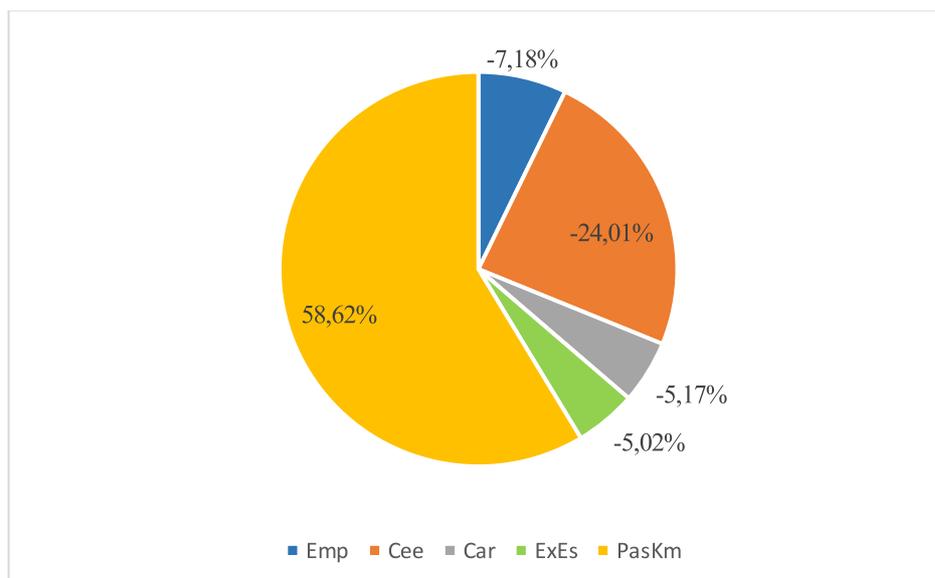
Sintetizando os resultados da eficiência técnica apresentados nesta seção, pode-se inferir que, embora os sistemas metroferroviários operem em diferentes níveis de escala e com diferentes estruturas físicas e tecnológicas, no âmbito da eficiência técnica, apresentaram linearidade na média dos índices de eficiência apurados, com índices superiores a 90% em todas as empresas. A invariabilidade da média dos resultados da eficiência técnica quando utilizadas variáveis de saídas combinadas (oferta e demanda), em relação ao uso apenas da variável de oferta, reforça a consistência das variáveis técnicas empregadas e revela o direcionamento do

transporte sobre trilhos no Brasil para a oferta de serviços, quando consideradas variáveis técnicas.

As estimações do modelo DEA realizadas com apenas uma das variáveis de saída (demanda) geraram alterações pontuais nos índices de eficiência, como reflexo de característica específica de determinada empresa. Tal fato corrobora com estudos que afirmam que a melhor opção para se obter o índice de eficiência dos serviços de transporte público é a utilização de saídas (produto) em conjunto, que reflitam tanto o aspecto da oferta como do consumo (demanda). (CAVAIGNAC;PETIOT,2017; HOLMGREN,2018). Além disso, cabe citar que a VIAQUATRO é a empresa considerada *benchmark* para as empresas de médio porte e, embora tenha suas peculiaridades, a manutenção desta no modelo mostra-se adequada para evitar que as eficiências das empresas de médio porte sejam superestimadas

Dando seguimento à análise da eficiência técnica, quando uma DMU é considerada ineficiente, ela deve ser capaz de produzir seu nível atual de saídas (produtos) com menos entradas (minimização dos insumos) ou gerar um nível maior de saídas com as mesmas entradas (maximização dos produtos). Diante disso, é apresentado no Gráfico 13 as melhorias potenciais do sistema metroferroviário brasileiro, considerando os resultados da Janela 4, último período da análise (2017-2019), podendo ser identificado o percentual de redução de insumos ou de aumento de produtos para que se torne 100% eficiente.

Gráfico 13 – Melhorias potenciais da eficiência técnica



Fonte: Elaborado pela autora.

A maior necessidade de redução é verificada na variável Cee, que representa o consumo de energia elétrica. A inexistência de indicação de melhoria para a variável de produto CarKm

e a indicação da necessidade de aumento da variável PasKm refletem os menores resultados de eficiência obtidos quando a mensuração de eficiência é realizada apenas com esta variável. Sob o olhar do produto, haveria a necessidade de aumentar em 58,62% a variável PasKm.

A aplicação do DEA permite mensurar a eficiência de escala, sendo calculada pela razão entre a eficiência apurada por meio do modelo de retornos constantes de escala (CCR) e do modelo de retornos variáveis de escala (BCC). A eficiência de escala é o resultado do nível máximo de produção situada sob a fronteira eficiente, que consiste em uma DMU ótima de funcionamento na qual a redução ou o aumento na escala de produção implica a redução da eficiência. Além disso, a variação entre os índices de eficiência dos modelos CCR e BCC representa o incremento na eficiência em função da escala.

Com isso, foi aplicado o DEA, com a estimação contemplando o período de 2016 a 2019, e as eficiências estimadas por ano estão apresentadas na Tabela 11, considerando a média para o período de análise.

Tabela 11 – Média da eficiência técnica e de escala

EMPRESA	Eficiência Técnica (CCR)	Eficiência Técnica (BCC)	Eficiência de Escala	Incremento de Eficiência
CBTU	63,5%	92,7%	68,5%	31,5%
CPTM	97,9%	98,1%	99,8%	0,2%
Metrô DF	78,0%	91,2%	85,6%	14,4%
Metrô RIO	77,5%	97,1%	79,8%	20,2%
Metrô SP	99,5%	100%	99,5%	0,5%
SUPERVIA	92,6%	94,7%	97,8%	2,2%
TRENSURB	86,7%	94,2%	92,0%	8,0%
VIAQUATRO	91,1%	100%	91,1%	8,9%

Fonte: Elaborado pela autora.

Como se verifica na Tabela 11, há uma redução nos níveis de eficiência quando considerado o modelo de retornos constantes (CCR). As menores variações entre CCR e BCC, ou seja, o menor incremento por escala, são identificadas nas duas maiores empresas do sistema metroferroviário, CPTM e Metrô SP. Os maiores níveis de incremento de eficiência por escala são observados nas empresas públicas CBTU, Metrô DF e TRENSURB e na empresa privada Metrô RIO. Os índices de eficiência de escala diferentes de 1, para todas as empresas, indicam que as DMUs não operam em sua escala de produção máxima, diante disso, é necessário analisar os retornos de escala.

Por meio dos resultados apurados na aplicação do modelo DEA com o uso do *software Frontier Analyst*, foram identificados os rendimentos de escala, sendo verificado que, das 96 referências de eficiência técnica distribuídas em quatro janelas de análise com 24 DMUs cada,

86% apresentam retornos crescentes. Todas as empresas que mostraram, ao longo do período de análise, retornos decrescentes de escala, são empresas classificadas como de grande porte, sendo os retornos identificados de forma predominante nas empresas Metrô SP e CPTM, com maior incidência nesta última. O Metrô SP e CPTM possuem os maiores índices de eficiência de escala apurados. Para as demais empresas, prepondera retornos crescentes de escala, o que sugere que as empresas estão operando abaixo da sua capacidade produtiva. Com isso, verifica-se que as empresas de grande porte privadas e todas as empresas de médio porte, que são públicas, possuem retornos crescentes de escala.

Avançando na análise da eficiência do transporte metroferroviário brasileiro, na seção a seguir, apura-se a eficiência por meio de variáveis econômicas.

## 5.2. Eficiência Econômica

A eficiência econômica foi apurada a partir do modelo de janelas do DEA, com os mesmos parâmetros utilizados para cálculo da eficiência técnica, ou seja, aplicação orientada para a minimização dos insumos (*inputs*), modelo de retornos variáveis de escala (BCC), e quatro janelas de tempo no período de 2014 a 2019.

### 5.2.1 Análise dos dados

Na Tabela 12, apresenta-se a estatística descritiva das variáveis econômicas utilizadas para mensuração da eficiência por meio do modelo DEA.

Tabela 12 – Estatística descritiva das variáveis econômicas

REFERÊNCIA	VARIÁVEIS		
	Csp	Des	Rec
Média	890,82	241,29	783,14
Mediana	440,68	88,74	590,39
Máximo	2.692,74	1.005,20	2.280,34
Mínimo	176,42	39,99	98,70
Desvio Padrão	946,77	280,54	712,67
Jarque-Bera	10,979	18,261	6,616
p-valor	0,000	0,000	0,036

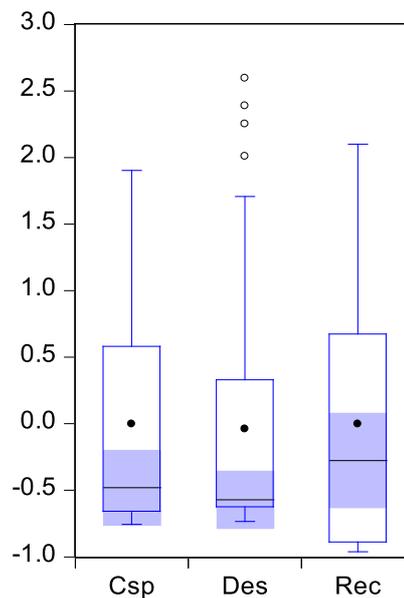
Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como nas variáveis técnicas, é possível verificar que as variáveis econômicas possuem as médias superiores àquelas das medianas, revelando uma distribuição assimétrica

positiva, sendo isso esperado, dada a diferença nos níveis de insumos e receitas entre as empresas de médio e grande porte.

Observando a estatística Jarque-Bera, constata-se que os valores de p-valor apurados são inferiores a 5%, assim, rejeita-se a hipótese de distribuição normal dos dados. Para ampliar a análise da estatística descritiva apresentada, utilizou-se o gráfico *boxplot* que possibilita demonstrar a simetria dos dados, a sua dispersão e a existência de *outliers*. Para fins de análise, os dados foram normalizados, e o resultado está apresentado no Gráfico 14.

Gráfico 14 –Distribuição das variáveis para a avaliação da eficiência econômica



Fonte: Elaborado pela autora.

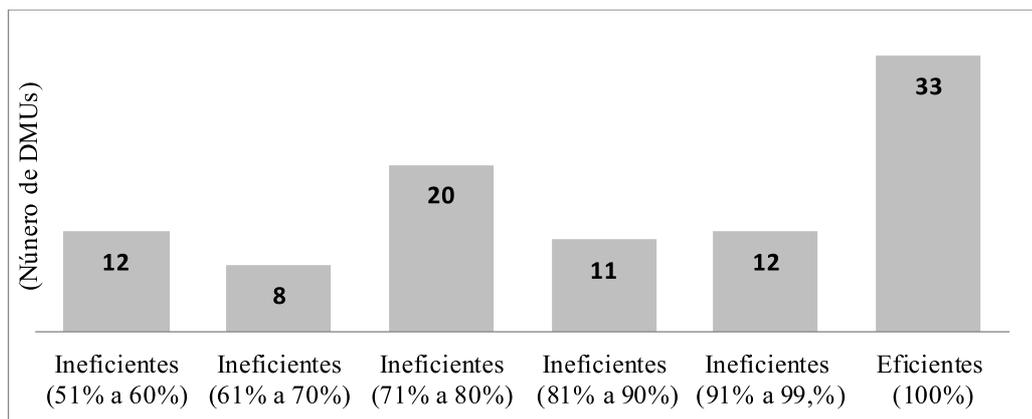
Na variável de insumo, custo dos serviços prestados (Csp), a extensão da cauda à direita, que atinge uma assimetria positiva de 1,903 a partir da sua média, é direcionada pelo custo das empresas CPTM e Metrô SP, pois os dados das demais empresas compõem uma cauda à esquerda a partir da média, com assimetria de - 0,649.

Quando se analisa a variável despesas gerais e administrativas (Des), percebe-se a existência de quatro *outliers* que se referem às despesas do Metrô SP, dos anos de 2015, 2017, 2018 e 2019. Em relação à variável receita tarifária (Rec), possui assimetria positiva de 2,101 relativamente à média, em que a composição acima da média é dada pela empresa Metrô Rio com assimetria de 0,22, Metrô SP e CPTM com assimetria positiva, entre 1,06 e 2,10. As empresas Metrô SP e CPTM possuem o maior número de passageiros transportados e auferem as maiores arrecadações oriundas das receitas de transporte.

### 5.2.2 Determinação do índice de eficiência

A eficiência econômica das empresas metroferroviárias brasileiras foi mensurada por meio do modelo DEA, considerando como insumos (*inputs*) as variáveis custo dos serviços prestados e as despesas gerais e administrativas, que representam o custo operacional do sistema metroferroviário. Quanto ao produto, considerando a relevância das medidas de produção para os sistemas de transporte, primeiramente, a eficiência foi determinada em um modelo misto, mantendo as mesmas saídas da eficiência técnica, ou seja, CarKm e PasKm. Com isso, a eficiência foi obtida por meio de uma combinação de variáveis técnicas e econômicas, denominada neste trabalho como eficiência combinada. No Gráfico 15, está representada a distribuição dos níveis de eficiência combinada.

Gráfico 15 – Distribuição das DMUs por níveis de eficiência combinada



Fonte: Elaborado pela autora.

Diferentemente do que se observou na apuração da eficiência técnica, há uma maior distribuição nos níveis de eficiência. Das 33 DMUs consideradas eficientes, ou seja, que atingiram índice de 100%, 30 são empresas de grande porte. Detalhando os índices de eficiência, apresenta-se na Tabela 13, os índices por janela, sendo que na primeira linha de cada empresa está representado o resultado de eficiência da janela 2014 a 2016, na segunda linha, da janela 2015 a 2017, na terceira linha, da janela 2016 a 2018, e, na quarta linha, da janela 2017 a 2019.

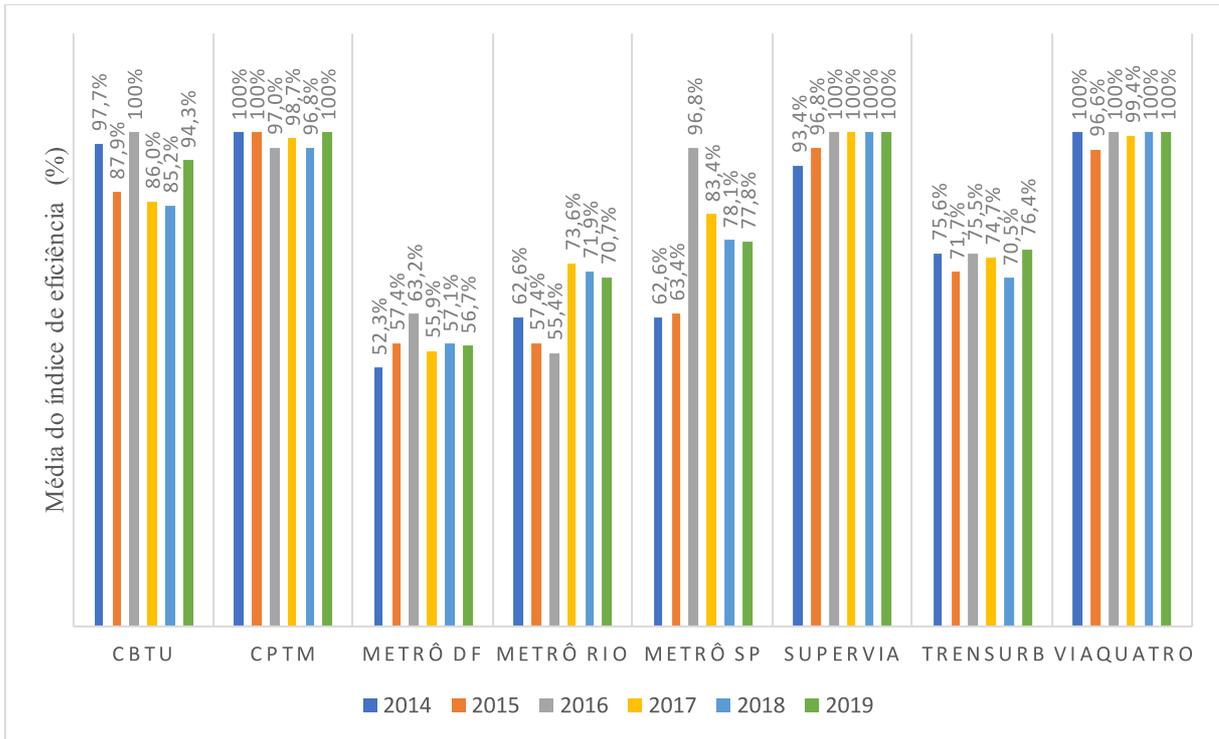
Tabela 13 – Eficiência combinada das DMUs por ano e por janela

EMPRESA	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)	
Metrô SP	98,31	100,00	100,00				
		100,00	100,00	90,79			
				90,52	82,20	80,60	
					77,08	75,59	77,82
CPTM	100,00	100,00	100,00				
		100,00	100,00	100,00			
				90,93	100,00	100,00	
					96,25	93,68	100,00
VIAQUATRO	100,00	96,61	100,00				
		96,61	100,00	99,11			
				100,00	98,95	100,00	
					100,00	100,00	100,00
Metrô RIO	62,57	63,30	56,13				
		63,41	56,23	76,44			
			53,86	72,76	72,58		
				71,46	71,29	70,72	
SUPERVIA	93,36	96,83	100,00				
		96,83	100,00	100,00			
				100,00	100,00	100,00	
					100,00	100,00	100,00
CBTU	97,71	87,93	100,00				
		87,91	100,00	84,76			
				100,00	84,76	83,28	
					88,47	87,05	94,28
Metrô DF	52,33	57,75	63,51				
		57,03	63,02	57,64			
			63,02	57,64	59,90		
				52,31	54,32	56,74	
TRENSURB	75,56	71,83	75,80				
		71,52	75,45	74,44			
			75,35	74,33	69,84		
				75,22	71,07	76,43	

Fonte: Elaborado pela autora.

Para melhor identificação dessa distribuição, no Gráfico 16 é trazida a média dos índices de eficiência por ano e por empresa.

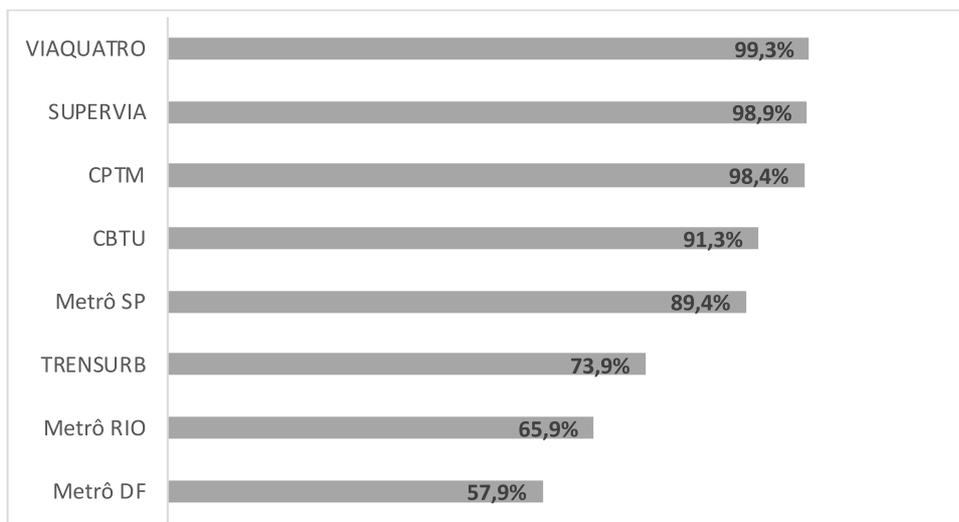
Gráfico 16 – Média dos índices de eficiência combinada por ano



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 17, são consolidadas as informações, podendo ser verificados os níveis médios de eficiência das empresas metroferroviárias para o período de análise.

Gráfico 17 – Médias dos níveis de eficiência combinada de 2014 - 2019

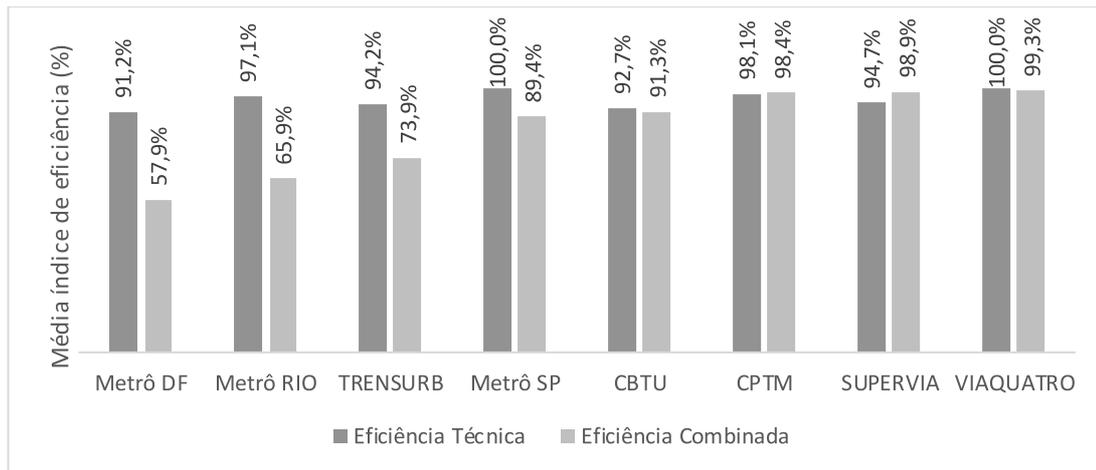


Fonte: Elaborado pela autora.

De maneira geral, os índices de eficiência combinada são inferiores aos índices de eficiência técnica. Enquanto que na eficiência técnica os maiores índices são claramente identificados nas empresas de grande porte, na eficiência combinada, não há essa distinção.

Para melhor análise, no Gráfico 18, é apresentada a comparação entres os índices de eficiência técnica e combinada, considerando a média dos índices das DMUs, em que se verifica que as empresas CBTU, CPTM, SUPERVIA e VIAQUATRO mantiveram os índices de eficiência acima de 90%, como apurado na eficiência técnica. Já as empresas Metrô DF, Metrô RIO, TRENSURB e Metrô SP apresentaram reduções mais significativas.

Gráfico 18 – Média dos índices de eficiência das DMUs



Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando que os custos dos serviços prestados representam, em média, 80% dos custos operacionais e que são diretamente vinculados à prestação dos serviços de transporte, o mesmo modelo DEA foi aplicado, sem a variável "Des", ou seja, considerando como variável de insumo apenas a variável "Csp". Como resultado da aplicação, duas empresas tiveram os índices de eficiência alterados em relação à eficiência combinada que contempla as duas variáveis como insumo, ambos para menos. No Metrô DF, a média das eficiências passou de 57,9% para 46,4%; e na CBTU, de 91,3% para 60,7%. Conforme Gráfico 3, é possível constatar que as duas empresas possuem a maior representatividade dos custos dos serviços operacionais frente ao custo operacional total. Cabe referir que a empresa CBTU possui a estrutura administrativa dos sistemas que opera centralizada, fato que pode estar afetando a referida representatividade e contribuindo para que ela atinja o nível de eficiência combinada econômica superior a 91,3%, quando considerado o custo operacional total. Dessa forma, pode a eficiência combinada da CBTU estar superestimada no modelo completo.

Dando continuidade à análise, buscou-se identificar a eficiência considerando como produto apenas a variável direcionada à oferta, ou seja, a variável CarKm, e como resultado foi verificado que quatro empresas tiveram seus índices de eficiência reduzidos. A CPTM e a SUPERVIA tiveram variações inferiores a 2 pontos percentuais, o Metrô RIO passou de 65,9%

para 56,8%, e a redução mais significativa ocorreu no Metrô SP, cuja média de eficiência econômica passou de 89,4% para 43,3%. Essas reduções estão relacionadas a maior contribuição da variável PasKm para composição da eficiência combinada desses sistemas, quando utilizadas as duas saídas, ou seja, CarKm e Paskm.

Diante disso, apurou-se a eficiência levando em consideração como produto apenas a variável PasKm que direciona o produto para a demanda. Assim como ocorrido na apuração da eficiência técnica, SUPERVIA e Metrô Rio tiveram as maiores reduções. A SUPERVIA reduziu o índice de 98,9% para 83,6%. Isso deve-se à preponderância da variável "Paskm" para composição do índice, quando esta é apurada conjuntamente com a variável "CarKm". A empresa Metrô RIO teve seu índice de eficiência reduzido de 65,9% para 56,5%, essa variação é semelhante àquela obtida quando utilizada apenas a variável "CarKm". Em análise da aplicação do DEA no modelo com as duas variáveis do produto, verifica-se que a composição dessas variáveis, para o nível de eficiência da Metrô RIO, possui percentuais médios de 54% e 46%, justificando a variação nas aplicações realizadas apenas com uma das variáveis de saída. Na Tabela 14, podem ser verificados os índices de eficiência combinada nas diferentes aplicações realizadas, considerando a média para o período.

Tabela 14 – Média dos índices de eficiência combinada por aplicação DEA

EMPRESA	Variável insumo:	Variável insumo:	Variável insumo:	Variável insumo:
	Csp e Des	Csp	Csp e Des	Csp e Des
	Variável Produto:	Variável Produto:	Variável Produto:	Variável Produto:
	CarKm e PasKm	CarKm e PasKm	CarKm	PasKm
Metrô DF	57,9%	46,4%	57,9%	56,1%
Metrô RIO	65,9%	65,9%	56,8%	56,5%
TRENSURB	73,9%	73,9%	73,0%	71,2%
Metrô SP	89,4%	89,0%	43,3%	89,4%
CBTU	91,3%	60,7%	91,3%	91,3%
CPTM	98,4%	95,5%	96,4%	98,2%
SUPERVIA	98,9%	98,7%	97,2%	83,6%
VIAQUATRO	99,3%	99,3%	99,1%	99,2%

Fonte: Elaborado pela autora.

Em prosseguimento à análise do modelo com duas variáveis de saída, foram identificadas as DMUs que compõem o padrão de referência (*Benchmark*) para os índices de eficiência combinada apurados. Conforme já referido na análise da eficiência técnica, a medida de eficiência é específica para a amostra e as DMUs eficientes formam uma fronteira de melhores práticas e são pontos de referência para as DMUs ineficientes. Cada DMU eficiente ou uma combinação de ambas as DMUs eficientes pode ser referência para DMUs ineficientes. Conforme se verifica na Tabela 15, o *Benchmark* concentra-se nas três empresas que possuem

os maiores índices de eficiência combinada e, assim como apurado na eficiência técnica, houve maior incidência da VIAQUATRO como DMU de referência.

Tabela 15 – Frequência da DMU como referência nos índices de eficiência de outra DMU

Empresas	Frequência DMUs - Janela (2014-2016)	Frequência DMUs - Janela (2015-2017)	Frequência – DMUs - Janela (2016-2018)	Frequência DMUs - Janela (2017-2019)	Frequência TOTAL
Metrô DF	0	0	0	0	0
TRENSURB	0	0	0	0	0
CBTU	0	4	3	0	7
Metrô SP	0	0	0	0	0
Metrô RIO	0	0	0	0	0
CPTM	7	7	7	6	27
SUPERVIA	11	11	11	8	41
VIAQUATRO	12	11	13	21	57

Nota: Total máximo de referência por empresa na janela = 24

Fonte: Elaborado pela autora.

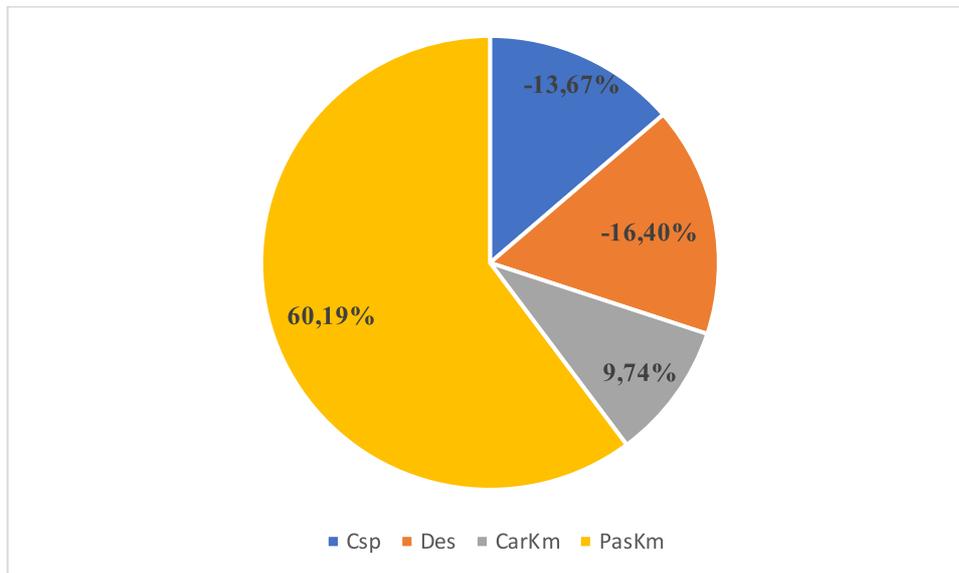
Assim como aplicado na mensuração da eficiência técnica, considerando as características específicas da VIAQUATRO, aplicou-se o mesmo modelo DEA excluindo a VIAQUATRO. Os índices médios de eficiência do Metrô SP, CPTM e SUPERVIA não sofreram alterações significativas, sendo que o Metrô RIO aumentou o índice de 65,9% para 75,2% e as empresas de médio porte, CBTU, Metrô DF e TRENSURB, aumentaram seus índices médios de eficiência de 91,3%, 57,9% e 73,9, respectivamente, para índices de 92,7%, 67,6% e 97,7%. O reflexo da retirada da VIAQUATRO da mensuração da eficiência, foi o mesmo observado na apuração da eficiência técnica. Na sequência, aplicou-se o modelo com as empresas de grande porte contemplando duas empresas públicas e duas privadas. Como resultado da mensuração, o Metrô SP e a CPTM mantiveram os índices de eficiência, a SUPERVIA aumentou seu índice de eficiência, na média, de 98,9% para 100%, e o Metrô RIO de 65,9% para 83,1%. Por fim, aplicou-se o modelo apenas com as empresas CBTU, Metrô DF e TRENSURB, sendo todas empresas públicas e classificadas como de médio porte. O resultado da aplicação demonstrou um aumento da média de eficiência para todas as empresas. A CBTU aumentou a média de eficiência de 91,3% para 95,4%, o Metrô DF de 57,9% para 89,6% e a TRENSURB de 73,90% para 99,6%.

Assim como identificado na eficiência técnica, a empresa VIAQUATRO é o *benchmark* das empresas de médio porte, quando considerada a eficiência combinada, e, neste modelo, vai além, ao impactar o índice de eficiência das empresas de grande porte, SUPERVIA e Metrô RIO. Diante dos resultados apresentados, o modelo completo, ou seja, o modelo que contempla

as variáveis Csp e Des como insumo e CarKm e PasKm como produto de forma combinada, foi utilizado para a análise a seguir.

Considerando a existência de unidades ineficientes em todas as aplicações do DEA, é apresentado no Gráfico 19 as melhorias potenciais do sistema metroferroviário brasileiro, considerando os resultados da Janela 4, último período da análise, podendo ser identificadas as necessidades de redução de insumos ou de aumento de produtos para que se torne 100% eficiente.

Gráfico 19 – Potenciais melhorias da eficiência combinada



Fonte: Elaborado pela autora.

Como se verifica no Gráfico 19, em uma análise global do sistema metroferroviário, é necessária a redução de 13,67% no custo dos serviços prestados e de 16,4% nas despesas gerais e administrativas, mantidas as saídas existentes. Embora o aumento na demanda de passageiros dependa de fatores externos às empresas, verifica-se que, por meio dos resultados apurados, se mantidos os índices atuais de custos e despesas, há a necessidade de um aumento de 60,19% na variável PasKm, seguida de 9,74% para a variável CarKm.

Para a análise da eficiência de escala, foram apuradas as eficiências por meio do modelo de retornos constantes de escala (CCR), com a estimação contemplando o período de 2016 a 2019. As eficiências estimadas por ano estão apresentadas na Tabela 16, considerando a média para o período de análise.

Tabela 16 – Média da eficiência combinada e de escala

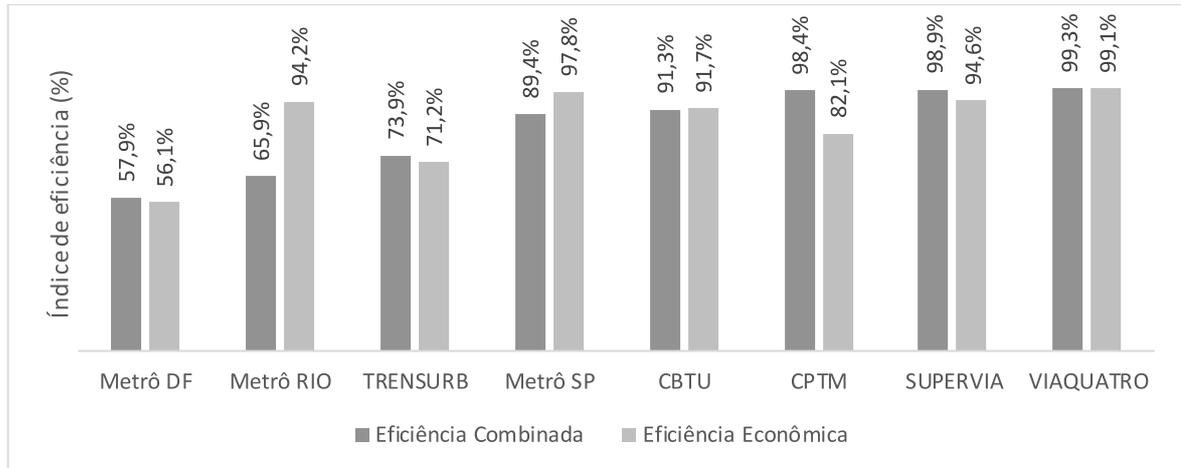
EMPRESA	Eficiência Combinada (CCR)	Eficiência Combinada (BCC)	Eficiência Escala	Incremento de Eficiência
CBTU	27,1%	91,3%	29,6%	70,3%
CPTM	97,6%	98,4%	99,1%	0,8%
Metrô DF	22,6%	57,9%	39,0%	60,9%
Metrô RIO	56,2%	65,9%	85,2%	14,7%
Metrô SP	88,9%	89,4%	99,4%	0,5%
SUPERVIA	98,0%	98,9%	99,0%	0,9%
TRENSURB	36,0%	73,9%	48,7%	51,2%
VIAQUATRO	54,6%	99,3%	54,9%	45,0%

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme se verifica na Tabela 16, há uma redução nos níveis de eficiência quando considerado o modelo de retornos constantes (CCR). Os níveis de incremento, em decorrência da escala, apresentam-se bem superiores aos níveis identificados na eficiência técnica. As empresas CPTM, Metrô SP, assim como na eficiência técnica, apresentaram os menores níveis de incremento em relação à escala, seguidas da empresa SUPERVIA. Quanto à eficiência de escala, percebe-se que todos os índices são diferentes de 1, indicando que as DMUs não operam em sua escala de produção ótima. Por meio dos resultados apurados na aplicação do modelo DEA e com o uso do *software Frontier Analyst*, identifica-se que preponderam rendimentos crescentes de escala, com exceção da empresa CPTM, onde predominam rendimentos decrescentes. Das 96 referências de eficiência combinada distribuídas em quatro janelas de análise com 24 DMUs cada, 86% apresentam retornos crescentes

Analisada a eficiência combinada, contemplando variáveis técnicas e econômicas, foi determinada a eficiência econômica das empresas, considerando, no modelo DEA, apenas variáveis econômicas. Levou-se em conta como insumo, o custo dos serviços prestados - Csp e as despesas gerais e administrativas - Des, e como medida de produção a variável Rec, que representa a receita tarifária. O resultado desta mensuração é apresentado no Gráfico 20 de forma comparativa com a eficiência combinada, sendo possível verificar que a principal variação ocorreu na empresa Metrô RIO, com aumento de 28,3 pontos percentuais no índice de eficiência, seguida do Metrô SP com aumento de 8,4 pontos percentuais. As empresas CPTM e SUPERVIA reduziram seus índices de eficiência em 16,3 e 4,3 pontos percentuais, respectivamente. Com isso, pode-se inferir que a variação do índice de eficiência econômica e combinada, dá-se de forma relevante apenas nas empresas classificadas como de grande porte.

Gráfico 20 – Eficiência combinada x Eficiência econômica



Fonte: Elaborado pela autora.

Detalhando os índices de eficiência econômica, apresenta-se, na Tabela 17, os índices por janela, sendo que na primeira linha de cada empresa está representado o resultado de eficiência da janela 2014 a 2016, na segunda, da janela 2015 a 2017, na terceira, da janela 2016 a 2018, e na quarta linha, da janela 2017 a 2019.

Tabela 17 – Eficiência econômica das DMUs por ano e por janela

(continua)

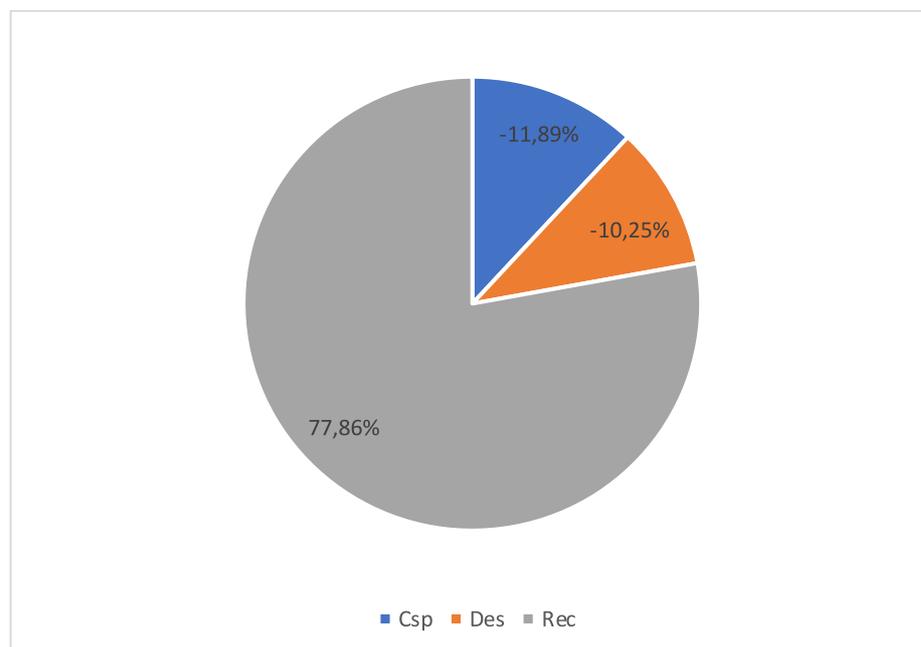
EMPRESA	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)
	100	98,51	89,30			
Metrô SP		100	100	96,92		
			100	100	94,94	
				100	97,85	96,55
	61,99	53,81	56,34			
CPTM		73,47	82,48	100		
			83,21	100	92,48	
				93,74	88,07	100
	100	96,61	100			
VIAQUATRO		96,61	100	100		
			100	100	100	
				100	96,37	100
	98,69	100	100			
Metrô RIO		100	100	91,78		
			100	91,83	78,91	
				100	86,95	82,09
	81,53	90,62	100			
SUPERVIA		87,32	97,78	100		
			98,62	100	95,57	
				100	94,34	89,08

(conclusão)						
EMPRESA	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)	2019 (%)
CBTU	100	88,82	100			
		88,94	100	84,63		
			100	84,63	83,28	
Metrô DF	49,28	53,97	60,89	88,47	87,05	94,28
		53,97	60,89	55,89		
			60,89	55,89	57,69	
				55,89	54,24	56,74
TRENSURB	73,89	68,06	72,62			
		68,98	72,62	71,13		
			72,62	71,13	67,34	
				73,05	69,45	74,04

Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 21, são apresentadas as potenciais melhorias ao sistema metroferroviário identificadas na determinação da eficiência econômica, considerando os resultados da Janela 4, último período da análise, podendo ser apontadas as reduções necessárias de insumos ou o aumento de produtos para que o sistema atinja o nível máximo de eficiência.

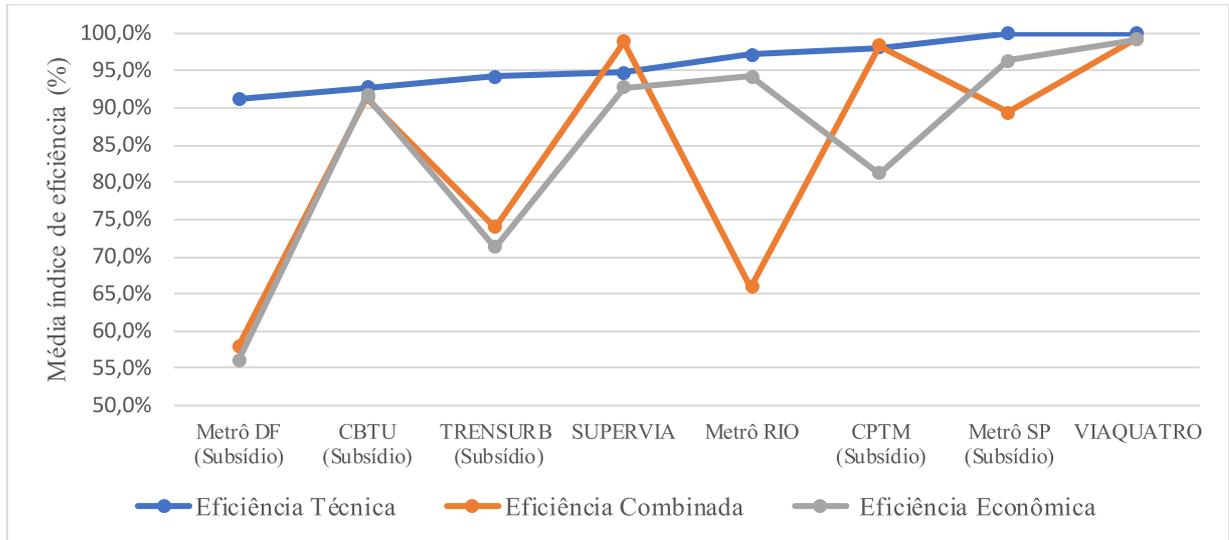
Gráfico 21 – Potenciais melhorias da eficiência econômica



Fonte: Elaborado pela autora.

Alcançado o objetivo específico de determinar a eficiência das empresas metroferroviárias brasileiras, constata-se que diferentemente do observado na análise de eficiência técnica, as eficiências apuradas com variáveis econômicas não apresentam linearidade como pode ser visto no Gráfico 22.

Gráfico 22 – Média das eficiências apuradas



Fonte: Elaborado pela autora.

As médias dos índices de eficiência combinada e econômica variam entre 56% e 99,3%, já as da eficiência técnica entre 91,2% e 100%. De modo geral, as piores classificações, ou seja, os menores índices de eficiência determinados, são identificadas nas empresas de médio porte como TRENSURB, CBTU e Metrô DF.

### 5.3 Análise das Funções de Custos

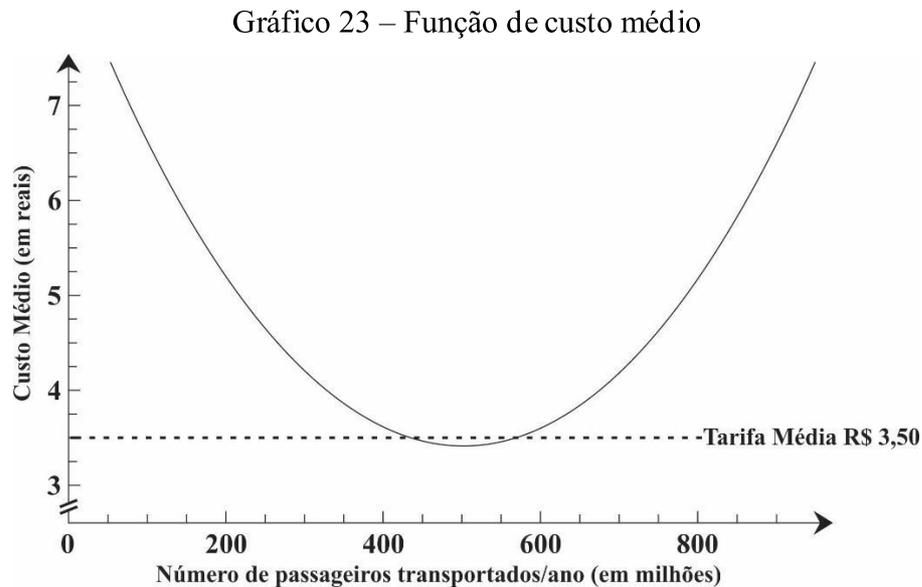
A Fronteira de eficiência foi estimada por Mínimos Quadrados Ordinários a partir da fronteira formada pelos erros de mínimo valor da estimação da equação (10). Os resultados dessa estimação geraram os seguintes resultados:

$$CMe_t = 2E-05x^2 - 0,02x + 8,5 \quad (15)$$

(4,57E-05) (0,005150) (0,734762)

A regressão apresentou o coeficiente de determinação ajustado de 0,432, valor de baixo poder de explicação do modelo influenciado em grande medida pela elevada dispersão dos custos médios. Esse fato pode ser explicado pela dispersão das estruturas em termos de malha metroferroviária de operação das empresas, o que gera valores significativamente distintos no número de passageiros transportados por km. Contudo, os sinais dos parâmetros estimados atendem ao esperado teoricamente e são significantes a 1%. Já o teste de Durbin-Watson indicou autocorrelação positiva (DW= 0,038), apontando que a existência de custos elevados em um determinado período resultará em custos elevados no período seguinte.

Dada a significância dos resultados, passa-se a interpretar os valores obtidos, para uma sintetização e melhor visualização dos resultados, construiu-se o Gráfico 23, que permite visualizar o formato da curva de custo médio, e a utilização da capacidade instalada em termos de custos.



Em uma análise geral do Gráfico 23, verifica-se que inicialmente há economia de escala, ou seja, na medida em que aumenta o número de passageiros, ocorre uma redução do custo médio, portanto, há ganho de escala, estando as empresas abaixo da escala ótima. Essa situação é verificada até o montante de 500 milhões de passageiros, a partir desse ponto, o aumento do número de passageiros reflete um aumento do custo médio.

Entretanto, deve-se analisar com cuidado esses resultados, pois há uma dicotomia nos dados, ou seja, há um conjunto de empresas com pequeno número de passageiros transportados, e outro com elevado número de passageiros. Esse elemento detecta uma fragilidade para estabelecimento da função de regressão para valores intermediários, de forma que não se deve interpretar os valores centrais como sendo confiáveis, e sim compreender que há um ganho forte de economia de escala para ampliação do número de passageiros transportados inicialmente e, após um determinado volume, há um incremento sem formato definido. Dessa forma, não se pode estabelecer qual o valor do ponto de mínimo e em que magnitude de passageiros isso ocorreria.

Conforme os dados apresentados nesta pesquisa, as empresas que estão localizadas à direita do Gráfico 23, ou seja, as que possuem passageiros transportados acima de 500 milhões/ano, são as empresas CPTM e Metrô SP. Logo, esses resultados dialogam com o que

foi observado na análise da eficiência do DEA, em que foi verificada a predominância de escalas decrescentes para essas empresas, ou seja, as empresas operam acima do seu ponto ótimo. A redução da escala geraria uma redução dos seus custos médios. As demais empresas metroferroviárias encontram-se à esquerda do gráfico, ou seja, no intervalo inferior a 500 milhões de passageiros transportados/ano, e todas apresentaram, na análise de eficiência por meio do DEA, retornos crescentes de escala, ou seja, operam abaixo da sua capacidade produtiva.

Pelo exposto até aqui, é possível confirmar a segunda hipótese desta pesquisa, afirmando que as empresas metroferroviárias brasileiras não se beneficiam de ganhos de escala, podendo ser inferido ainda que isso reflete de forma direta no custo dos serviços de transporte.

Lançando luz sobre a questão tarifária, cabe ressaltar que a tarifa média unitária praticada, no período de 2014 a 2019, foi de R\$ 3,50, o custo médio por passageiro foi de R\$ 3,38, no entanto, considerando o efeito das políticas públicas de subsídios que isentam ou reduzem tarifas de transporte, bem como as políticas de integração com outros modais do transporte que reduzem o valor da tarifa unitária, a receita tarifária média por passageiros foi de R\$ 2,31, refletindo, nesses dados, a dependência de recursos do governo para subsídio de custeio das operações de transporte.

#### **5.4. Eficiência e Subsídio**

Ao se analisar o Gráfico 22 em que estão representadas as médias das eficiências por ano e por empresa, não se percebem evidências de que a diferença entre os índices de eficiência das empresas esteja relacionada ao fato destas receberem ou não subsídios do governo, que, no caso do transporte metroferroviário brasileiro, equivale a ser empresa pública ou privada. Diante disso, como segundo estágio da análise DEA, considerando as eficiências apuradas nas seções 5.1 e 5.2, foram utilizados os modelos de Regressão Tobit identificados nas equações (12), (13) e (14) com o objetivo de evidenciar a existência de relação entre a variável dependente - índice de eficiência, e a variável independente principal ( $SUB_{it}$ ), considerando-se ainda os efeitos das variáveis de controle.

Complementarmente, como forma de ampliar a confiabilidade dos resultados obtidos na primeira estimação, foram realizadas outras três estimações. Na primeira, estimou-se a regressão por meio do modelo Tobit substituindo a variável independente, por uma variável *dummy*. Para isso, foi atribuído 1 para as empresas que recebem subsídio e 0 para as que não recebem. Posteriormente, as equações (12), (13), (14) foram estimadas por Mínimos Quadrados

Ordinários (MQO) e, por fim, valendo-se de um modelo Logit, foi realizada a estimação considerando como variável dependente, uma variável *dummy*, onde 1 foi atribuído para as empresas eficientes (índice 100%) e 0 para as demais.

Dada a importância do transporte público de passageiros para o desenvolvimento econômico e social das cidades, foram selecionadas como variáveis de controle: População e Pib per capita. A análise de correlação das variáveis do modelo foi realizada por meio do teste de correlação de Pearson, em que todos os índices de correlação foram inferiores a 0,7.

A Tabela 18 demonstra os resultados obtidos por meio das regressões, levando em consideração os índices de eficiência técnica apurados na seção 5.1.2, no modelo conjunto.

Tabela 18 – Resultados dos modelos de regressão para eficiência técnica

Variável	Modelo I -	Modelo II	Modelo III	Modelo IV -
	Tobit	Tobit - <i>Dummy</i>	(MQO)	Logit
	Estimativas	Estimativas	Estimativas	Estimativas
<i>Sub<sub>it</sub></i>	-5,69E-07	-	-5,69E-07	-1,30E-05
<i>Subdummy<sub>it</sub></i>	-	-0,111846	-	-
<i>Pop<sub>it</sub></i>	7,21E-07***	7,01E-07***	7,21E-07***	3,07E-06
<i>Pib<sub>it</sub></i>	-6,69E-05	-6,73E-05	-6,69E-05	-0,000851
C	94,72693***	94,80567***	94,72693***	7,797197
Estatísticas da regressão				
R <sup>2</sup> ajustado	-	-	0,398	0,600
Jarque-Bera resíduos (p-valor)	7,938 (0,018)	7,830 (0,019)	7,938 (0,018)	177,69 (0,000)

Obs: \*\*\* Significância a 1%; \*\* Significância a 5%; \*Significância a 10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio da Tabela 18, é possível identificar que, com base nos modelos de regressão aplicados, não há relação significativa entre subsídio e eficiência técnica, ou seja, o subsídio não é um determinante da eficiência técnica. A variável população apresentou-se significativa em relação à determinação da eficiência técnica, com um nível de significância de 1%. Esse achado vem de encontro às análises realizadas com a aplicação do modelo DEA apresentadas neste capítulo, em que se verifica que os maiores índices de eficiência são identificados nos sistemas de transporte metroferroviário, que se encontram nos grandes centros urbanos do país.

Evidenciados os resultados das regressões por meio da eficiência técnica, foram estimadas as regressões tendo como referência as eficiências mensuradas na seção 5.2.2.

A Tabela 19 traz o resultado das regressões considerando a eficiência combinada.

Assim como identificado na análise da eficiência técnica, com base nos modelos aplicados, não há uma relação significativa entre subsídio e eficiência combinada para as empresas metroferroviárias da amostra. A variável população (*Pop<sub>it</sub>*) apresentou relação positiva e significativa com os índices de eficiência, indicando que regiões com maior

população tendem a mostrar um índice de eficiência maior. Já a variável Pib per capita ( $Pib_{it}$ ) apresentou-se com sinal negativo, indicando uma relação inversa entre a variável e a eficiência combinada, com nível de significância de 1%.

Tabela 19 – Resultado dos modelos de regressão para eficiência combinada

Variável	Modelo I - Tobit I	Modelo II Tobit II	Modelo III MQO	Modelo IV - Logit
	Estimativas	Estimativas	Estimativas	Estimativas
$Sub_{it}$	3.17E-06	-	3.17E-06	-2,18E-06
$Subdummy_{it}$	-	-2,191	-	-
$Pop_{it}$	1.72E-06***	1,75E-06***	1.72E-06***	3,90E-07**
$Pib_{it}$	-0.000698***	-0,000684***	-0.000698***	-8,63E-05
C	109.588***	110,775***	109.588***	1,139
<b>Estatísticas da regressão</b>				
R <sup>2</sup> ajustado	-	-	0,476	0,216
Jarque-Bera resíduos (p-valor)	5,732 (0,056)	9,200 (0,010)	5,732 (0,056)	6,946 (0,031)

Obs: \*\*\* Significância a 1%; \*\* Significância a 5%; \*Significância a 10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 20, encontram-se evidenciados os resultados das regressões por meio da eficiência econômica.

Tabela 20 – Resultado dos modelos de regressão para eficiência econômica

Variável	Modelo I - Tobit I	Modelo II Tobit II	Modelo III MQO	Modelo IV - Logit
	Estimativas	Estimativas	Estimativas	Estimativas
$Sub_{it}$	-1,77E-05***	-	-1,77E-05***	-3,52E-06**
$Subdummy_{it}$	-	-9,281358***	-	-
$Pop_{it}$	2,52E-06***	1,74E-06***	2,52E-06***	4,87E-07**
$Pib_{it}$	-0,000760***	-0,000744***	-0,000760***	-0,000187*
C	115,564***	121,362***	115,564***	5,724
<b>Estatísticas da regressão</b>				
R <sup>2</sup> ajustado	-	-	0,728	0,248
Jarque-Bera resíduos (p-valor)	10,520 (0,005)	24,240 (0,000)	10,52 (0,005)	43,76 (0,000)

Obs: \*\*\* Significância a 1%; \*\* Significância a 5%; \*Significância a 10%

Fonte: Elaborado pela autora.

Como se verifica na Tabela 20, os sinais das variáveis se mantiveram constantes em todas as estimações. Para as estimações dos modelos I, II, III, todas as variáveis mostraram-se significativas a 1% de significância. Os valores do p-valor para a estatística Jarque-Bera são inferiores a 5%, demonstrando que os resíduos não possuem distribuição normal, o que viola

uma das hipóteses dos modelos de regressão, porém, esse resultado é comum quando se analisa dados resultantes dos níveis de eficiência do DEA como variável dependente.

O financiamento do custeio das operações de transporte por meio de subsídio, tendo a variável subsídio como proxy, apresentou relação negativa com as eficiências econômicas apuradas em todos os modelos, o que revela que o aumento do subsídio governamental, tende a gerar uma redução na eficiência econômica das empresas. A variável subsídio se apresentou significativa a 1% nos modelos I, II, III e a 5% no modelo IV.

Ao analisar o resultado dessa estimação, é relevante considerar a relação existente entre subsídio e receita tarifária, esta última utilizada como variável de produção para medir a eficiência econômica. Conforme Holmgren (2018), a forma como a produção é medida é de grande importância para os resultados dos estudos de eficiência. O preço das tarifas e o nível de serviço do transporte são decisões estratégicas que impactam na demanda e no nível de dependência de subsídio do transporte público. A relação negativa entre subsídio e eficiência, com a utilização de receita tarifária como medida de produção se alinha aos achados do estudo de Mallikarjun, Lewis e Sexton (2014), sendo que os autores inferem que a relação negativa entre subsídios e eficiência sugerem que os subsídios aos sistemas de trens urbanos estão associados a maiores gastos e menores receitas de tarifas. Com isso, pode-se inferir que a escolha pública de subsidiar o transporte metroferroviário brasileiro gera ineficiência no modelo atual, o que sugere que esta não foi acompanhada de uma política de estímulos a eficiência.

As variáveis população ( $Pop_{it}$ ) e Pib per capita ( $Pib_{it}$ ) mantiveram os sinais apresentados na estimação anterior.

## 6 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar se a eficiência das empresas do sistema metroferroviário brasileiro é função do modelo de financiamento, tendo como tese que o subsídio é um determinante do nível de eficiência do setor metroferroviário brasileiro e que essa relação é inversa, ou seja, quanto maior o nível de subsídio menor é o nível de eficiência.

Tal objetivo foi atingido e o que se verificou foi que o índice de eficiência econômica é determinado, entre outros elementos, pelo nível de subsídio. Ou seja, o modelo de regressão empregado (modelo Tobit) gerou parâmetros significativos que revelam que os subsídios estão associados a maiores gastos e menores receitas de tarifas. Dessa forma, confirma-se a tese proposta, de que o subsídio é um determinante da eficiência.

Contudo, no decorrer da análise, dois aspectos destacaram-se. O primeiro foi o fato de que não se observou a existência de relação significativa entre subsídio e índices de eficiência técnica. Com a base metodológica empregada, verificou-se que a eficiência técnica está associada basicamente ao porte, ou seja, as empresas de grande porte apresentam eficiências superiores às demais, sendo que o nível de subsídio não foi significativo para explicar o índice. Uma possível explicação para isso é que, embora as empresas operem em estruturas e tecnologias diferentes, do ponto de vista técnico, a operação do transporte metroferroviário ocorre de forma muito semelhante. Dentre as variáveis de insumo, a energia elétrica se destaca por ter o maior potencial de melhoria para redução de insumos.

O segundo aspecto a sublinhar diz respeito à constatação de que, quando se mediu a eficiência considerando variáveis técnicas e econômicas de forma conjunta, como sugerido por alguns autores, tais como Kuttlar, Kabasakal e Sarakaya (2013), também não se identificou significância estatística para os subsídios como determinantes dos índices de eficiência. Ao se verificar que as variações significativas de eficiência desta aplicação, em relação ao modelo de eficiência econômica, ocorreram apenas nas empresas de grande porte, conclui-se que aspectos específicos das empresas foram determinantes nos resultados apurados.

Para que fosse atingido o objetivo geral deste trabalho, foram definidos três objetivos específicos. O primeiro foi o de determinar a eficiência das empresas e, a partir disso, foi possível constatar que, do ponto de vista técnico, não há uma grande dispersão dos índices de eficiência. Na média, os índices concentram-se em níveis superiores a 90%, com isso, pode-se concluir que tecnicamente as empresas operam em padrões muito próximos, dadas as características comuns de operação do transporte metroferroviário. Assim, não são afetadas de forma relevante pelo modelo de financiamento ao qual estão submetidas. Além disso, os

resultados mostraram uma maior consistência dos índices de eficiência, quando o produto se direciona para oferta dos serviços de transporte.

Já do ponto de vista econômico, pode-se verificar que a linearidade existente nos aspectos técnicos não se traduz em termos de custos e receitas, pois há uma dispersão nos índices de eficiência econômica, estando distribuídos em níveis que variam de 50% a 100%. Com isso, não foi possível identificar um padrão para os resultados, o que faz com que esses índices possam ser mais sensíveis às peculiaridades de cada empresa, devendo ser considerado também o fato de a maioria das empresas possuir significativos níveis de dependência de subsídios.

Tendo em vista o segundo objetivo específico, ao serem analisados os efeitos de escala, assinala-se o predomínio de retornos crescentes, evidenciando que as empresas operam abaixo da sua capacidade ótima. Exceções a essa situação são o Metrô SP e a CPTM, que concentram mais da metade do número de passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro. Sendo assim, pode-se afirmar que as empresas não se beneficiam dos ganhos de escala, o que contribui para o baixo nível de cobertura dos custos operacionais por receita tarifária, confirmando-se, portanto, a primeira hipótese da pesquisa.

Por último, atendendo ao definido no terceiro objetivo específico, buscou-se identificar a relação entre índices de eficiência e níveis de subsídio das empresas. Os resultados das estimações permitem afirmar que o subsídio é um determinante dos índices de eficiência, pois se apresentou estatisticamente significativa no que tange à eficiência econômica, sendo capaz de causar um efeito na distribuição dos níveis da eficiência, confirmando, dessa forma, a segunda hipótese da pesquisa.

Ao considerar o conjunto de resultados obtidos nesta pesquisa, a partir dos quais identificou-se que a maioria das empresas não possui receita tarifária suficiente para cobrir seus custos operacionais, que tecnicamente as empresas operam em níveis de eficiência muito próximos, que a prestação dos serviços está voltada para o lado da oferta e que predominam retornos crescentes de escala, pode-se inferir, em um primeiro momento, que a escolha pública realizada para financiar o transporte metroferroviário brasileiro esta direcionada a aspectos de bem-estar social, em detrimento de aspectos econômicos. Nesse sentido, tarifas reduzidas e economias de escala são consideradas as principais justificativas para a destinação de subsídios às empresas de transporte. Posto isso, ao se constatar que as empresas não se beneficiam de ganhos de escala, pode-se afirmar que a escolha pública de subsidiar o transporte metroferroviário conduz a um melhor uso da capacidades instalada, mas não ao esgotamento desses ganhos. Assim, embora subsidiar o transporte decorra de um escolha pública evidenciada

em vários sistemas de transporte no mundo, para que esta escolha seja efetiva, ela não deve gerar ineficiência.

Ao se identificar uma relação inversa entre eficiência econômica e subsídio, pressupõe-se que a escolha pública de utilizar o subsídio ao transporte como mecanismo de acesso a ele pela população não foi acompanhada de uma política de estímulos a eficiência, o que compromete cada vez mais os orçamentos públicos. Tal fato pode ser reflexo da ausência de instrumentos públicos que estimulem as empresas subsidiadas a buscarem melhores níveis de eficiência, tornando-se ainda mais relevante quando se considera que há um elevado custo social de se estabelecer uma tarifa que cubra os custos operacionais das empresas metroferroviárias.

Por fim, considerando que os resultados aqui encontrados possibilitaram identificar os níveis de eficiência com que as empresas metroferroviárias brasileiras operam e observar que há uma dispersão significativa desses níveis, mostra-se relevante avançar na pesquisa através de estudos qualitativos, por meio de estudo de caso, para compreender como estabelecer processos de gestão que permitam às empresas mencionadas neste estudo, com menores níveis de eficiência, progredir em termos de eficácia, produtividade e eficiência. Nesse contexto, é importante entender em que aspectos são possíveis melhorias de escala, tarifas, estruturas, dependência de subsídio e demais elementos que afetam o sistema de transporte metroferroviário.

## REFERÊNCIAS

- ARCIER, B. F. Measuring the performance of urban public transport in relation to public policy objectives. **Research in Transportation Economics**. v. 48, p. 67-76, 2014.
- ASENSIO, J.; MATAS, A.; RAYMOND, Jose-Luis. Redistributive effects of subsidies to urban public transport in Spain. **Transport Reviews**, v. 23, n.4, p. 433-452, 2003.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS (ANPTRILHOS). **Balanco do Setor Metroferroviário 2016/2017** [BRASILIA, DF]: ANPTRILHOS, 2017. Disponível em: <https://www.anptrilhos.org.br/wp-content/uploads/2017/04/balanco-1617.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS (ANPTRILHOS). **Balanco do Setor Metroferroviário 1º trimestre 2020**. [BRASILIA, DF]: ANPTRILHOS, 2020. Disponível em: <https://anptrilhos.org.br/wp-content/uploads/2020/05/anptrilhos-balanco-1tri2020.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). **Relatório 2016 – Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP**. [São Paulo, SP]: ANTP, 2018. Disponível em: <http://www.antp.org.br/sistema-de-informacoes-da-mobilidade/apresentacao.html>. Acesso em: 17 set. 2018.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos – Simob/ANTP**. [São Paulo, SP]: ANTP, 2020. <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacao-de-mobilidade-urbana-da-antp--2017.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- BESANKO, D.; BRAEUTIGAM, R. R. **Microeconomia uma abordagem completa**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- BUCHANAN, J.M; TULLOCK, G. **The Calculus of Consent: Logical Foundations of Constitutional Democracy**. 1962. Disponível em: [http://files.libertyfund.org/files/1063/Buchanan\\_0102-03\\_EBk\\_v6.0.pdf](http://files.libertyfund.org/files/1063/Buchanan_0102-03_EBk_v6.0.pdf). Acesso em: 01/08/2018.
- BUEHLER, R.; PUCHER, J. Making public transport financially sustainable. **Transport Policy**, v.18, n. 1, p. 126-138, 2011.
- BRUECKNER, J. K. Transport subsidies, system choice, and urban sprawl. **Regional Science and Urban Economics**, v. 35, p. 715-733, 2005.
- BUTLER, E. **Escolha Pública**. Institute of Economic Affairs, London in, 2012. Disponível em: [https://iea.org.uk/wpcontent/uploads/2016/07/Public\\_Choice\\_Primer\\_PT.pdf](https://iea.org.uk/wpcontent/uploads/2016/07/Public_Choice_Primer_PT.pdf). Acesso em: 01/10/2018
- CADENA, P. C. B. *et al.* Social and Distributional Effects of Public Transport Fares and Subsidy Policies: Case of Madrid, Spain. **Transportation Research Board, Washington, D.C**, p. 47-54, 2016.

- CARVALHO, C. H. R. de et al. **Tarifação e financiamento do transporte público urbano**. Nota Técnica n. 2. Brasília: Ipea, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1365>. Acesso em: 20 dez. 2017
- CARVALHO, C. H. R. de; PEREIRA, R. H. M. **Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1282/1/TD\\_1595.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1282/1/TD_1595.pdf) Acesso em: 20 dez. 2017
- CARVALHO, C. H. R. de; **Aspectos regulatórios e conceituais das políticas tarifárias dos sistemas de transporte público urbano do Brasil**. Brasília: Ipea, 2016. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6635/1/td\\_2192.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6635/1/td_2192.pdf) Acesso em: 20 dez. 2017
- CARVALHO, C. H. R. de; **Desafios da mobilidade urbana do Brasil**. Brasília: Ipea, 2016. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6664/1/td\\_2198.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6664/1/td_2198.pdf) Acesso em: 20 dez. 2017
- CATALANO, G. *et al.* Efficiency, effectiveness, and impacts assessment in the rail transport sector: a state-of-the-art analysis of current research. **International Transactions in Operational Research**, v. 26. p. 5–40, 2019.
- CATS, O.; SUSILO, Y. O.; REIMAL, T. The prospects of fare-free public transport: evidence from Tallinn. **Transportation**. v.44, p.1083-1104, 2017.
- CAVAIGNAC, L.; PETIOT, R.; A quarter century of Data Envelopment Analysis applied to the transport sector: A bibliometric analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**. v. 57, p. 84-96, 2017.
- CHARNES, A.; CLARK, C. T.; COOPER, W. W.; GOLANY, B. Developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the US Air Forces. **Annals of Operations Research**, v.2, p. 95-112, 1984.
- COSTA, G. P. C. L. *et al.* As escolhas públicas orçamentárias federais no PPA 2008-2011: uma análise da perspectiva do modelo principal-agente. **Rev. Adm.Pública** v.47, n. 5, p. 1089-116, 2013.
- DAMASCENO, N. O ponto de equilíbrio das concessões. **Revista Ferroviária**. São Paulo, ano 82, p. 36-44, 2021.
- DARAIO, C. *et al.* Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector: A critical review with directions for future research. **European Journal of Operational Research**, v. 248, p.1–20, 2016.
- DIAS, M. A. James Buchanan e a “Política” na escolha pública. **Ponto e Vírgula**, v. 6, p. 201-217, 2009.
- EATON, B. C.; EATON, D. F. **Microeconomia**. São Paulo: Saraiva, 1999.
- FARRELL, M. J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series A (General), 120, p. 253-290, 1957.

- FEI, S. Parking versus public transport subsidies: case study of Nanjing, China. **Transportation Letters**, v.8, n.2, p. 90-97, 2016.
- FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. G. **Introdução à análise envoltória de dados**. Teoria, Modelos e Aplicações. 1. ed. Viçosa, MG: Editoria UFV, 2009.
- FIIRST, *et al.* A influência dos índices socioeconômicos e contábeis no nível de Transparência Eletrônica dos Estados Brasileiros sob a ótica da Teoria da Escolha Pública. **Administração Pública e Gestão Social**, v.10, n.4, out.- dez., p. 272-281, 2018.
- FITZOVÁ, H.; MATULOVÁ, M.; TOMES, Z. Determinants of urban public transport efficiency: case study of the Czech Republic. **European Transport Research Review** 10:42, 2018
- FRANK, R. H. (2013). **Microeconomia do comportamento**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- GRAHAM D.J. Productivity and efficiency in urban railways: parametric and non-parametric estimates. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v.44, p. 84-99, 2008.
- GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- GUZMAN, L. A.; OVIEDO, D.; Accessibility, affordability and equity: Assessing ‘pro-poor’ public transport subsidies in Bogotá. **Transport Policy**, v. 68, p. 37–51, 2018.
- HOLMGREN, J. A strategy for increased public transport usage e the effects of implementing a welfare maximizing policy. **Research in Transportation Economics**. v. 48. p. 221-226, 2014.
- HOLMGREN, J. The effects of using different output measures in efficiency analysis of public transport operations. **Research in Transportation Business & Management**. v. 28. p. 12-22, 2018.
- JARBOUI, S.; FORGET, P.; BOUJELBENE, Y. Public road transport efficiency: a literature review via the classification scheme. **Public Transp.**, v.4, p. 101-128, 2012.
- JEHLE, G. A.; RENY, P. J. **Advanced Microeconomic Theory**. 2. ed. New York: Addison Wesley, 2000.
- KARLAFTIS M. G. A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. **European Journal of Operational Research**. v.152, n.2, p. 354-364. 2004.
- KIGGUNDU, Amin T. Financing public transport systems in Kuala Lumpur, Malaysia: challenges and prospects. **Transportation**, v.36, p.275–294, 2009.
- KOSHAL, R. K.; KOSHAL, M. (1995). Quality and economies of scale in higher education. **Applied Economics**, v.27, n.8, 773-778, 1995.
- KUTLAR, A.; KABASAKAL, A; SARIKAYA, M. Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis, **Quality & Quantity**, v.47, n.6, p.3575-3602, 2013.

MADDALA, G. **Introdução à Econometria**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MALLIKARJUN, S.; LEWIS, H. F.; SEXTON, T. R. Operational performance of U.S. public rail transit and implications for public policy. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 48, p. 74 - 88, 2014.

MARIANO, E. B., ALMEIDA, M. R. A., REBELATO, D. A. N. Peculiaridades da análise envoltória de dados. In: XII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP, 2006, Bauru – SP.

MARKOVITS-SOMOGYI, R.; Measuring efficiency in transport: the state of the art of applying data envelopment analysis. **Transport**. v.26, p. 1119, 2011.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; Green, J. R. **Microeconomic theory**. New York: Oxford University Press, 1995.

MERKERT, R., HENSHER, D.A.: The impact of strategic management and fleet planning on airline efficiency: a random effects tobit model based on dea efficiency scores. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**. v.45, n.7, p.686-695, 2011.

MONTAÑEZ, M. R. Financing public transport: a spatial model based on city size. **European Journal of Management and Business Economics**. v. 26, n. 1, p. 112-122, 2017.

MOUWEN, A.; OMMEREN, J. The effect of contract renewal and competitive tendering on public transport costs, subsidies and ridership. **Transportation Research Part A**, v. 87, p. 78-89, 2016.

NASHAND, A.S.J.; NASH, C.A.: Benchmarking of train operating firms: a transaction cost efficiency analysis. **Transp. Plan. Technol**, v.33, n.1, p.35-53, 2010.

NICHOLSON, W.; SNYDER, C. **Teoria Microeconômica: princípios e aplicações**. 12 ed. São Paulo: Cengage, 2018.

OUM, T. H.; YU, C.; Economic efficiency of railways and implications for public policy: a comparative study of the OECD countries' railways. **Journal of Transport Economics and Policy**. v.28, p. 121-138, 1994.

PARRY, I.W.H.; SMALL, K. A. Should urban transit subsidies be reduced? **American Economic Review**. v. 99. n. 3. p. 700-724, 2009.

PEREIRA, Paulo Trigo. A teoria da escolha pública (public choice): uma abordagem neoliberal? **Análise Social**, Lisboa, v. XXXII, n. 141, p. 419-442, 1997.

PEZERICO, L. A. M. **Sistema de Avaliação de Desempenho no Transporte Urbano: Uma abordagem para o setor metroferroviário**. (2002). Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2002.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Econometria: modelos e previsões**. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

PINDYCK, R. S., RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 8. ed. São Paulo: Makron Books, 2014.

POLIAK, M.; SEMANOVÁ, Š.; MRNÍKOVÁ, M.; Financing Public Transport Services From Public Funds. **Transport Problems**. v.12, 2017.

POLIAK *et al.* The Competitiveness of Public Transport. **Journal of Competitiveness**. v. 9, p. 81 - 97, 2017.

RYBÁČEK, V. The Public Sector in the Czech Republic in Light of the Public Choice Theory. **Statistika**, v.96, n.2, 2016.

SCHNEIDER, M.; DAMANPOUR, F. Determinants Of Public Pension Plan Investment Return. The role of fund value maximization and public choice theory. **Public Management Review**, v.3, n.4, p. 551-573, 2001.

SCHWANKA, C. **A sociedade de economia mista na organização administrativa do estado contemporâneo: conveniência, gestão e tendências disfuncionais**. 2014. Tese (Doutorado em Direito) - Programa de Pós-Graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2014.

ŠEVROVIĆ, M.; BRČIĆ, D.; KOS, G. Transportation Costs and Subsidy Distribution Model for Urban and Suburban Public Passenger Transport. **Traffic & Transportation**, v.27, n. 1, p. 23-33, 2015.

SOUZA, M. T. James Buchanan e a construção do consenso social. **Perspectivas**, São Paulo, 19 11 p. 32, 1996.

SOUZA, J. C. F.; SOUSA, M. C. S.; Tannuri-Pianto, M. E. Modelos não paramétricos robustos de gestão eficiente de agências bancárias: o caso do Banco do Brasil. **Revista EconomiA**, v.9, n.3, p. 601-623, 2008.

SUGUIY, T.; **Eficiência versus satisfação no transporte público. Um estudo das práticas nas cidades brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica ). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

TOMANEK, R. Free-Fare Public Transport in the Concept of Sustainable Urban Mobility. **Transport Problems**. v.12, Special Edition, 2017.

TSAI, Chi-Hong (Patrick), MULLEY, C.; MERKERT, R. Measuring the Cost Efficiency of Urban Rail Systems An International Comparison Using DEA and Tobit Models. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.49, p. 17–34, 2015.

TU, Q.; WENG, Jian-Cheng; YUAN, Rong-Liang. Impact Analysis of Public Transport Fare Adjustment on Travel Mode Choice for Travelers in Beijing. **16th COTA International Conference of Transportation – CICTP**, 2016.

VARIAN, H. R. **Microeconomic Analysis**. 3. ed. New York: Norton & Company, 1992.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: uma abordagem moderna**. 9 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2015.

WILSON, J. H. A note on scale economies in the savings and loan industry. **Business Economics**, p. 45-49, 1981.

XU, P.; WANG, W.; WEI, C. Economic and Environmental Effects of Public Transport Subsidy Policies: a Spatial CGE Model of Beijing. **Hindawi Mathematical Problems in Engineering**, p.12, 2018.

XUE, *et al.* Quantifying a Financially Sustainable Strategy of Public Transport: Private Capital Investment Considering Passenger Value. **Sustainability**, v.9, p.269, 2017.

YU, Ming-Miin. Assessing the technical efficiency, service effectiveness, and technical effectiveness of the world's railways through NDEA analysis. *Transportation Research Part A*, v. 42, 1283–1294, 2008.