



## REVISTA AMBIENTE CONTÁBIL

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

ISSN 2176-9036

Vol. 14, n. 1, Jan./Jun., 2022

Sítios: <http://www.periodicos.ufrn.br/ambiente>

<http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-06/index.php/Ambiente>

Artigo recebido em: 01.04.2021. Revisado por pares em: 20.04.2021. Reformulado em: 13.05.2021. Avaliado pelo sistema double blind review.

DOI: 10.21680/2176-9036.2022v14n1ID24643

### **Eficiência do sistema de transporte metroferroviário brasileiro: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados**

### **The efficiency of the Brazilian railway system: an application of Data Envelopment Analysis**

### **Eficiencia del sistema de transporte metro-ferroviario brasileño: una aplicación del Análisis Envoltente de Datos**

#### **Autores**

##### **Maria Cecilia da Silva Brum**

Doutoranda em Ciências Contábeis na Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS), Brasil. Endereço: Av. Dr. Nilo Peçanha, 1600, Boa Vista, Porto Alegre - RS, Brasil. (51) 3591-1122. Identificadores (ID):

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7222-7381>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7455667713175699>

E-mail: [mceciliabrum@hotmail.com](mailto:mceciliabrum@hotmail.com)

##### **Tiago Wickstrom Alves**

Doutor em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Endereço: Av. Dr. Nilo Peçanha, 1600, Boa Vista, Porto Alegre - RS, Brasil. (51) 3591-1122. Identificadores (ID):

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2813-1550>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2532605739636568>

E-mail: [twa@unisinis.br](mailto:twa@unisinis.br)

#### **Resumo**

**Objetivo:** Analisar a eficiência técnica das empresas metroferroviárias brasileiras.

**Metodologia:** Foi analisada a eficiência técnica das empresas metroferroviárias brasileiras por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), com suporte na Análise de Janelas e considerando o modelo de retornos variáveis. O estudo contemplou um período de cinco anos, para oito empresas que totalizam 90% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário. Como variáveis foram utilizados os principais insumos e produtos do transporte metroferroviário referenciados na literatura internacional.

**Resultados:** São tecnicamente eficientes apenas as empresas metroferroviárias classificadas como de grande porte e dentre estas somente o Metrô SP se manteve eficiente em todos os anos analisados. As empresas de médio porte apresentaram-se ineficientes em todos os anos da

amostra, sendo identificada a necessidade de redução média de 19% nos insumos para que estas se tornem tecnicamente eficientes. A inclusão de variável financeira como insumo não teve reflexo significativo nos índices de eficiência apurados. O estudo revela que prepondera no sistema de transporte metroferroviário brasileiro retornos crescentes de escala.

**Contribuições do Estudo:** O estudo identifica melhorias potenciais para as empresas consideradas ineficientes e revela que estas são empresas públicas de médio porte, com altos níveis de financiamento dos seus custos por meio de recursos governamentais, servindo este estudo de referência para ampliar a pesquisa sobre o tema, dada a relevância de se identificar o efeito do custeio das operações do transporte por meio de recursos governamentais sobre a eficiência das empresas. Nessa esteira, ao identificar que prepondera no sistema de transporte metroferroviário brasileiro retornos crescentes de escala, este estudo contribui para a análise de políticas públicas vinculadas ao acesso da população a este transporte, uma vez que retornos crescentes sugerem que o aumento da produção, que tem como principal variável o número de passageiros transportados, pode gerar benefícios quanto à eficiência das empresas.

**Palavras-chave:** eficiência, transporte metroferroviário, DEA.

#### Abstract

**Purpose:** To analyze the technical efficiency of Brazilian railway companies.

**Methodology:** The technical efficiency of Brazilian railway companies was analyzed through Data Envelopment Analysis (DEA), using the window analysis approach, and considering the Variable Returns of Scale model. The study examined eight companies during a five-year period, which totalizes 90% of the railway passengers in that timespan. The main inputs and outputs of railway systems referred in the international literature were used as variables.

**Results:** Only railway companies classified as large can be considered technically efficient. Among them, São Paulo's metro system was the only one that remained efficient throughout the years analyzed. Medium-sized companies were inefficient in all years of the sample, showing the necessity to reduce their inputs by an average of 19% in order to become technically efficient. The inclusion of financial variable as an input did not significantly change the efficiency indexes assessed. The study reveals the prevalence of increasing returns to scale in the Brazilian railway system.

**Contributions of the Study:** This study identifies potential improvements for the companies considered inefficient and reveals they are medium-sized and state-owned, with high-cost financing from government resources. It is also a benchmark for further research on the topic, given the importance of identifying the effect of funding transport operations with government resources on companies' efficiency. In this context, considering this study identifies the prevalence of increasing returns to scale in the Brazilian railway system, it contributes to the analysis of public policies associated with population access to this means of transportation, as constant returns to scale suggests that production increase, which has the number of carried passengers as the main variable, can generate benefits for the companies in terms of efficiency.

**Keywords:** efficiency, railway transport, DEA.

## Resumen

**Objetivo:** Analizar la eficiencia técnica de las empresas de metro en Brasil.

**Metodología:** La eficiencia técnica de las empresas de transporte metro-ferroviario en Brasil fue analizada a través del Análisis Envolvente de Datos (DEA), apoyado por el Análisis de Ventana y considerando el modelo de retornos variables. El estudio abarcó un período de cinco años, para ocho empresas que representan el 90% de los pasajeros transportados en el sistema metro-ferroviario. Como variables se utilizaron los principales insumos y productos del transporte metro-ferroviario referenciados en la literatura internacional.

**Resultados:** Solo las empresas de metro clasificadas como grandes son técnicamente eficientes y, entre ellas, solo Metrô SP se ha mantenido eficiente en todos los años analizados. Las empresas medianas resultaron ineficientes en todos los años de la muestra, con la necesidad de una reducción promedio del 19% en los insumos para ser técnicamente eficientes. La inclusión de variables financieras como input no tuvo un impacto significativo en los índices de eficiencia calculados. El estudio revela que prevalecen rendimientos crecientes a escala en el sistema de transporte metro-ferroviario brasileño.

**Contribuciones del Estudio:** El estudio identifica posibles mejoras para las empresas consideradas ineficientes y revela que son empresas públicas de tamaño mediano, con altos niveles de financiamiento de sus costos a través de recursos gubernamentales, sirviendo este estudio de referencia para ampliar la investigación sobre el tema, dada la relevancia de identificar el efecto de costear las operaciones de transporte a través de recursos gubernamentales sobre la eficiencia de las empresas. En esta línea, al identificar que el sistema de transporte metro-ferroviario brasileño es predominante en los rendimientos crecientes a escala, este estudio contribuye al análisis de las políticas públicas vinculadas al acceso de la población a este transporte, ya que los rendimientos crecientes sugieren que el aumento de la producción, que tiene como variable principal el número de pasajeros transportados, puede generar beneficios en cuanto a la eficiencia de las empresas.

**Palabras clave:** eficiencia, transporte metro-ferroviario, DEA.

## 1 Introdução

A relevância do transporte público vai muito além da necessidade de as cidades possuírem redes de transporte público que qualifiquem a estrutura da mobilidade urbana, sendo igualmente importante a definição do modelo de financiamento do sistema de transporte. (Montañez, 2017). Em geral, as receitas tarifárias do transporte público se destinam à cobertura de seus custos operacionais e, na medida em que estas receitas não são suficientes, há a necessidade de subsídios à operação de transporte, sendo esta, a realidade da maioria das cidades no mundo. (Asensio, Matas, & Raymond, 2003; Kiggundu, 2009).

No entanto, embora reconhecida a importância do subsídio como fonte de financiamento do sistema de transporte, este concorre com outras demandas de subsídio em serviços essenciais, como educação e saúde. (Poliak, Senanová, & Mrníková, 2017). No que se refere aos benefícios decorrentes do transporte metroferroviário, pode-se agrupá-los em sociais, como inclusão da população de baixa renda, redução de acidentes etc., e ambientais, como redução da poluição, dos engarrafamentos, entre outros. Para exemplificar, o transporte metroviário no Brasil evita a entrada de mais de 1,1 milhão de carros e mais de 16.000 ônibus nos centros

urbanos diariamente. Em comparação com o transporte por ônibus, este transporta, em termos de passageiros, 6,7 mil passageiros/hora/sentido enquanto o transporte sobre trilhos possui uma relação de 60 mil passageiros/hora/sentido. (Associação Nacional de Transportes de Passageiros sobre Trilhos [ANPTrilhos], 2017).

Em termos de financiamento dos custos operacionais dos sistemas de transporte público por ônibus no Brasil, eles são financiados predominantemente por meio de receita tarifária (Vasconcellos, Carvalho, & Pereira, 2011) e, com isso, a variação dos custos operacionais do transporte público é absorvida integralmente pelos usuários pagantes deste transporte. Já nos sistemas de transporte sobre trilhos, há níveis significativos de financiamento por meio de recursos públicos (Brinco, 2012), porém financiar o transporte público é um desafio enfrentado por grandes cidades em todo mundo (Kiggundu, 2009).

Em sistemas financiados pela receita tarifária, quanto maiores os custos, maior deverá ser o valor financiado pelo usuário de forma direta, ao passo que, em sistema de financiamento por meio de recursos públicos, quanto maiores os custos, maior será a necessidade de aporte de recursos públicos (Carvalho, & Pereira, 2011). Com isso, sistemas de transportes ineficientes podem gerar cobrança de tarifas elevadas, limitando o acesso ao transporte, principalmente da população de baixa renda, bem como, comprometer indevidamente os orçamentos públicos. (Ševrović, Brčić, & Kos, 2015).

Nesse contexto, é possível perceber a importância da eficiência técnica e econômica no transporte metroferroviário, uma vez que empresas com desempenhos insatisfatórios tendem a transferir o custo desta ineficiência para os usuários pagantes do transporte ou para o governo, na medida que a receita tarifária não é suficiente para cobrir os custos operacionais. A eficiência do transporte metroviário se torna ainda mais relevante no contexto brasileiro por competir por recursos públicos em um país em constante crise fiscal, onde existem outras demandas fundamentais ainda não atendidas, como nas áreas da saúde, educação e segurança, entre outras, exigindo que o governo faça cada vez mais com menos (Alonso, 1999).

Diante da relevância do sistema de transporte metroviário, da restrição de recursos públicos e da necessidade de subsídios deste modal, este estudo tem como objetivo analisar a eficiência técnica das empresas metroferroviárias brasileiras. Como metodologia para responder ao objetivo proposto foi empregada a Análise Envoltória de Dados (DEA), com suporte na Análise de Janelas.

As análises realizadas, que consideraram empresas metroferroviárias brasileiras com diferentes níveis de financiamento por receita tarifária, geraram informações de potenciais melhorias para o setor que contribuem para o enriquecimento das discussões sobre políticas públicas voltadas ao transporte urbano, em especial, sobre a eficiência e seus reflexos no financiamento do transporte público.

Este artigo está dividido em mais quatro seções. A segunda seção apresenta o referencial teórico. Na terceira seção apresenta-se a metodologia empregada e, por fim, discutem-se os resultados e as conclusões oriundas da pesquisa.

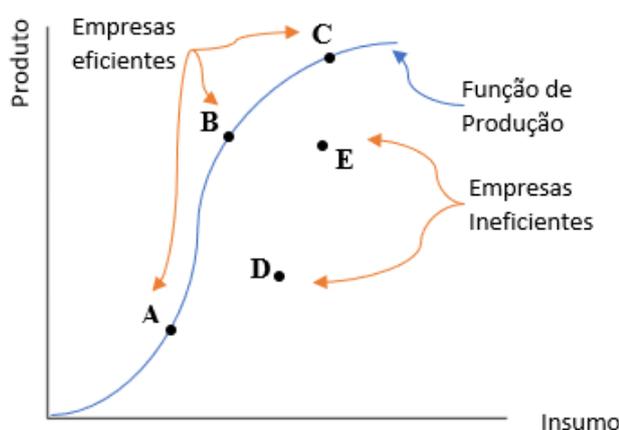
## 2 Referencial teórico

Essa seção discute a questão teórica associada à eficiência com base na Análise Envoltória de Dados e faz uma síntese dos estudos empíricos relacionados à avaliação de eficiência no transporte metroferroviário como forma de construir a base teórica e estabelecer as variáveis de análise.

## 2.1 Eficiência Técnica

O conceito de eficiência pode assumir significados diferentes dependendo da área e do objeto de estudo, como: i) eficiência econômica, ii) eficiência alocativa, iii) eficiência técnica e iv) eficiência de escala, (Gomes, Oliveira, & Matias, 2017; Mariano, 2007).

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, onde 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 Figura 1.



**Figura 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 ( $\tau$ ). Na Figura 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).

Exemplificando, com base na Figura 1, se os rendimentos fossem constantes, a função de produção seria representada por uma reta que parte da origem e tangenciaria a função de produção na empresa B de forma que teria apenas uma empresa eficiente (Souza, Souza, & Pessanha, 2010; Peña, 2008).

Na Análise Envoltória de Dados (DEA), as informações de eficiência são relativas, isso é, não há uma função de produção definida de forma absoluta, sendo consideradas 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). Na DEA, é possível determinar a eficiência técnica das empresas ou de suas unidades, 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 e, com isso, identificar economias de insumos ou aumento de produção possíveis.

Além disso, a DEA é um modelo não paramétrico, não utilizando, portanto, estatísticas de tendências centrais e variâncias populacionais. (Ferreira, & Gomes, 2009) e pode ser empregada 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 estas serem quantitativas ou qualitativas. (Cavaignac, & Petiot, 2017; Sampaio, Lima, & Sampaio, 2008; Markovits-Somogyi, 2011; Suguivy, 2017).

A DEA origina-se em 1957 com Farrell (1957) e tem uma evolução significativa em 1978 com Charnes, Cooper e Rhodes na 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 (*Constant Returns to Scale* - CRS), pois considera somente rendimentos constantes como mencionado anteriormente. Alguns anos depois, Banker, Charnes e Cooper inseriram na análise os rendimentos variáveis que ficou conhecido como BCC – também em homenagem aos autores (Mariano, Almeida, & Rebelatto, 2006).

No Brasil e na área de contabilidade, uma das primeiras pesquisas foi desenvolvida por Cereta e Niederauer (2001) – artigo este apresentado originalmente no encontro da ANPAD de 2000 e na sequência por Silvia Kassai (Kassai, 2002), tendo tido uma expansão do emprego dessa metodologia a partir deste na Ciências Contábeis.

## 2.2 Análise de eficiência em transportes públicos

No âmbito nacional, foram identificados 105 artigos até o ano de 2020, a partir de pesquisa realizada no sítio do Portal de Periódicos Capes/MEC, considerando como palavra-chave: “análise envoltória de dados”. Destes artigos, apenas sete possuem como temática a área de transportes, sendo que quatro tratam do transporte aéreo, um 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, 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 da DEA na área de transportes, pode ser verificada por meio dos estudos de Markovits-Somogyi (2011), Jarboiu, Forget e Boujelbene (2012) e Cavaignac e Petiot (2017). Markovits-Somogyi (2011) analisou 69 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 analisados. 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 et al. (2012) apresentou uma revisão de literatura sobre a eficiência do transporte rodoviário público por meio de 24 artigos publicados entre 2000 e 2011, tendo como referência a aplicação da DEA e da Análise de Fronteira Estocástica, considerando ser estas 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 refere a necessidade de explicação da ineficiência apurada nos operadores de transporte público,

podendo esta ter origem em várias fontes, como, práticas de trabalho, gerenciamento de operações e investimentos.

Cavaignac e Petiot (2017) realizaram uma revisão sistemática da literatura dos aspectos de eficiência no transporte público que contemplou 461 artigos com aplicação da DEA na área de transportes, identificados nas bases de dados Scopus, Google Scholar e Econlit, e 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 destas questões por meio de aplicação da DEA, sendo notável o crescimento significativo de aplicações da DEA na área de transportes a partir de 2008. O estudo oferece ainda, com base na amostra analisada, informações detalhadas dos 10 artigos mais citados, por modo de transporte. A Tabela 1 identifica as variáveis mais presentes nesses artigos, considerando o modo de transporte ferroviário de passageiros.

**Tabela 1**

*Variáveis mais empregadas em análises com DEA no transporte ferroviário de passageiros*

Tipo	Variáveis	Nº Incidência
Inputs	Nº de empregados	10
	Nº de Veículos	8
	Extensão da Via	6
	Consumo de Energia Elétrica/Combustível	3
Outputs	Passageiros/Km	7
	Carro.Km	5

Fonte: Adaptado de Cavaignac e Petiot (2017).

Dentre os principais estudos com aplicação da DEA no transporte ferroviário citados por Cavaignac e Petiot (2017), destaca-se o estudo de Kutlar, Kabasakal e Sarikaya (2013), que diferente dos demais, incluiu como insumo a variável financeira custos operacionais. O referido estudo apurou por meio da DEA a eficiência de 31 empresas ferroviárias que operam mundialmente, identificando diferentes níveis de eficiência entre as empresas e apontando pouca variação destas ao longo do período analisado, além disso, identificou que o número de passageiros transportados afeta negativamente a eficiência.

Outros estudos na área de transporte, como o de Karlaftis (2004), Sampaio et al. (2008) e Tsai, Mulley e Merkert (2015), também mostram a incidência das variáveis apontadas por Cavaignac e Petiot (2017) na mensuração da eficiência. Dentre estes, destaca-se o estudo de Sampaio *et al.* (2008), que analisou por meio da DEA a eficiência de 19 sistemas de transporte público metropolitanos europeus e brasileiros. A análise de eficiência buscou identificar características que pudessem ajudar na reorganização do sistema da agência da área metropolitana do Recife e teve como contribuição principal a identificação de dois aspectos que contribuem para melhoria da eficiência: participação mais igualitária entre governo e beneficiários, e diversificação da estrutura tarifária.

Karlaftis (2004) avaliou a eficiência e a eficácia de 256 sistemas de trânsito dos EUA, tendo como referência de produto para a eficiência a variável milhas percorridas pelos veículos e como variável de eficácia os passageiros transportados, concluindo pela existência de uma relação positiva entre as variáveis. Por fim, Tsai et al. (2015), avaliaram a eficiência de 20 ferrovias urbanas internacionais de sistemas na Ásia, Austrália, Europa e América do Norte, concluindo que os resultados obtidos por meio da DEA ao longo do período analisado, identificam tendências de desempenho de eficiência e sugerem potenciais estratégias operacionais para melhorar as operações dos sistemas ferroviários urbanos.

Ampliando a análise, a mensuração da eficiência por meio do DEA na área de transporte também é identificada com outros vieses e variáveis como no estudo de Falcão, Camioto, Silva e Camargo (2019), que teve como objetivo comparar a eficiência dos transportes do Brasil com a de outros países do BRICS, G8 e América do Sul, considerando como variáveis o Produto Interno Bruto (PIB), o índice de desenvolvimento humano (IDH), a população, a quilometragem de rodovias, ferrovias e aeródromos. Os resultados do estudo apontam que o Brasil possui o menor nível de eficiência relativa comparado aos países do G8 e da América do Sul, além de uma eficiência mediana no grupo dos BRICS.

### 3 Metodologia da pesquisa

Esta pesquisa é de caráter documental, pois tem como referência dados obtidos por meio de documentos disponibilizados pelas empresas metroferroviárias e órgãos vinculados ao transporte. As principais fontes de informação foram as demonstrações financeiras e os relatórios de gestão publicados nos sítios eletrônicos das empresas e os relatórios disponíveis no sítio eletrônico da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP).

Complementarmente, foram solicitadas informações por meio do canal público de informações das empresas metroferroviárias. O período de análise foi de 2014 a 2018, e a justificava para este se deve ao fato de que o último relatório publicado pela ANTP até o encerramento deste trabalho tem como base o ano de 2018, e a metodologia adotada tem como referência o ano de 2014.

#### 3.1 População e amostra

A população deste estudo compreendeu as empresas metroferroviárias de médio e grande porte que representam 98% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro e que totalizam 11 empresas. Para composição da amostra final foram excluídas as empresas CBTU Recife, CCR Bahia e Via Mobilidade.

A CBTU Recife opera de forma mista utilizando Trens e VLTs, e com isso os dados operacionais não possuem comparabilidade com os demais sistemas. A CCR deu início à operação de suas atividades de forma experimental no ano de 2014 e teve sua operação efetivamente consolidada apenas em 2018, tendo com isso, uma grande variação de custos e receitas no período de análise. A Via Mobilidade passou operar um trecho do Metrô SP por concessão apenas em agosto de 2018.

Desse modo, foram coletadas informações de oito empresas metroferroviárias que representam 90% dos passageiros transportados no sistema brasileiro, no período de 2014 a 2018, e estão identificadas na Tabela 2.

**Tabela 2**

*Empresas metroferroviárias brasileiras analisadas*

SIGLA	EMPRESA
Metrô SP	Companhia do Metropolitano de São Paulo
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
VIAQUATRO	Concessionária da Linha 4 do Metrô de São Paulo S.A.
Metrô RIO	Concessão Metroviária do Rio de Janeiro S.A.
SUPERVIA	SuperVia Concessionária de Transporte Ferroviário S.A.
CBTU BH	Companhia Brasileira de Trens Urbanos

TRENSURB	Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre
Metrô DF	Companhia do Metropolitano do Distrito Federal

**Fonte:** Dados da pesquisa.

Cada empresa foi analisada individualmente por ano, ou seja, uma DMU neste caso é a empresa  $i$ , no ano  $t$ .

### 3.2 Variáveis da pesquisa

As variáveis dos sistemas de transporte têm três principais medidas para produção de saída: mão-de-obra, combustível e capital (Tsai et al., 2015; Karlaftis, 2004). Diante disso, considerando as principais variáveis identificadas nos estudos precedentes referenciados por Cavaignac e Petiot (2017), foram utilizadas como variáveis de insumo deste estudo, os principais componentes qualitativos dos custos dos serviços do transporte metroferroviário: o número de empregados, representando a mão-de-obra, o consumo energia elétrica, representado o combustível e, por fim, a extensão da via, o número de estações e o número de carros, representando o capital.

A inclusão do número de estações na composição das variáveis se alinha aos achados do estudo Tsai et al. (2015) que indicam que o número de estações influencia significativamente a eficiência técnica. Como variável financeira de insumo, foi utilizado o custo dos serviços prestados, que é o custo diretamente ligado à operação de transportes e se vincula as principais variáveis técnicas do sistema metroferroviário. Não foi utilizada a receita operacional como variável financeira, devido a esta sofrer forte influência de fatores externos, como políticas públicas vinculadas à mobilidade urbana e que impactam diretamente no nível de cobertura de custos por receita tarifária.

Como variável do produto, foram utilizados os principais resultados operacionais do sistema metroferroviário, sejam eles: número de passageiros transportados e quilômetros rodados pelos trens. Na Tabela 3, identifica-se todas as variáveis da pesquisa.

**Tabela 3**

*Variáveis da pesquisa*

	Tipo Variável	Variável	Descrição
INSUMOS	Financeira	Custo dos serviços prestados (CSP)	Total dos custos dos serviços prestados, em milhares de Reais (R\$).
	Técnica	Carros (CAR)	Número total de carros operacionais.
		Extensão/Estação (EXES)	Extensão da Via em quilômetros, em relação ao nº estações.
		Consumo de Energia Elétrica (CEE)	Quantidade de Energia Elétrica consumida pelos trens em GWh.
		Empregados (EMP)	Número total de empregados.
PRODUTO	Técnica	Passageiros/Km (PASK)	Total de passageiros transportados em milhões, em relação aos quilômetros rodados em milhões.
		Carro.Km (CARK)	Total de quilômetros rodados em milhões, pelo número de carros por trem.

**Fonte:** Dados da pesquisa.

Definidas as variáveis, por meio da função de produção e com o uso do software Frontier Analyst 4.4, foram calculados os níveis de eficiência das empresas metroferroviárias brasileiras

de médio e grande porte. Primeiramente, foram calculadas as eficiências considerando as variáveis técnicas e avançando a análise foi incluída a variável financeira. Os resultados permitem observar as empresas que estão trabalhando de forma eficiente e também aquelas que não estão neste patamar. Além disso, indicam os ajustes necessários às unidades que não foram caracterizadas como eficientes.

### 3.3 Modelo DEA empregado na análise

A análise foi de eficiência técnica com base na DEA de retornos variáveis, considerando que o modelo com retornos constantes apresentou menor distribuição de índices de eficiência. Ainda, ao estimar por retornos variáveis é possível verificar se há unidades com retornos de escala, o que foi verificado. No que se refere à orientação da eficiência, foi pelo insumo, ou seja, de minimização do insumo. Matematicamente, então, as DMUs eficientes foram obtidas por:

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

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

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

Onde,  $y$  é o produto,  $x$  os insumos,  $\lambda$  = pesos,  $Ef_0$  e  $\theta$ : eficiência com base nos pesos  $\mu_j$ ,  $v_i$  dos  $m$  outputs e  $i$  inputs respectivamente e  $\lambda_k$  a  $k$ -ésima coordenada da DMU com base em uma DMU de referência.

Os níveis de eficiência variam de 0,00 a 1,00 (0% a 100%) e a DMU é considerada eficiente quando o indicador é 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. (Sheffer, Monteiro, Cardoso, & Ritta, 2021).

A aplicação da DEA foi realizada por meio da Análise de Janelas, considerando a existência de 8 DMUs e 6 variáveis técnicas. Tal aplicação tem como referência o estudo de Charnes, Clark, Cooper e Golany (1984). Para os autores, a aplicação da 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. A janela se move em um período de um ano, eliminado o primeiro ano e adicionando um novo, assim, a segunda janela é formada pelos anos 2015, 2016, 2017. Por fim, a terceira janela contempla os anos 2016, 2017 e 2018. Na Análise de Janela, a mesma DMU que está em período de tempo diferente, é considerada como outra unidade decisão, com isso, foram avaliadas no estudo, 8 DMUS, em janelas de 3 anos, onde cada janela de análise totalizou 24 DMUs.

#### 4 Apresentação e Análise dos Resultados

O transporte metroferroviário brasileiro é composto por 15 operadoras e 21 sistemas, operados em quatro tipos de sistemas: Metrô, Trens Urbanos, Monotrilhos e VLTs, classificados como de pequeno, médio e grande porte, com base no número de passageiros transportados/ano. Os sistemas de médio e grande operam por meio de metrôs e trens urbanos e são responsáveis por 98% dos passageiros transportados no sistema metroferroviário. (Associação Nacional de Transportes Públicos [ANTP], 2020). Na Tabela 4, estão identificados esses sistemas, sendo seis operados por empresas públicas e cinco por empresas privadas no regime de concessão.

**Tabela 4**

*Sistema Metroferroviário Brasileiro de Médio e Grande Porte*

Operadora	Cidade	Operação	Porte	Extensão (Km)	Passageiros Transportados (milhões)
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	Grande	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
Metro DF	Brasília	Pública – Estadual	Médio	42,4	42,8
CCR	Salvador	Concessão Privada	Médio	33,4	92,7

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

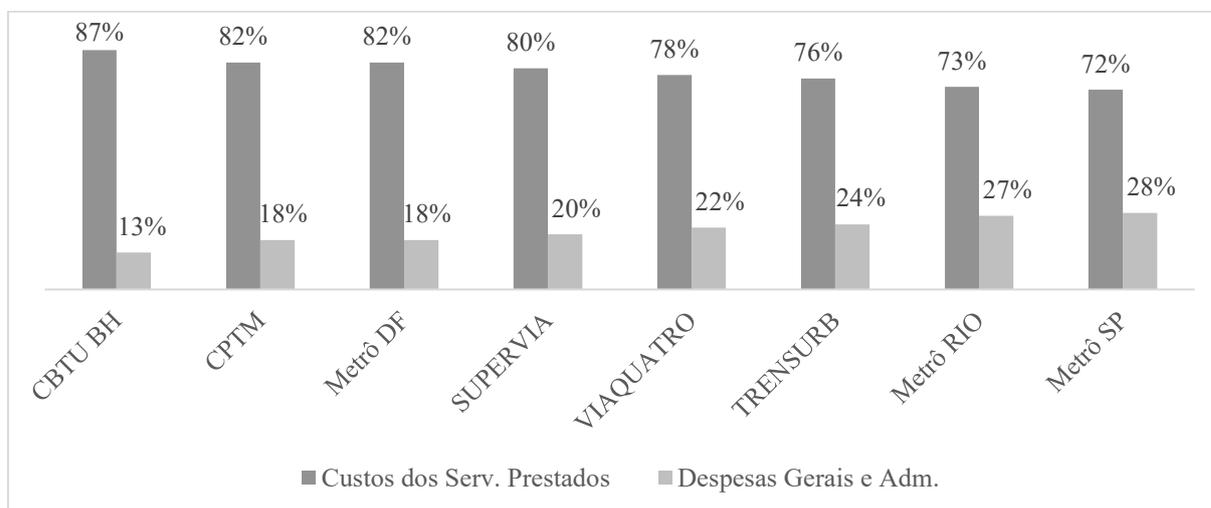
O sistema de transporte sobre trilhos em 2018 transportou 10,9 milhões de passageiros dia, possui uma extensão de 1.105 km, com 48 linhas, 613 estações, 5.444 carros de passageiros operacionais e 41 mil funcionários. O uso deste transporte é prioritariamente para o trabalho, sendo este o motivo de 70% das viagens. (ANPTrilhos, 2019). O sistema de transporte metroferroviário é composto por serviços de transporte e processos de apoio.

O serviço de transporte é dividido em primário e secundário. O primário constitui o sistema operacional e se relaciona diretamente com o usuário do transporte, engloba operações em bilheteria, segurança operacional, operação dos trens e o controle de tráfego. Os serviços secundários envolvem recursos humanos, materiais, equipamentos e instalações para manutenção do sistema operacional. Os serviços caracterizados como de apoio, representam gastos com a administração geral e envolvem planejamento, administração financeira, suprimentos, recursos humanos, tecnologia da informação, dentre outros. (Pezerico, 2002).

Desta forma, o custo operacional das empresas de transporte metroferroviário é formado pelos serviços de transporte, que compõem o custo dos serviços prestados e, pelos serviços de apoio, que compõem as despesas gerais e administrativas. Os custos dos serviços se referem ao custo diretamente ligado à atividade principal da empresa e para o transporte metroferroviário é composto por custos com pessoal, energia elétrica, materiais, serviços de terceiros, depreciação e amortização. Os custos com pessoal que comportam empregados de manutenção e operação e o custo com energia elétrica para movimentação dos trens, são considerados os

principais insumos do sistema de transporte metroferroviário. (Ferreira, Brum, & Schreinert, 2019).

A representatividade dos custos dos serviços prestados e das despesas gerais e administrativas na composição do custo operacional das empresas da amostra, para o ano de 2018, está apresentada na Figura 2.



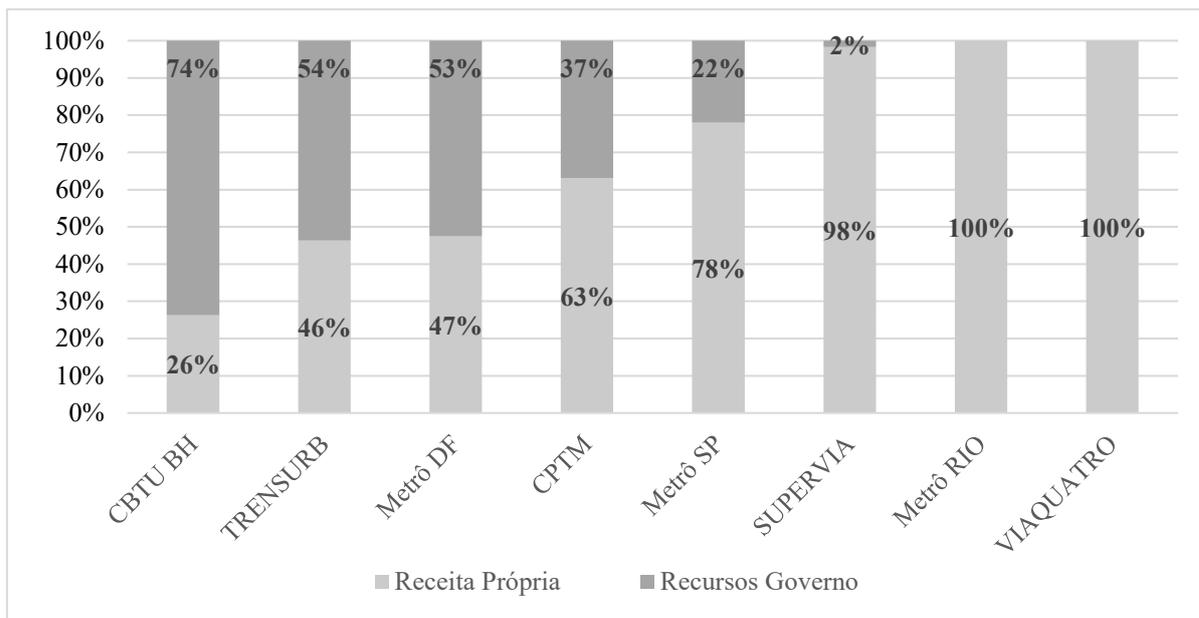
**Figura 2** Representatividade do custo dos serviços prestados

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

Na Figura 2, identifica-se que o Metrô SP possui a menor representatividade dos custos diretamente ligados à operação em relação ao custo operacional total, sendo este o sistema que possui o maior número de passageiros transportados. Já a CPTM, que possui o segundo maior número de passageiros transportados, porém extensão quatro vezes maior do que o Metrô SP, possui representatividade destes custos superior a 80%, acompanhando o patamar de empresas de médio porte. Quanto à CBTU, que apresenta o menor índice de despesas gerais administrativas, cabe destacar que esta possui a gestão administrativa dos sistemas que opera centralizada, fato este que pode estar impactando diretamente no nível de despesas administrativas apurado.

Quanto às receitas para custeio do sistema de transporte metroferroviário, estas advêm de duas fontes principais: recursos próprios e recurso governamental. As receitas tarifárias, são a principal fonte de recursos próprios e têm origem na tarifa cobrada dos usuários do transporte e representam em média 95% da receita própria. As receitas não tarifárias, representam uma pequena parcela dos recursos próprios e tem como principal origem a exploração de espaços comerciais e publicitários.

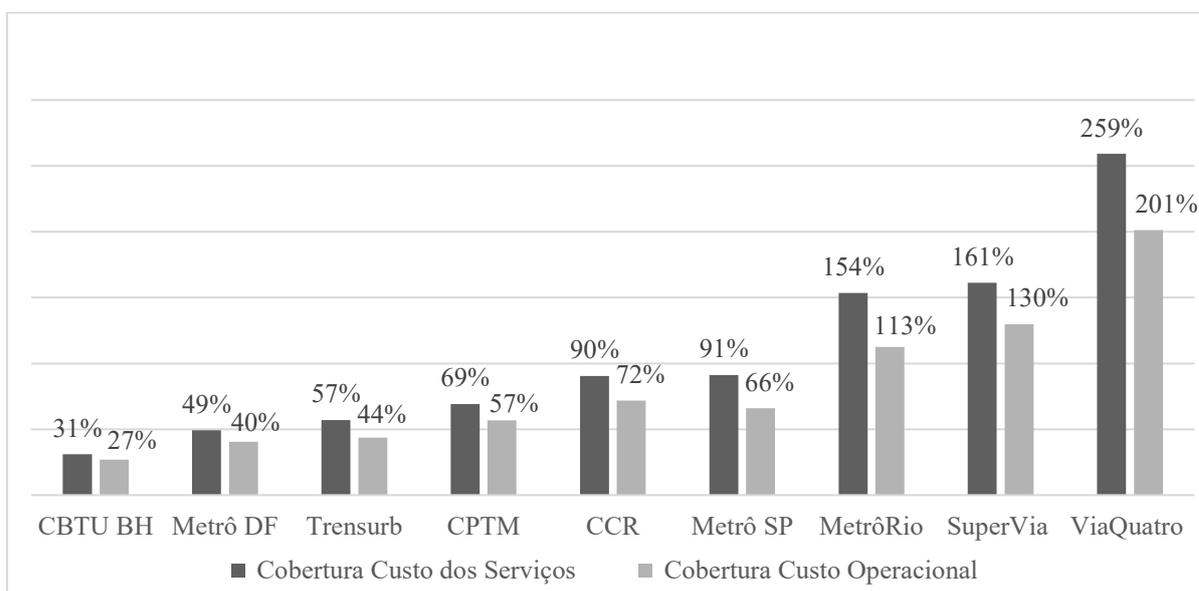
Os recursos governamentais são repassados aos operadores do transporte na forma de subvenção ou ressarcimento, este último vinculado a benefícios concedidos por política pública, como subsídio para idosos e estudantes. Na Figura 3, pode ser identificada a representatividade dos principais recursos que financiam o custeio das empresas metroferroviárias.



**Figura 3** Fontes de recursos para custeio das operações

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A Figura 4 identifica o nível de cobertura dos custos dos serviços e do custo operacional por meio de receita tarifária, e este varia de 27% a 201% para o custo dos serviços prestados e de 31% a 259% para o custo operacional.



**Figura 4** Nível de cobertura dos custos por receita tarifária

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

As informações apresentadas na Figura 4 revelam que as empresas de grande porte possuem o maior nível de cobertura de seus custos por receitas tarifárias, e que as empresas privadas estão à frente das demais. Como se verifica na Tabela 4, há variações significativas na extensão e no número de passageiros transportados pelas empresas metroferroviárias, estando os sistemas de grande porte concentrados nos sistemas operados em São Paulo e no Rio Janeiro. Sobre isso, cabe referir o disposto por Tsai et al. (2015), de que as semelhanças no processo de

produção dos sistemas ferroviários urbanos, permite a avaliação de eficiência destes mesmo que operem em distintos níveis de escala.

#### 4.1 Análise da eficiência das empresas metroferroviárias

Na Tabela 5, apresenta-se a síntese dos valores das variáveis da pesquisa, por meio da estatística descritiva.

**Tabela 5**

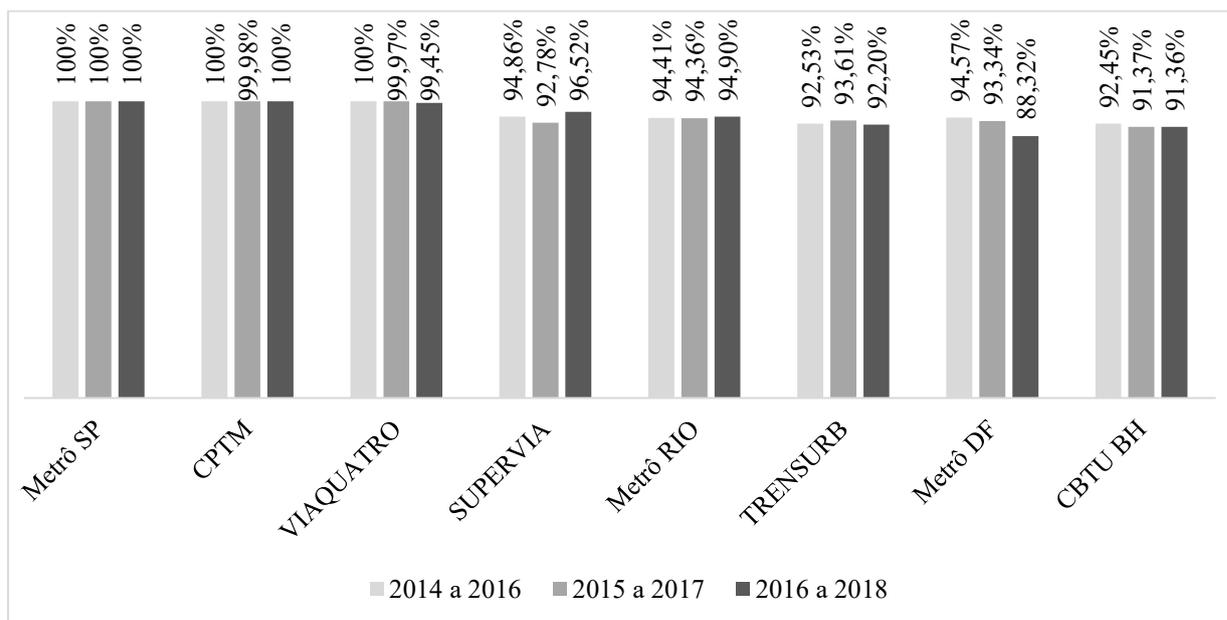
*Estatística descritiva das variáveis da pesquisa*

REFERÊNCIAS	CAR	EXES	CEE	EMP	PASK	CARK	CSP
Média	513,6	1,8	195,7	3.422,5	35,7	59,4	752,2
Mediana	235,0	1,6	146,7	2.017,0	27,9	26,3	358,7
Máximo	1.632,0	2,9	506,1	9.612,0	98,8	211,7	2.273,4
Mínimo	84,0	1,1	36,4	924,0	10,1	10,2	129,5
Desvio Padrão	488,4	0,6	165,4	3.221,8	25,6	62,5	802,0
N° Observações	40	40	40	40	40	40	40

Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação aos valores máximos, destaca-se a empresa CPTM, que possui valores máximos para as variáveis, CAR, EXES, CEE, CARK e CSP. A empresa CPTM, apresenta a maior extensão de via e o segundo maior número de passageiros transportados do sistema metroferroviário brasileiro. O maior índice de passageiros por quilômetro (PASKM), é identificado na empresa VIAQUATRO, que transporta o quarto maior número de passageiros do sistema, porém, possui a menor extensão entre todas as empresas da análise. Quanto aos valores mínimos, destaca-se a empresa VIAQUATRO, que possui os menores valores para as variáveis CEE, EMP e CSP.

Utilizando-se das variáveis técnicas, foram apurados os índices de eficiência por janela, e estes estão apresentados de forma consolidada na Figura 5, considerando a média da eficiência apurada por empresa nas janelas de tempo estabelecidas.



**Figura 5** Média da eficiência das empresas metroferroviárias por janela

**Fonte:** *Dados da pesquisa.*

Na Figura 5, os índices de 100% representam as empresas eficientes, ou seja, aquelas que estão sobre a fronteira de eficiência. Os índices menores de 100% representam as empresas ineficientes, e a média destes índices variam de 88,32% a 99,98% para o período analisado.

O Metrô SP foi a única empresa que manteve a média de eficiência de 100% em todas as janelas de análise. As empresas CPTM e VIAQUATRO apresentam média de eficiência superiores a 99%. Diante destes dados, se verifica que as empresas que operam no sistema metroferroviário de São Paulo e que representam 73% dos passageiros transportados no sistema brasileiro, possuem os maiores níveis de eficiência apurados, o que identifica menor necessidade de ajuste de seus insumos e produtos.

Detalhando os níveis de eficiência, se apresenta na Tabela 6, os índices de eficiência por janela, onde 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 e na terceira linha da janela 2016 a 2018.

**Tabela 6**

*Índices de eficiência das empresas metroferroviárias por janela*

EMPRESA	2014 (%)	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)	2018 (%)
Metrô SP	100	100 100	100 100 100	100 100	100
CPTM	100	100 100	100 99,94 100	100 100	100
VIAQUATRO	100	100 100	100 100 100	99,91 98,36	100
Metrô RIO	100	86,03 85,73	97,21 97,36 90,82	100 93,87	100
SUPERVIA	88,08	96,50 87,74	100 90,60 89,55	100 100	100
CBTU BH	93,81	85,96 85,96	97,59 97,59 97,59	90,55 90,55	85,94
TRENSURB	85,79	95,75 94,96	96,04 95,17 95,17	90,70 90,70	90,74
Metrô DF	94,94	95,99 94,87	92,79 92,58 92,58	92,58 92,58	79,80

**Fonte:** *Dados da pesquisa.*

Por meio da Tabela 6, é possível verificar que apenas as empresas classificadas como de grande porte (Metrô SP, CPTM, VIAQUATRO, Metrô RIO e SUPERVIA) apresentam índice de eficiência de 100% pelo menos em um ano das janelas de análise, estando estes concentrados nas empresas que operam no sistema metroferroviário de São Paulo, e que

apresentam índices que variam de 98,36% a 100%. A empresa VIAQUATRO concentra o índice de ineficiência no ano 2017, com reincidência deste na segunda e terceira janela de análise. Aprofundando a análise, verificou-se que o índice de ineficiência está impactado pelo aumento no número de carros em 2017, porém o aumento no número de estações e na extensão só é identificado no ano de 2018, no qual a empresa volta a ser considerada eficiente.

As empresas SUPERVIA e Metrô Rio, que operam no sistema metroferroviário do Rio de Janeiro, segundo maior sistema metroferroviário brasileiro, possuem níveis de eficiência que variam de 85,73% a 100%. A empresa SUPERVIA passou a atingir nível de eficiência de 100% a partir de 2016, e analisando as variáveis de insumo desta do período de 2014 a 2018, identifica-se uma redução no consumo de energia elétrica e no número de empregados, fatores estes que contribuem para que esta alcançasse o nível de eficiência de 100%.

Já na empresa Metrô Rio, se identifica nível de eficiência de 100% em 2014 e este índice somente é alcançado novamente em 2017. Analisando os dados de insumo desta, verifica-se que, a partir de 2015 houve um aumento na extensão, no número de carros e no consumo de energia elétrica, no entanto, somente em 2017 houve aumento no número de passageiros transportados.

Para as empresas de médio porte (CBTU BH, TRENSURB e Metrô DF) não houve 100% de eficiência em nenhum dos anos analisados e os índices de eficiência variam de 79,8% a 97,59%. Tal situação revela a necessidade de melhorias a serem realizadas por estas empresas.

Quando se fragmenta a análise das potenciais melhorias vinculadas aos insumos, identifica-se a necessidade de uma redução em torno de 19% nestes, mantida a produção, para que estas empresas possam operar de forma eficiente. Individualizando as variáveis, como pode ser verificado na Tabela 7 não há uma linearidade no percentual das melhorias. Na empresa CBTU a maior necessidade de redução é identificada na variável CAR, no Metrô DF na variável CEE e na TRENSURB na variável EXES.

**Tabela 7**

*Média das potenciais melhorias por variável*

EMPRESA	EFICIÊNCIA TÉCNICA MÉDIA	REDUÇÃO MÉDIA DE INSUMOS	REDUÇÃO INSUMOS POR VARIÁVEL			
			CAR	EXES	CEE	EMP
CBTU BH	91,72%	-19,15%	-35,00%	-14,0%	-8,60%	-18,93%
Metrô DF	92,08%	-20,75%	-15,61%	-26,16%	-33,30%	-7,92%
TRENSURB	92,78%	-17,17%	-13,09%	-31,34%	-17,01%	-7,22%

Fonte: Dados da pesquisa.

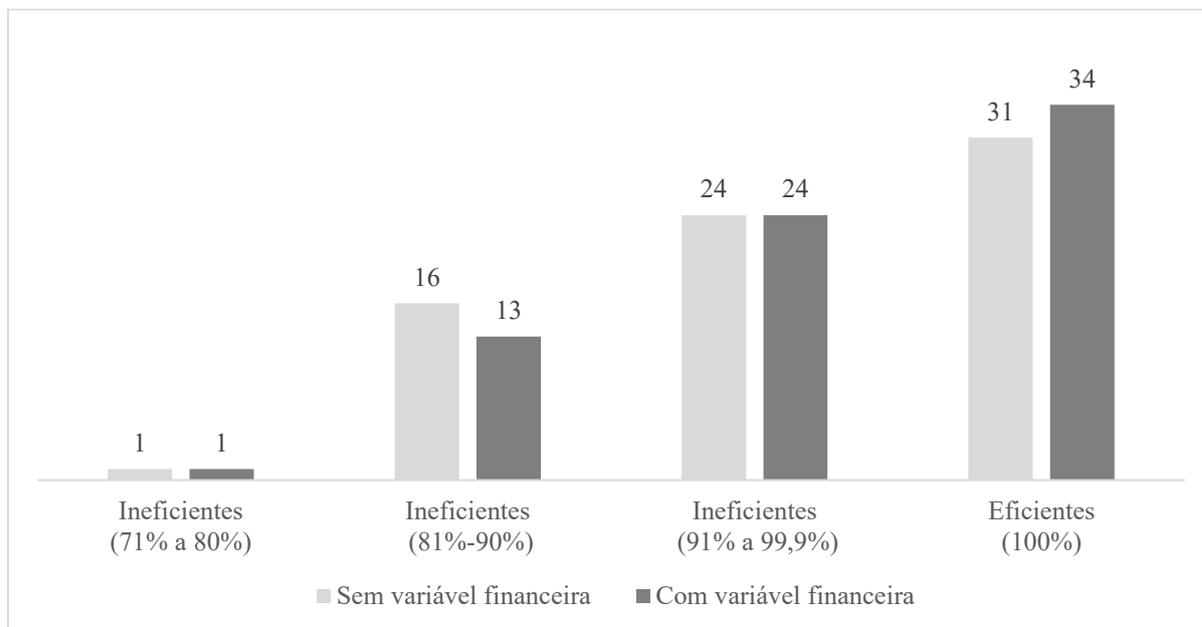
Avançando a análise quanto às variáveis que mais contribuem para os índices de eficiência apurados nas empresas metroferroviárias brasileiras, considerando as variáveis de insumos, as variáveis extensão da via por estação (EXES) e o número de empregados (EMP), são as variáveis mais presentes na composição dos índices, com frequência de 34 e 47 respectivamente, no conjunto das 72 apurações de eficiência (3 janelas para 24 DMUs).

Ao analisar quais as empresas que contribuem como padrão de referência (*Benchmark*) para alcance dos índices de eficiência apurados, verifica-se que a empresa VIAQUATRO compõe a referência em 75% das DMUs, estando presente na composição do índice de todas as empresas de médio porte. Diante dessas informações, é importante destacar o fato de que a VIAQUATRO opera por meio de concessão privada em trecho vinculado ao Metrô SP, e este concentra o maior número de passageiros transportados do sistema metroferroviário brasileiro.

Buscando identificar o efeito do custo das variáveis técnicas utilizadas para apuração do índice de eficiência das empresas metroferroviárias, foi inserida a variável custos dos serviços

prestados (CSP), que representa o custo diretamente ligado à prestação dos serviços do transporte metroferroviário, representado qualitativamente pelas variáveis técnicas de insumo analisadas.

Na Figura 6, está apresentada, de forma comparativa, a distribuição dos níveis de eficiência das DMUs antes e depois da inclusão das variáveis financeiras, considerando o total de três janelas, com 24 DMUs cada.



**Figura 6** Distribuição do nível de eficiência financeira com e sem variável financeira

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao compararmos a distribuição dos resultados de eficiência apresentados, mantêm-se como eficientes as empresas classificadas como de grande porte. Ao longo do período de análise as empresas Metrô SP, CPTM, CBTU BH, TRENSURB e Metrô DF, mantiveram os índices de eficiência anteriormente apurados. O Metrô Rio teve pequena alteração em dois índices, mas se manteve na mesma faixa de eficiência. A empresa SUPERVIA teve melhora em três dos cinco anos analisados, passando a apresentar índice máximo de eficiência (100%) para os anos de 2014 e 2015 na primeira janela de análise e melhorando os índices dos anos de 2015 e 2016, na segunda e terceira janelas, com eficiências superiores a 94%. A VIAQUATRO, teve alterado o índice da segunda janela para o ano de 2017, de 99,91% para 100%.

Quanto aos retornos de escala, das 72 referências de eficiência que compõe as três janelas de análise com 24 DMUs cada, 70% apresentaram retornos crescentes. Todas as empresas que apresentaram ao longo do período de análise retornos decrescentes, são empresas pertencentes à categoria de grande porte e, dentre estas, destaca-se a CPTM que possui retornos decrescentes de escala para 67% dos índices de eficiência apurados. Todas as empresas de médio porte possuem retornos crescentes de escala, assim como a maioria das empresas de grande porte, com isso, se verifica que prepondera no transporte metroferroviário brasileiro retornos crescentes de escala, o que sugere, que as empresas estão operando abaixo da sua capacidade produtiva.

Diante deste cenário, destaca-se o fato de que todas as empresas de médio porte, com retornos crescentes de escala, são empresas públicas e possuem elevados níveis de financiamento por meio de recursos governamentais, estando estas fora do eixo São Paulo/ Rio

de Janeiro, que concentra 87% dos passageiros transportados no sistema de transporte metroferroviário. Em contraponto, as empresas públicas, CPTM e Metrô SP, possuem os melhores índices de eficiência técnica apurados, e operam com alto volume de passageiros transportados.

## 5 Conclusões

Analisar a eficiência do transporte metroferroviário ganha relevância, na medida em que 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 altamente comprometidos. Diante disso, este estudo analisou a eficiência técnica das empresas metroferroviárias brasileiras por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), contemplando oito empresas, que totalizam 90 % dos passageiros transportados no sistema metroferroviário brasileiro, no período de 2014 a 2018. A análise DEA foi realizada com suporte na Análise de Janelas, orientada aos insumos, considerando o modelo de retornos variáveis.

Os resultados da pesquisa revelam que apenas as empresas classificadas como de grande porte são tecnicamente eficientes e dentre estas somente o Metrô SP se manteve eficiente em todos os anos analisados, sendo este responsável por transportar o maior número de passageiros do sistema metroferroviário. As empresas de médio porte apresentaram-se ineficientes em todos os anos da amostra, sendo identificada a necessidade de redução média de 19% nos insumos para que estas se tornem tecnicamente eficientes. A inclusão de variável financeira como insumo, não apresentou reflexos significativos nas eficiências técnicas apuradas.

À medida em que um sistema de transporte é considerado ineficiente, as discussões quanto as políticas públicas voltadas ao transporte urbano, em especial, sobre os modelos de financiamento deste ganham relevância. Ao identificar que todas as empresas ineficientes são classificadas como de médio porte, sendo estas empresas públicas com altos níveis de financiamento dos seus custos por meio de recursos governamentais, o estudo serve de referência para ampliar a pesquisa sobre o tema, dada a relevância de se identificar o efeito do custeio das operações do transporte por meio de recursos governamentais sobre a eficiência das empresas.

Nessa esteira, ao identificar que prepondera no sistema de transporte metroferroviário brasileiro retornos crescentes de escala, este estudo contribui para a análise de políticas públicas vinculadas ao acesso da população a este transporte, uma vez que retornos crescentes de escalas sugerem que o aumento da produção, que tem como principal variável o número de passageiros transportados, pode gerar benefícios quanto à eficiência das empresas.

## Referências

- Alonso, M. (1999). Custos no serviço público. *Revista Do Serviço Público*, 50, 37-63. DOI: <https://doi.org/10.21874/rsp.v50i1.340>
- Asensio, J., Matas, A., & Rayomond, Jose-Luis. (2003). Redistributive effects of subsidies to urban public transport in Spain. *Transport Reviews*, 23, 433- 452. DOI: <https://doi.org/10.1080 / 0144164022000016658>
- Associação Nacional de Transportes Públicos. (2020). *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos – Simob/ANTP*. Recuperado em 01

junho, 2020, de <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacao-de-mobilidade-urbana-da-antp--2017.pdf>

Associação Nacional de Transportes de Passageiros sobre Trilhos. (2017). *Balanco do Setor Metroferroviário 2016/2017*. Recuperado em 20 abril, 2019, de <https://www.anprilhos.org.br/wp-content/uploads/2017/04/balanco-1617.pdf>

Associação Nacional de Transportes de Passageiros sobre Trilhos. (2019). *Balanco do Setor Metroferroviário 2018/2019*. Recuperado em 20 abril, 2019, de <https://anprilhos.org.br/wp-content/uploads/2019/05/anprilhos-balancosetor-2019-web.pdf>

Brinco, R. (2012). Mobilidade Urbana e transporte público: sobre a oportunidade de implantação de sistemas metroviários. *Indicadores Econômicos FEE*, 40, 105-116. Recuperado de <https://revistas.dee.spgg.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/2764/3101>

Besanko, D., & Braeutigam, R. R. (2004). *Microeconomia*. Rio de Janeiro: LTC.

Carvalho, C. H. R., & Pereira, R. H. M. (2011). *Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil*. Recuperado em 20 fevereiro, 2018, de [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1282/1/TD\\_1595.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1282/1/TD_1595.pdf)

Cavaignac, L., & Petiot, R. (2017). A quarter century of Data Envelopment Analysis applied to the transport sector: A bibliometric analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 57, 84-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.11.003>

Charnes, A., Clark, C. T., Cooper, W. W., & Golany, B. (1984). Developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the US Air Forces. *Annals of Operations Research*, 2, 95-112. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01874734>

Ceretta, P. S., & Niederauer, C. A. P. (2001). Rentabilidade e eficiência no setor bancário brasileiro. *Revista de Administração Contemporânea*, 5(3), 7-26. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-65552001000300002>

Falcão, V. A., Camioto, F. C., Silva, F. G. F., & Camargo, M. P. (2019, novembro). Avaliação da eficiência do sistema de transporte brasileiro no cenário internacional utilizando análise envoltória de dados (DEA). *33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*. Balneários Camboriu- SC. Brasil.

Farrell, M.J. (1957) The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120, 253-290. DOI: <https://doi.org/10.2307/2343100>

Ferreira, A. F., Brum, M. C. S., & Schreinert, F. (2019). Planilha de Cálculo Tarifário: modelo para uma empresa pública do setor metroferroviário. *Revista Ferroviária*. Mar/Abr, 42-45.

Ferreira, C. M. C., & Gomes, A. P. (2009). *Introdução à análise envoltória de dados. Teoria, Modelos e Aplicações* (1a ed.). Viçosa, MG: Editoria UFV.

Gomes, M. C., Oliveira, S. V. W. B., & Matias, A. B. (2017). Eficiência do setor bancário brasileiro no período de 2006 a 2013: bancos domésticos x bancos estrangeiros. *Nova Economia*, 27(3), 641-670. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/3057>.

Jarboui, S., Forget, P., & Boujelbene, Y. (2012). Public road transport efficiency: a literature review via the classification scheme. *Public Transp*, 4, 101–128. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12469-012-0055-3>

- Jehle, G. A., & Reny, P. J. (2000). *Advanced Microeconomic Theory*. (2a ed.). New York: Addison Wesley.
- Karlaftis M. G. (2004). A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. *European Journal of Operational Research*, 152, 354–364. DOI: <https://doi.org/10.12691/ijdeaor-1-1-1>.
- Kassai, S. (2002). *Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis*. Tese de Doutorado da Faculdade de Economia, Administração e Finanças da Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/8821/89cf255e7a880df07d3d549f74c7187fbfd1.pdf>
- Kiggundu, A. T. (2009). Financing public transport systems in Kuala Lumpur, Malaysia: challenges and prospects. *Transportation*, 36, 275-294. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-009-9194-z>
- Kutlar, A., Kabasakal, A., & Sarikaya, M. (2013). Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis. *Quality & Quality*, 47(6), 575–602. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11135-012-9741-0>
- Mariano, E. B. (2007, novembro) Conceitos básicos de análise de eficiência produtiva. *XIV Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP*, Bauru - SP. Brasil.
- Mariano, E. B., Almeida, M. R. A., & Rebelato, D. A. N. (2006, novembro). Peculiaridades da análise envoltória de dados. *XII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP*, Bauru – SP. Brasil.
- Markovits-Somogyi, R. (2011). Measuring efficiency in transport: the state of the art of applying data envelopment analysis. *Transport*, 26, 11–19. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.555500>
- Montañez, M. R. (2017). Financing public transport: a spatial model based on city size. *European Journal of Management and Business Economics*. 26, 112-122. DOI: <https://doi.org/10.1108/EJMBE-07-2017-007/full/html>
- Peña, C. R. (2008) Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). *Revista de Administração Contemporânea*, 12, 83-106. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-65552008000100005>
- Pezerico, L. A. M. (2002). *Sistema de Avaliação de Desempenho no Transporte Urbano: Uma abordagem para o setor metroferroviário*. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Recuperado de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2243/000366412.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Poliak, M., Senanová, S., & Mrníková, M. (2017). Financing Public Transport Services From Public Funds. *Transport Problems*, 2. DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.4.6>
- Sampaio, B. R., Lima, O. Neto, & Sampaio, Y. (2008). Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning. *Transportation Research Part A* 42, 445–454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.01.006>
- Scheffer, M. M., Monteiro, J. J., Cardoso, J. V. M., & Ritta, O. C. (2021). *Revista Ambiente Contábil*. 13, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.21680/2176-9036.2021v13n1ID19358>

- Ševrović, M., Brčić, D., & Kos, G. (2015). Transportation costs and subsidy distribution model for urban and suburban public passenger transport. *Traffic & Transportation*, 27, 23-33. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i1.1486>
- Souza, J. C. F., Sousa, M. C. S., & Tannuri-Pianto, M. E. (2008). Modelos não paramétricos robustos de gestão eficiente de agências bancárias: o caso do Banco do Brasil. *Revista Economia*, 9 (3), 601–623. Recuperado de [http://www.anpec.org.br/revista/vol9/vol9n3p601\\_623.pdf](http://www.anpec.org.br/revista/vol9/vol9n3p601_623.pdf)
- Souza, M. V. P., Souza, R. C., & Pessanha, J. F. M. (2010) Custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica: um estudo comparativo dos modelos DEA e SFA. *Gestão & Produção*, 17 (4), 653-667. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000400002>.
- Suguiy, T. (2017). *Eficiência versus satisfação no transporte público. Um estudo das práticas nas cidades brasileiras*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. Recuperado de [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/330996/1/Suguiy\\_Takao\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/330996/1/Suguiy_Takao_D.pdf)
- Tsai, C.H. P., Mulley, C., & Merkert, R. (2015). Measuring the Cost Efficiency of Urban Rail Systems An International Comparison Using DEA and Tobit Models. *Journal of Transport Economics and Policy*, 49, 17–34. Recuperado de <http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/lse/00225258/v49n1/s2.pdf?expires=1617246966&id=0000&titleid=1311&checksum=B39871F8E9BC6C626692196DC4FA1849>
- Vasconcellos, E. A., Carvalho, C. H. R., & Pereira, R. H. M. (2011). *Transporte e mobilidade urbana. Texto para Discussão Cepal Ipea 34: Transporte e mobilidade urbana*. Recuperado em 10 de janeiro, 2018, de <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1373>