

Avaliação da Eficiência do Transporte Público de Uberaba – MG utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA)

Evaluation of Public Transportation Efficiency in Uberaba - MG using Data Envelopment Analysis (DEA)

A.L.B. Machado^{a†}, V.A. Falcão^a, F.C. Camioto^a

^a *Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Departamento de Engenharia Civil, Uberaba, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: analaurabmachado@outlook.com*

RESUMO

No Brasil, quase 25% da população utiliza o transporte coletivo por ônibus, sendo, desta forma, um modal imprescindível para a mobilidade urbana. Por outro lado, a eficiência de uma empresa é algo que precisa ser buscado em função da alta competitividade do mercado, e, quando se trata de empresas de transporte público e da pequena margem com que trabalham, é vital que sejam eficientes. O presente estudo objetiva avaliar a eficiência do transporte público coletivo na cidade de Uberaba – MG através da Análise Envoltória de Dados (DEA) e seu modelo VRS (Variable Return Scale). A escolha do método levou em conta os resultados satisfatórios encontrados em pesquisas com outros modais, como no transporte aéreo, somado ao número, não tão expressivo, de pesquisas relacionadas ao transporte coletivo. Foram coletados dados de input e output referentes ao ano de 2015 de 40 linhas de ônibus da cidade de Uberaba, sendo elas geridas por duas diferentes empresas, Piracicabana e Líder, os quais foram processados pelo software SIAD. Constatou-se que apenas 7 linhas atingiram a eficiência de 100%, e buscou-se identificar possíveis alternativas e/ou soluções a curto prazo que pudessem levar as 33 DMUs restantes ao score máximo.

ABSTRACT

In Brazil, almost 25% of the population uses public transportation by bus, being, then, an essential modal for urban mobility. On the other hand, the efficiency of a company is something that needs to be sought due to the high competitiveness of the market, and when it comes to public transportation companies and the small margin they work with, it is vital that they are efficient. The present study aims to evaluate the efficiency of public transport in the city of Uberaba, Minas Gerais State, Brazil, through Data Envelopment Analysis (DEA) and its VRS (Variable Return Scale) model. The choice of the method considered the satisfactory results found in research with other modals, such as air transportation, in addition to the not so expressive number of research related to public transportation. Input and output data for the 2015 year were collected from 40 bus lines in the city of Uberaba, managed by two different companies, Piracicabana and Líder, which were processed by SIAD software. It was found that only 7 lines reached 100% efficiency, and an attempted was made to identify possible alternatives and/or short-term solutions that could take the remaining 33 DMUs (Decision Make Units) to the maximum score.

Palavras-chave:

Transporte público;
Análise Envoltória
de Dados; Uberaba,
BCC.

Keywords:

Public
Transportation; Data
Envelopment
Analysis; Uberaba;
BCC.

1. Introdução

Desde a popularização da indústria automobilística no Brasil, cresce exponencialmente o número de automóveis nas ruas e avenidas do País, de forma a exaurir a infraestrutura das cidades, haja visto o crescimento contínuo e crescente dos municípios, e, por outro lado, certa estagnação do crescimento de vias e modais, o que tem gerado assustadores índices de poluição, congestionamento de vias, e acidentes frequentes.

Neste cenário, descobre-se indispensável a implantação e melhoria de transportes coletivos, os quais sejam eficientes no que tange a recursos dispendidos: pessoas empregadas, frota; e resultados gerados: pessoas transportadas, em uma generalização simples.

Para [1], a mobilidade pode ser definida como um “atributo relacionado aos deslocamentos realizados por indivíduos nas suas atividades de estudo, trabalho, lazer e outras.” Neste contexto, o transporte público coletivo é mais uma vez destacado, uma vez que, segundo indicadores da [2], aproximadamente um quarto da população brasileira (24%) utiliza deste modal como principal meio de locomoção para suas atividades diárias, o que pode estar diretamente ligado a fatores externos como a renda dos usuários e o porte das cidades, e internos, como disponibilidade de linhas e horários, tarifa razoável e acessível e tempo de percurso.

Justifica-se assim o feito do trabalho em questão, no fato de que a eficiência dos meios de transportes, salvo as particularidades das variáveis consideradas, impulsiona a racionalização dos recursos dispendidos, permitindo que ações mais assertivas sejam tomadas no que tange ao planejamento e logística da rede de transportes.

Desta forma, avaliando-se a eficiência, diretamente ligada à produtividade, é possível que ineficiências sejam detectadas, buscando-se assim que falhas sejam sanadas através de um estudo das linhas consideradas benchmarking (dotadas das melhores práticas) do sistema.

Ademais, nota-se quão inexplorado é o estudo da eficiência de sistemas de transporte, o que acaba por evidenciar uma falha entre a disposição de recursos e o acompanhamento real dos resultados.

O presente estudo foi realizado na cidade de Uberaba – Minas Gerais, localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro, a 481 km da capital do Estado, a aproximadamente 500 km de grandes centros econômicos do País, tais como São Paulo e Brasília.

A boa funcionalidade do método é perceptível observando-se trabalhos realizados anteriormente na área, como a análise do desempenho de empresas brasileiras e européias realizado por [3]. O mesmo constatou, como principal resultado, que um maior número de passageiros transportados por veículo, somado a um custo operacional por km menor, são fatores determinantes para uma alta eficiência.

O estudo objetiva, em uma análise macro, avaliar a eficiência das principais linhas de ônibus de transporte público de Uberaba – MG, utilizando a técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA). E, em uma análise micro, estabelecer referenciais teóricos de forma a compreender o assunto; identificar e coletar variáveis de inputs e outputs do transporte coletivo de Uberaba (MG) por meio de revisão e consulta aos órgãos gestores; aplicar o modelo DEA VRS e avaliar os resultados.

2. Revisão da literatura

2.1. Transporte Público Coletivo - Ônibus

Segundo [4], o transporte público coletivo está diretamente ligado à fixação e ocupação de diferentes áreas no desenho urbano, e a consequente mobilidade e acessibilidade da população, uma vez que permite aos usuários o acesso a bairros e/ou locais afastados dos grandes centros, e, de forma análoga, permite que a população de tais áreas periféricas acesse regiões centrais de forma menos exclusiva, permitindo uma ocupação mais igualitária do perímetro urbano.

Desta forma, predomina no que tange a número de pessoas atingidas, uma vez que serve a um grande número de pessoas simultaneamente, aproximadamente 70 passageiros [5], permite pontos de subida/descida durante o percurso, apresenta custos de implantação relativamente

baixos, se comparado a implantação de uma linha férrea ou ao transporte aeroviário, e possibilita incrementos na demanda, até que se atinja o limite de densidade de tráfego [4].

2.2. *Análise Envoltória de Dados - DEA*

A Análise Envoltória de Dados, DEA, do inglês ‘Data Envelopment Analysis’, desenvolvida por Abraham Charnes, William Cooper e Edward Rhodes, em 1978, mede a eficiência de unidades produtivas em situações nas quais o aspecto financeiro não seja o único a se considerar. Desta forma, busca um monitoramento da produtividade, sendo possível a comparação entre diferentes fatores, em diferentes unidades de medida [6].

O conceito de máxima eficiência, pelo método abordado, diz respeito à máxima saída/produção/lucro (outputs) observada, mantendo-se as mesmas entradas/recursos dispendidos (inputs), ou ainda, mantendo-se as saídas (outputs), o valor mínimo de entradas (inputs) necessário. Sendo assim, trata-se da observação, dentre as unidades produtivas, aqui chamadas DMUs (Decision Make Units), aquela mais eficiente, mais produtiva. Entenda-se produtividade como a razão entre o que foi produzido e o que foi dispendido para tal [7].

Desta forma, utilizando-se de programação linear (resolução de problemas de otimização, nos quais todas as funções e restrições são lineares), os resultados da pesquisa DEA são apresentados sob a forma de um gráfico em que é estabelecida uma ‘fronteira de eficiência’, segundo o conceito de Pareto-Koopmans, em que constam as máximas do que foi produzido para cada nível [7].

2.2.1. *DEA Aplicado ao Transporte Público*

Azambuja [8] analisou a eficiência do transporte público urbano, ônibus, em 76 municípios brasileiros, dividindo-os em 3 grupos de acordo com a quantidade de habitantes. Os dados foram provenientes do Anuário da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), e se seguem: número médio de passageiros transportados/ano, quilômetros em serviço/ano, como outputs, como inputs: número total de ônibus, número total de linhas e número total de funcionários (motoristas, cobradores, despachantes/fiscais, manutenção, pessoal na administração das operadoras, pessoal na gestão, outros). A autora concluiu como satisfatória a análise pelo método DEA, e constatou que o tamanho dos municípios não interfere em sua eficiência, e sugeriu que órgãos gestores também a façam, uma vez que permite um benchmarking de informações, e a possibilidade de crescimento de DMUs vistas ineficientes.

Sampaio et al. [3] analisaram a eficiência do transporte público nordestino e estabeleceram uma comparação com demais sistemas brasileiros e europeus através do DEA, utilizando-se de 1 output e 3 inputs com retorno variável de escala. Assim, atribuíram como insumos (inputs): custo operacional do sistema, número total de veículos e número de empregados. E como produto (output): número de passageiros transportados. Os resultados mostraram uma eficiência de 100% em 31% dos sistemas brasileiros analisados, e em 50% dos sistemas nordestinos analisados. Já a Europa apresentou 62% de eficiência máxima. Os principais fatores apontados como predominantes entre as DMUs eficientes indicaram: maior número de passageiros transportados por veículo; custo operacional por km em serviço menor; maior extensão das linhas em relação à área coberta; número de passageiros transportados, salvas as proporções do porte das cidades; e frota mais jovem.

Santos et al. [9] utilizaram DEA na análise do desempenho de 31 empresas de transporte rodoviário interestadual de passageiros, a partir de dados do Anuário Estatístico da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT). Como inputs constam: número total de veículos; número de motoristas; distância percorrida e idade média da frota. Como outputs: número de passageiros.km transportados e número de passageiros transportados. Do total de empresas analisadas, somente 4 foram consideradas eficientes segundo o modelo CCR, e 11, pelo modelo BCC.

Sonza et al. [10] mediram as eficiências (operacional, em vendas e global) do transporte público urbano na cidade de Santa Maria (RS). As variáveis consideradas no estudo da eficiência

operacional como inputs foram as despesas fixas com veículos, quilômetros rodados, consumo e gastos com combustível. E, como outputs, número de passageiros e o número de pessoas por quilômetro. Como alternativa e benchmarking para as empresas consideradas ineficientes, pôde-se notar: excesso de consumo de combustível, podendo ser fruto de rotas não otimizadas; fornecedor acima do preço de mercado; excesso de consumo de forma geral; gastos exacerbados com despesas fixas, fazendo-se necessária uma renovação da frota ou revisão dos custos do veículo; há DMUs em que faz-se necessário aumentar o número de passageiros [10].

Viton [11] analisou empresas americanas de transporte público coletivo – ônibus, públicas e privadas. Adotou como inputs: velocidade média, idade média da frota, distância percorrida, galões de combustível consumidos pela frota, mão de obra (manutenção, transporte, administrativa) e custos gerais (serviços, seguros e demais). E como outputs: veículos/distância percorrida e passageiros transportados. Assim, constatou que, das 217 empresas analisadas, 80% foram consideradas eficientes, e, dentre as 20% consideradas ineficientes, de 1% a 1,5% foram consideradas extremamente ineficientes.

Hussain *et al.* [12] analisaram a eficiência técnica de 46 empresas de transporte público na Malásia. Foram adotados número de empregados e custos com mão-de-obra como inputs, e, como outputs: quantidade total de serviço oferecido (produção total) e receita. Assim, constataram que empresas de maior porte, com receita maior, apresentam maior eficiência.

No Canadá, 30 sistemas de transporte público de diferentes municípios foram analisados por [13] através do método DEA e foram utilizados como inputs: número de ônibus da frota, litros de combustível utilizados (diesel, gasolina) e o total de horas pagas para funcionários. Como output: serviço total oferecido aos passageiros, como a quilometragem percorrida. O autor concluiu que a eficiência técnica média dos sistemas canadenses é 78%, o que implica em uma ineficiência de 22%. Concluiu também que a maioria deles (56%) apresentaram retornos de escala crescentes, enquanto que, 29%, apresentaram retornos decrescentes.

Rubem, Beltrán e Mello [14] analisaram a eficiência de 69 empresas de transporte aéreo brasileiras entre os anos de 2007 e 2010 segundo o modelo SBM-NDEA (Network Data Envelopment Analysis). O modelo considera como inputs: custo de combustível, pessoal total (total de pessoas empregadas na empresa) e capacidade da frota (peso máximo de decolagem de todas as aeronaves pertencentes à frota no ano em questão), como outputs intermediários: assentos.km e toneladas.km oferecidas, e ainda, como outputs finais: passageiros.km transportados e toneladas.km transportadas. Dentre as 69 DMUs, 9 foram consideradas globalmente eficientes, ou seja, eficiente em todos os estágios de análise. 3 delas referem-se ao ano de 2010 (Rico, Sol e TAM), 3 a 2009 (Abaeté, Puma e Sol), 2 a 2008 (Abaeté e TAM) e somente 1 a 2007 (Mega).

3. Metodologia

A primeira etapa restringiu-se à escolha do tema, fundamentada na definição da grande área de estudo para posterior detalhamento dos objetivos gerais e específicos. Definido isto, fez-se imprescindível o estabelecimento de referenciais teóricos que, além de embasar o tema proposto com definições dos fatores que interferiam diretamente na problemática, nortearam o estudo através de trabalhos previamente realizados em outros cenários do transporte público.

Seguiu-se a identificação e coleta das variáveis de inputs e outputs. Foi possível obter um cenário de eficiência do ano de 2015 segundo dois inputs e dois outputs, os quais se seguem: inputs: frota (nº de veículos) e quilômetros percorridos pelos ônibus da linha durante o ano (km); outputs: nº de passageiros transportados e receita arrecadada (R\$), apresentados no Quadro 1.

De posse das variáveis, foi definido o modelo DEA BCC orientado a outputs como o mais apropriado e fiel à realidade, hajam vistos os trabalhos já realizados na área. Assim, o software utilizado foi o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD), sob domínio da Universidade Federal Fluminense (UFF) para o processamento dos dados.

O equipamento utilizado para o funcionamento do software foi um HP Intel Core i3, 4,00 GB de memória RAM, sistema operacional 64 bits, processador com base em x64.

3.1. Modelo de DEA - BCC

O modelo BCC ou VRS (Variable Return Scale), introduzido por Banker, Charnes e Cooper, em 1984, trabalha com retornos variáveis de escala. Isto significa que, com uma variação de x vezes nos inputs, não necessariamente os outputs serão acrescidos em x vezes, eles poderão ser acrescidos (retornos crescentes) ou diminuídos (retornos decrescentes) em valor maior que x [7].

O modelo é apresentado graficamente sob a forma de uma curva convexa.

4. Resultados e discussão

Já na avaliação dos resultados, de posse das informações geradas pelo modelo, foram analisadas as DMUs individualmente, destacando-se aquelas consideradas eficientes, e, principalmente, as consideradas ineficientes, de forma a levantar hipóteses e traçar meios de levá-las à eficiência.

Na Tabela 1, as variáveis consideradas no estudo.

Tabela 1 - Dados de inputs e outputs das linhas consideradas referentes ao ano de 2015.

Linhas	Inputs		Outputs	
	Frota (dias úteis)	Distância Percorrida (km/ano)	Passageiros Transportados (n°)	Receita (R\$)
10	3	295.738,80	495.110	R\$ 1.106.048,40
11	3	221.895,00	405.045	R\$ 963.797,80
12	1	94.932,00	40.068	R\$ 123.919,06
13	5	80.486,40	95.532	R\$ 211.766,35
14	8	577.829,40	1.704.497	R\$ 3.543.992,40
15	2	146.716,80	90.214	R\$ 212.392,05
16	1	94.665,60	49.241	R\$ 148.298,93
17	1	74.012,40	97.111	R\$ 190.109,30
18	3	191.797,20	427.817	R\$ 909.447,25
19	1	107.368,80	88.797	R\$ 230.132,40
20	1	29.685,60	27.288	R\$ 59.092,15
21	5	446.350,80	892.313	R\$ 2.083.348,60
22	1	81.750,00	153.382	R\$ 336.245,15
23	2	220.953,60	228.511	R\$ 449.400,45
24	2	214.787,40	245.908	R\$ 495.096,65
25	9	1.184.366,40	1.266.151	R\$ 2.934.013,26
26	2	220.215,60	332.328	R\$ 807.734,70
27	4	362.057,40	443.041	R\$ 1.062.182,90
110	1	211.008,00	210.567	R\$ 458.400,30
120	4	467.668,80	505.851	R\$ 1.177.107,35
50	4	239.010,00	692.498	R\$ 1.459.682,85
51	2	147.285,00	268.474	R\$ 644.652,90
52	2	134.659,20	221.103	R\$ 499.391,60
53	8	597.394,80	1.267.162	R\$ 2.849.667,40
54	3	300.286,20	467.707	R\$ 1.077.147,25
55	3	423.321,60	486.173	R\$ 1.031.807,53
56	1	126.219,60	163.369	R\$ 348.678,40
57	3	379.624,80	410.557	R\$ 930.089,40
58	2	278.846,40	147.161	R\$ 424.854,75
59	8	563.684,40	1.296.865	R\$ 2.419.645,35
60	3	232.194,60	569.350	R\$ 1.328.134,10
61	1	77.787,60	27.230	R\$ 99.303,36
62	1	118.524,00	143.155	R\$ 346.285,65
63	1	22.099,20	1.853	R\$ 12.693,42
64	1	108.847,20	155.315	R\$ 348.281,30
65	6	468.264,60	977.340	R\$ 2.158.352,40
66	1	106.122,60	133.444	R\$ 277.707,60

67	1	104.988,00	48.632	R\$ 111.897,60
111	1	226.046,76	195.258	R\$ 432.110,15
121	4	375.240,00	556.291	R\$ 1.309.969,80

Dados: Superintendência de Transporte Coletivo – Uberaba

O cenário em que vigoravam as variáveis na Tabela 1 discriminadas, era mantido por um valor de tarifa de R\$3,10, reajustada em 19 de janeiro de 2015. A mudança no valor de R\$2,80, que vigorava desde 31 de dezembro de 2012, justificada pela inflação que aumentou em 13,46 pontos percentuais no período, somada a um aumento de 30% no preço do óleo diesel e de 15% no custo da mão de obra, gerou um inconformismo geral na população. Porém, pôs em prática exigências de modernização da frota (15 novos ônibus), integrações pelo preço de uma única passagem, além da implantação da primeira linha do sistema VETOR/BRT da cidade, não considerada no estudo pelas diferentes condições e tempo de vigência [15].

Além disso, o quadro de linhas era gerido por duas empresas concessionárias, sendo elas, Viação Piracicabana Ltda. e Empresa de Transporte Líder Ltda.

Importante frisar que as variáveis selecionadas são representativas no que tange a diferentes cenários enfrentados pelas empresas gestoras, como é o caso de quilômetros percorridos e número de passageiros atendidos, variáveis cruciais para o cálculo do Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK), um dos atributos que definem o cálculo tarifário. Além destas, tem-se a quantidade de veículos, que representa o capital bruto da DMU, e a receita, parâmetro diretamente ligado ao número de passageiros, pagantes, transportados.

Porém, inclusive como um parâmetro para futuros trabalhos na área, é importante salientar que, na análise da correlação das variáveis pelo software Excel 2007, as mesmas apresentaram alto índice de correlação, conforme consta na Tabela 2:

Tabela 2 - Índice de Correlação entre as Variáveis.

	Frota	Distância Percorrida	Passageiros Transportados	Receita
Frota	1			
Distância Percorrida	0,86286698	1		
Passageiros Transportados	0,930695372	0,842981624	1	
Receita	0,931979832	0,865257271	0,994858303	1

O resultado acima não invalida os resultados posteriormente apresentados, porém, discrimina a redundância de se utilizar variáveis como receita e passageiros transportados (correlação 0,994858303).

A decisão por manter as variáveis remete à dificuldade em se encontrar outras variáveis padronizadas para todas as linhas do estudo, e principalmente porque, apesar de por hora redundantes, não trazem interferências negativas para o resultado final da análise.

A definição do período de análise deveu-se à disponibilidade dos dados na Superintendência de Transporte Coletivo da Prefeitura Municipal de Uberaba, optando-se pela amostra mais atual e padronizada, no que tange às variáveis escolhidas.

De posse dos dados do Quadro 1, foi feito o processamento no software SIAD [16], considerando-se orientação a outputs, uma vez que, já sendo dispendidos os recursos para o transporte público, a intenção é que os mesmos sejam gastos de forma eficiente e eficaz, e não, de forma a minimizá-los. Assim sendo, considerou-se fixas as entradas, os inputs, buscando-se otimizar as saídas, os outputs.

A simulação foi feita conforme o modelo BCC, uma vez que foge da linearidade do método CCR e é o mais indicado, hajam vistos os trabalhos realizados anteriormente na área, e as eficiências, bem como o ranking das linhas, seguem-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Eficiências dadas pelo modelo BCC orientado a outputs e ranking das linhas.

Linha Pira	Eficiência (%)	Ranking	Linha Líder	Eficiência (%)	Ranking
14	100,00	1	50	100,00	1
20	100,00	1	60	100,00	1
22	100,00	1	63	100,00	1
110	100,00	1	64	96,25	2
21	93,78	5	56	94,40	3
26	90,56	7	111	94,26	4
25	82,79	8	62	93,34	6
10	82,72	9	51	82,58	10
18	81,89	11	66	81,29	12
11	75,69	18	65	81,09	13
17	72,13	20	54	80,52	14
120	66,10	23	53	80,41	15
19	63,84	24	59	78,02	16
24	61,10	25	55	77,00	17
27	59,68	26	121	73,56	19
23	56,39	27	52	70,00	21
13	52,65	28	57	69,41	22
16	42,56	30	58	47,25	29
12	35,54	31	61	31,51	36
15	27,31	38	67	31,24	37

Em comparação das empresas Piracicabana e Líder nota-se que a Piracicabana aparece com somente uma linha a mais na fronteira de eficiência. Desta forma, é possível inferir que as empresas dispunham de condições de gestão bastante parecidas, uma vez que ambas estavam submetidas ao sistema licitatório da Prefeitura Municipal.

Buscando-se uma análise mais minuciosa, ver Tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Classes de desempenho na empresa Piracicabana.

Classe de Desempenho	Nº de Linhas	%
0 a 20%	0	0%
20 a 40%	2	10%
40 a 60%	4	20%
60 a 80%	5	25%
80 a 99%	5	25%
100%	4	20%
Total	20	100%

Tabela 5 - Classes de desempenho na empresa Líder

Classe de Desempenho	Nº de Linhas	%
0 a 20%	0	0%
20 a 40%	2	10%
40 a 60%	1	5%
60 a 80%	5	25%
80 a 99%	9	45%
100%	3	15%
Total	20	100%

Nota-se que, na Piracicabana, as DMUs concentram-se (50% do total de linhas da empresa) em classes de desempenho entre os valores de 60% e 99%. Já na Líder, a porcentagem de linhas com eficiência entre 60 e 80% permanece inalterada, porém, há uma diminuição na quantidade de DMUs de médio a baixo desempenho (40 a 60%), número que aparece justificado na

quantidade de DMUs de alta eficiência (80 a 99%). Desta forma, é possível inferir que a empresa Líder conseguiu atingir valores de eficiência média mais altos (78,106355%) que a empresa Piracicabana (72,23651%), porém, próximos, o que reitera a afirmação de que ambas estão submetidas ao mesmo sistema de gestão por parte da Prefeitura Municipal.

Na Tabela 6, uma transcrição das informações das linhas 14, de eficiência máxima, e da linha 15, menor eficiência entre as DMUs.

Tabela 6 - Transcrição dos dados das linhas 14 e 15.

Linhas	Inputs		Outputs	
	Frota (dias úteis)	Distância Percorrida (km/ano)	Passageiros Transportados (n°)	Receita (R\$)
14	8	577.829,40	1.704.497	R\$ 3.543.992,40
15	2	146.716,80	90.214	R\$ 212.392,05

Em uma simples divisão, nota-se a diferença entre a demanda das linhas. Cada veículo da linha 14 atendeu, em média, 213 mil passageiros/ano, já os veículos da linha 15 atenderam uma média de 45 mil passageiros/ano. Isto revela uma possível causa da diferença considerável entre as eficiências, porém, traz a tona um fato curioso e possivelmente um ponto a ser considerado em posteriores pesquisas, uma vez que o baixo índice de lotação dos veículos não pode ser sanado simplesmente com a extração de um dos veículos da linha, já que 45 mil passageiros/ano dependiam do itinerário no horário estipulado.

Na Tabela 7, em uma outra análise, as DMUs que obtiveram menores desempenhos:

Tabela 7 - Transcrição dos dados das linhas de menor eficiência.

Linhas	Inputs		Outputs	
	Frota (dias úteis)	Distância Percorrida (km/ano)	Passageiros Transp.(n°)	Receita (R\$)
12	1	94.932,00	40.068	R\$ 123.919,06
15	2	146.716,80	90.214	R\$ 212.392,05
61	1	77.787,60	27.230	R\$ 99.303,36
67	1	104.988,00	48.632	R\$ 111.897,60

Voltando-se a uma análise crítica, há que se considerar a que condições as linhas estavam sujeitas. Sabe-se que a linha 12 fazia a conexão entre Capelinha do Barreiro, comunidade rural Uberabense, e Uberaba, desta forma, é compreensível que a mesma possua uma baixa relação passageiros/veículo/ano. O mesmo ocorre com as linhas 15 e 61, responsáveis pelas conexões Uberaba – Distritos Industriais 02 e 03 (regiões afastadas da área urbana), respectivamente, e que atendiam, por este motivo, um público escasso, porém, fiel.

Já a linha 67 atendia o bairro Jardim Anatê, neste caso, uma solução seria a junção de dois ou mais itinerários que atendam regiões próximas, buscando-se uma otimização da lotação dos ônibus, e a diminuição de viagens ociosas.

Ademais, considera-se como alternativa, a execução de pesquisas operacionais do transporte coletivo como um todo, que, de um modo geral, visam mapear as condições a que as linhas estão sujeitas, entender e quantificar a demanda de passageiros, além de propor itinerários eficazes e eficientes.

A respeito das demais variáveis, sabe-se que a receita também é um ponto que merece delicada análise, uma vez que a linha 17 (eficiência = 72,12%), Terminal Oeste – UFTM, atende, majoritariamente, o público universitário, que paga o valor referente à metade da tarifa.

Como exemplo, as linhas 17, citada acima, e 22, DMU de eficiência máxima:

Tabela 8 - Transcrição das informações das linhas 17 e 22.

Linhas	Inputs		Outputs	
	Frota (dias úteis)	Distância Percorrida (km/ano)	Passageiros Transp. (n°)	Receita (R\$)
17	1	74.012,40	97.111	R\$ 190.109,30
22	1	81.750,00	153.382	R\$ 336.245,15

Observa-se que cada passageiro da linha 17 pagou, em média, R\$1,96 pela passagem, enquanto que na linha 22, que atende Terminal Oeste – Vila Militar, a média de valor pago foi de R\$2,19. O valor não é tão expressivo em se tratando de somente uma passagem, porém, considerando-se um montante de aproximadamente 100 mil passageiros transportados, já é nítida a interferência.

Observando-se as DMUs consideradas eficientes, é possível inferir que as variáveis apresentaram pesos diferentes entre as linhas. Isto porque, no modelo considerado, é encontrada uma solução de um Problema de Programação Linear (PPL) específica para cada DMU, o que permite que altos pesos sejam atribuídos para algumas linhas, em detrimento de pesos muito pequenos, inclusive nulos, para outras, como pode-se observar na Tabela 9.

Tabela 9 - Pesos atribuídos a cada variável pelo modelo BCC orientado a outputs.

Linha	Pesos (Pesos Inputs = v; Pesos Outputs = u)				
	Frota	Distância Percorrida	Passageiros Transportados	Receita	v_* (fator de escala)
10	0,3918128	0,00000013	0	0,0000009	-0,0044315
11	0,09882849	0,00000553	0	0,00000104	-0,20155759
12	3,4284937	0,00000763	0	0,00000807	-1,3385215
13	0	0,0000315	0	0,00000472	-0,63621085
14	0,12520912	0	0,00000059	0	-0,00167297
15	0,4497139	0,00002506	0	0,00000471	-0,91551474
16	2,8648603	0,00000637	0	0,00000674	-1,1184728
17	0,54319398	0,00002494	0,0000103	0	-1,0025355
18	0,14788354	0,00000508	0,00000062	0,00000081	-0,19606111
19	1,846136	0,00000411	0	0,00000435	-0,72075171
20	1,6154392	0,00009008	0,00000005	0,0000169	-3,2895889
21	0,21158191	0	0	0,00000048	0,00844862
22	1,2017019	0,00000285	0,00000324	0,0000015	-0,43446266
23	0,83249799	0,00000194	0,00000438	0	-0,31954674
24	0,77360211	0,0000018	0,00000407	0	-0,2969401
25	0	0	0	0,00000034	1,2078992
26	0,52598423	0,00000117	0	0,00000124	-0,20535
27	0,40799369	0,00000013	0	0,00000094	-0,00461451
110	1,0135423	0	0,00000475	0	-0,01354235
120	0,37447636	0	0	0,00000085	0,01495312
50	0,09193139	0,00000316	0,00000038	0,0000005	-0,12188084
51	0,14816603	0,00000826	0	0,00000155	-0,30163217
52	0,19116326	0,00001066	0,00000001	0,000002	-0,38927403
53	0,15468432	0	0	0,00000035	0,00617666
54	0,40232561	0,00000013	0	0,00000093	-0,0045504
55	0,42721036	0	0	0,00000097	0,01705883
56	1,1644495	0,00000271	0,00000612	0	-0,44696329
57	0,47393172	0	0	0,00000108	0,01892445
58	1,0375284	0	0	0,00000235	0,04142929
59	0	0,0000023	0,00000077	0	-0,01649084
60	0,07171767	0,00000401	0	0,00000075	-0,14626592
61	0,96185726	0,00005361	0	0,00001007	-1,9581216
62	1,2268938	0,00000273	0	0,00000289	-0,47899277
63	0	0,00180934	0,00053967	0	-38,985003
64	1,2198637	0,00000271	0	0,00000287	-0,47624814

65	0,2007846	0,00000007	0	0,00000046	-0,00227092
66	1,4255789	0,00000332	0,00000749	0	-0,54719542
67	3,796826	0,00000845	0	0,00000894	-1,4823224
111	1,0201077	0	0	0,00000231	0,04073366
121	0,33649545	0	0	0,00000076	0,01343651

Os fatores de escala que aparecem discriminados na última coluna do quadro acima, indicam, quando positivos, retornos decrescentes de escala e, quando negativos, retornos crescentes de escala, características do modelo BCC orientado a outputs. Isto porque, se a variação nos inputs é menor que a variação nos outputs, a DMU apresenta retornos crescentes de escala e, se a variação nos inputs é maior que a variação nos outputs, a DMU apresenta retornos decrescentes de escala [17].

Em uma análise minuciosa dos resultados, vê-se que, pesos muito pequenos, ou quase nulos, em DMUs eficientes, se aumentados, poderiam trazer malefícios para a eficiência da linha. O que nota-se na linha 14, por exemplo, no qual três variáveis apresentam valores insignificantes (distância percorrida, passageiros transportados e receita). Assim, se a variável receita fosse forçada a ter um peso maior, poderia tornar a DMU ineficiente, o que revela um ponto crítico da linha.

5. Conclusões

O presente estudo sustentou-se na apuração de variáveis de entrada e saída (*inputs/outputs*) referentes ao funcionamento de linhas de transporte público coletivo, na escolha do método DEA, e no processamento dos dados pelo software SIAD, o que objetivava preencher lacunas na literatura referentes a avaliações do transporte público atual, bem como, traçar meios de se alcançar a fronteira de eficiência.

Desta forma, 40 linhas de transporte público coletivo da cidade de Uberaba foram analisadas, sendo elas pertencentes a duas empresas concessionárias, Piracicabana e Líder.

Do total de linhas consideradas, apenas 7 delas alcançaram a eficiência, o que representa 17,5% do total de linhas. Para que se entenda tal resultado, há que se atentar aos gaps encontrados, como o itinerário restrito de algumas linhas, que impossibilita a lotação dos veículos, e linhas que transportam, majoritariamente, estudantes, os quais pagam somente metade da tarifa, o que faz com que a variável 'receita' destas, termine prejudicada.

A respeito da lotação de veículos comprometida, uma sugestão para possíveis pesquisas seria considerar a receita como o líquido, ou seja, os valores de entrada (passageiros pagantes) subtraídos dos valores de saída, como o gasto com combustível, por exemplo. Isto porque, uma vez que a demanda é menor, uma sugestão seria a redução da capacidade de transporte dos ônibus, como a utilização de um micro-ônibus, o que reduziria os custos com combustível e equilibraria as receitas (entendidas neste outro cenário), não prejudicando a eficiência das linhas.

Ademais, constatou-se problemas como baixa demanda de passageiros em linhas que percorrem itinerários interurbanos. Neste ponto, e buscando-se diminuir o número de DMUs consideradas 'medianas' na análise de eficiência, apresentam-se necessárias pesquisas operacionais do transporte coletivo, sejam elas: pesquisas de oferta, que visam mapear as condições operantes, e pesquisas de demanda, que buscam mensurar a real necessidade de determinados itinerários em horários específicos, diminuindo, assim, o número de viagens ociosas.

A avaliação da eficiência de qualquer meio, entretanto, torna atentos os órgãos gestores para a destinação de recursos e apresenta-se como um caminho de fácil visualização dos principais gaps que precisam ser sanados pontualmente. Neste cenário, [18] defende que a técnica DEA garante a neutralidade da análise, visto que permite, a cada DMU, a definição dos pesos de suas variáveis. Desta forma, o método garante a imparcialidade na avaliação, o que apresenta-se como caminho essencial para monitoramento de objetivos e busca pela eficiência.

No entanto, nota-se que a análise da eficiência de linhas de transporte coletivo está sujeita a fatores não mensuráveis, e que é preciso se atentar a tais fatores para que as inferências não

ajam contra o direito à mobilidade urbana e o bem-estar social.

Variações de modelo, inclusive dentro da Análise Envoltória de Dados, como a orientação simultânea a inputs e outputs, modelo SBM, e a escolha mais criteriosa, caso haja a disponibilidade de variáveis, levando-se em conta os fatores acima citados, seriam sugestões para futuras pesquisas na grande área.

Vê-se, na literatura, que o transporte público coletivo ainda é um potencial não explorado, mas pesquisas pontuais podem ser o caminho para uma maior democratização da mobilidade urbana no País.

Referências

- [1] R. C. Magagnin, A. N. R. Silva. A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana. *Transportes*, 16 (2008) 25-35. <https://doi.org/10.14295/transportes.v16i1.13>.
- [2] Confederação Nacional de Indústria. Retratos da Sociedade Brasileira. Brasília, 2015.
- [3] B. R. Sampaio, L. M. B. Sampaio, Y. Sampaio. Eficiência de sistemas de transporte público no Nordeste com Análise Envoltória de Dados. *Revista Econômica do Nordeste*, 37(2006) 261-275.
- [4] M. R. M. Araújo, J. M. Oliveira, M. S. Jesus, N. R. Sá, P. C. Santos, T. C. Lima. Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. *Psicologia & Sociedade*, 23 (2011) 574-582. <https://doi.org/10.1590/S0102-71822011000300015>.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15570: Transporte – Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros, 2009.
- [6] J. C. C. B. S Mello, A. L. Meza, E. G. Gomes, B. P. Serapião, M. P. E. Lins. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, 23(2003) 325-345.
- [7] A. S. Guerreiro. Análise da eficiência de empresas de comércio eletrônico usando técnicas da análise envoltória de dados. Dissertação de M.Sc., PUC-Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.
- [8] A. M. V. Azambuja. Análise de eficiência na gestão do transporte urbano por ônibus em municípios brasileiros. Tese de PhD, UFSC, Santa Catarina, SC, Brasil, 2002.
- [9] P. F. Santos, N. G. C. Morais, C. M. C. Ferreira. Aplicações da Análise Envoltória de Dados em sistemas de transporte público de passageiros. In: XXXIX SBPO A pesquisa operacional e o desenvolvimento sustentável. 28-31 de Agosto, Fortaleza, Brasil, 2007.
- [10] I. B. Sonza, V. F. D. Corte, F., P. J. Marion. Eficiência produtiva no transporte público urbano em Santa Maria (RS). XXXI Encontro da ANPAD, 23-26 de Setembro, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- [11] P. A. Viton. Technical Efficiency in Multi-Mode Bus Transit: A production frontier analysis. *Transp. Res.*, 26 (1997) 23-29. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(96\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(96)00019-7).
- [12] N. Husain, M. Abdullah, S. Kuman. Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): a case study in road transport department. *Total Qual. Manag.*, 11 (2000) 830-836. <https://doi.org/10.1080/09544120050008282>.
- [13] A. K. Boame. The technical efficiency of Canadian urban transit systems. *Transportation Research*, 40 (2004) 401-416. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2003.09.002>.
- [14] A. P. S. Rubem, P. M. Beltrán, J. C. C. B. S. Mello. Avaliação da eficiência das companhias aéreas brasileiras utilizando um modelo DEA em rede baseado em folgas. In: Anais do XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. São Paulo, SP, 2014.
- [15] Prefeitura Municipal de Uberaba. Correção da tarifa do ônibus será abaixo da inflação. www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,33966 (acesso em 19 novembro 2017).
- [16] L. Angulo Meza, L. Biondi Neto, J.C.C.B. Soares de Mello, E. G. Gomes. ISYDS– Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, 25 (2005) 493-503.
- [17] J. Benicio, J. Mello, L. Ângulo-Meza. Análise da eficiência sob retornos variáveis de escala: um estudo das instituições de ensino superior privado. In: XLVII SBPO, Porto de Galinhas,

Pernambuco-PE, 2015.

- [18] F. L. Casado. Análise envoltória de dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na educação superior. *Revista Sociais e Humanas*, 20 (2009) 59-71.

ORCID

A. L. B. Machado 0000-0001-8989-671X (<https://orcid.org/0000-0001-8989-671X>)
V. A. Falcão 0000-0003-0850-4281 (<https://orcid.org/0000-0003-0850-4281>)
F. C. Camioto 0000-0002-8818-0557 (<https://orcid.org/0000-0002-8818-0557>)