

VIABILIDADE DA MANUTENÇÃO DO SISTEMA TRÓLEBUS NA CIDADE DE SÃO PAULO

VIABILITY OF MAINTENANCE OF THE TROLLEYBUS SYSTEM IN SÃO PAULO CITY

VIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TROLEBUS EN LA CIUDAD DE SÃO PAULO

Gabriel Santos Rodrigues¹
João Gilberto Mendes dos Reis²
Sivanilza Teixeira Machado³

Artigo recebido em dezembro de 2023

Artigo aceito em fevereiro de 2024

DOI: 10.26853/Refas_ISSN-2359-182X_v10n04_05

RESUMO

Para neutralizar uma parte das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na cidade de São Paulo, tem-se como alternativa eletrificar a frota de um pouco mais de 13.000 ônibus. Em agosto/2023, apenas 220 ônibus eram elétricos, sendo 201 trólebus, um sistema confiável que está em operação há 74 anos, mas recentemente a Prefeitura anunciou sua pretensão de substituí-lo por ônibus elétricos a bateria (BEB). Ambientalmente sustentáveis os BEB ainda não têm uma operação consolidada no Brasil. Dessa forma, procurou-se mensurar, através de uma revisão bibliográfica, a importância do sistema de trólebus para a cidade de São Paulo. Além disso, verificou-se que mais de uma tonelada de CO₂ deixaria de ser emitida todos os meses na cidade com a operação dos trólebus, além de uma economia mensal de aproximadamente R\$ 3,034 milhões ou 51% do valor obtido com a redução das desutilidades referentes ao impacto negativo nas comunidades.

Palavras-chave: Trólebus; Ônibus Elétricos; Eletromobilidade; Mobilidade Elétrica.

ABSTRACT

To neutralize part of the Greenhouse Gas (GHG) emissions in the city of São Paulo, the alternative is to electrify the fleet of just over 13,000 buses. In August/2023, only 220 buses were electric, 201 of which were trolleybuses, a reliable system that has been in operation for 74 years, but recently the City Hall

¹ Doutorando em Engenharia de Produção. RESUP. Universidade Paulista -UNIP. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. E-mail: biel.rodrigues@outlook.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1831549631853542>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8591-9670>.

² Doutor em Engenharia de Produção. RESUP. Universidade Paulista – UNIP. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Universidade Presbiteriana Mackenzie. Centro de Ciências Sociais Aplicadas. E-mail: joao.reis@docente.unip.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4186274266406358>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6409-2299>.

³ Doutora em Engenharia de Produção – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Suzano. E-mail: sivanilzamachado@ifsp.edu.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1929960299374196>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2746-7885>.

announced its intention to replace it with battery-electric buses (BEB). Environmentally sustainable, BEBs do not yet have a consolidated operation in Brazil. In this way, we sought to measure, through a bibliographical review, the importance of the trolleybus system for the city of São Paulo. Furthermore, it was found that more than a ton of CO₂ would no longer be emitted every month in the city with the operation of trolleybuses, in addition to a monthly saving of approximately R\$ 3.034 million or 51% of the value obtained with the reduction of disutilities regarding the negative impact on communities.

Keywords: Trolleybus; Electric Buses; Electromobility; Electric Mobility.

RESUMEN

Para neutralizar parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la ciudad de São Paulo, la alternativa es electrificar la flota de poco más de 13.000 autobuses. En agosto de 2023, sólo 220 autobuses eran eléctricos, de los cuales 201 eran trolebuses, un sistema fiable que lleva 74 años en funcionamiento, pero recientemente el Ayuntamiento anunció su intención de sustituirlo por autobuses eléctricos de batería (BEB). Ambientalmente sustentables, las BEB aún no tienen operación consolidada en Brasil. De esta manera, buscamos medir, a través de una revisión bibliográfica, la importancia del sistema de trolebuses para la ciudad de São Paulo. Además, se constató que con la operación de trolebuses se dejaría de emitir más de una tonelada de CO₂ cada mes en la ciudad, además de un ahorro mensual de aproximadamente R\$ 3.034 millones o el 51% del valor obtenido con la reducción de desutilidades en cuanto al impacto negativo en las comunidades.

Palabras clave: Trolebús; Autobuses Eléctricos; Electromovilidad; Movilidad eléctrica.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte são fundamentais para que as pessoas consigam se deslocar para realizar suas atividades, como trabalho estudo e lazer. Aproximadamente 107.000 ônibus são responsáveis por 85,7% das viagens de transporte público no Brasil, sendo em quase sua totalidade movidos a diesel (NTU, 2017).

Esses ônibus são grandes causados de poluição, pois são emissores de Dióxido de Carbono (CO₂), que é um dos principais responsáveis pelos Gases de Efeito Estufa (GEE). Cerca de 3.000 pessoas morrem por ano devido a poluição atmosférica (SALDIVA, 2007). Por isso, a sociedade vem buscando alternativas para reduzir essas emissões, através de matrizes energéticas mais sustentáveis.

A cidade de São Paulo, por exemplo, pretende neutralizar as emissões de GEE até 2050 e para isso planeja a eletrificação de sua frota de ônibus (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2021). Em agosto/2023, dos 13.309 em circulação, 220 eram elétricos, esse número corresponde a apenas 1,65% do total (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2023). Dos 220 ônibus elétricos, 19 são movidos a bateria e 201 são trólebus.

Os trólebus são tradicionais e estão em operação na cidade há 74 anos, e atualmente, operam 10 linhas e transportam 8 milhões de passageiros por mês (SANT'ANNA, 2023). Porém, durante toda essa discussão de eletrificação os trólebus aparentemente, não estão sendo levados em consideração devido a necessidade de rede área, que para a prefeitura, tem um custo alto de manutenção (BAZANI; FERRARI, 2023).

Desse modo, nesse estudo, propõe-se analisar o sistema de trólebus da cidade de São Paulo, calculando a quantidade de CO₂ que deixaria de ser lançado no ar pelos 201 trólebus,

além de uma análise financeira dos custos operacionais desses trólebus, e se há uma viabilidade economia ao ser comparado com o valor referente ao custo das emissões de Gases Locais e GEE, assim verificando o impacto financeiro da operação desses veículos e propondo soluções para manutenção da atividade desse sistema limpo e confiável.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Inicia-se o referencial teórico com o trólebus.

2.1 Trólebus

Os trólebus (Figura 1), são ônibus movidos a energia elétrica, que circulam carregados dinamicamente, conectados a uma rede aérea. A palavra deriva do inglês trolley (fio) e bus (ônibus). Os trólebus surgiram a partir do Elektromote criado em 1882 na Alemanha por Siemens e Holske e em 1911, depois de alguns anos de evolução tecnológica, as primeiras linhas de trólebus entraram em operação na Inglaterra (FERREIRA, 1995).

Figura 1 – Trólebus



Fonte: Zanon (2013)

Em 1920, já havia produção de Trólebus nos Estados Unidos, e uma aceitação considerável desse tipo de veículo pelas empresas de transporte urbano do país, paralelamente na Europa Oriental os trólebus foram implantados em diversas cidades (MACEDO, 2017).

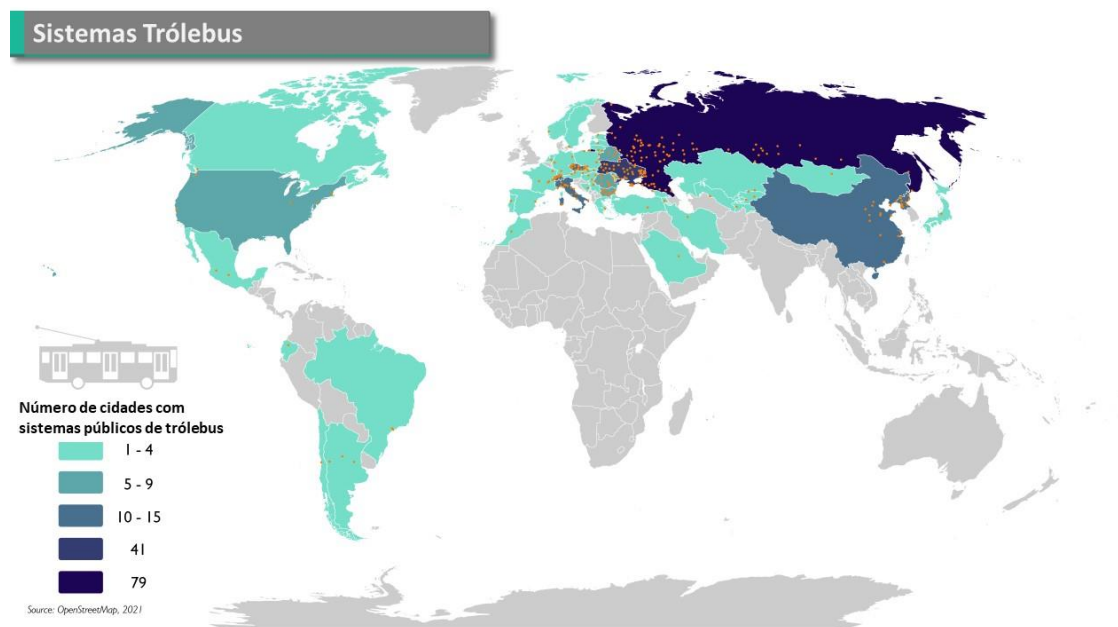
Parte da estrutura utilizada pelos bondes elétricos foi aproveitada pelos trólebus, o que facilitou sua implantação. Na época os trólebus por serem veículos com pneus eram mais flexíveis que os bondes, podendo ser manobrados desviando de algo que estivesse na via e se

aproximando da calçada para o embarque dos passageiros (GRIGORIEVA; NIKULSHIN, 2023).

Entre os anos 1930 e 1950, os trólebus tiveram sua melhor fase na história. Durante esse período, a Inglaterra teve a maior frota de trólebus da Europa Ocidental, só Londres contou com 1.764 veículos em operação e os Estados Unidos com 7.280 veículos em operação em 1952, um aumento de 329% em relação a 1939, além desses países existiam sistemas de trólebus no México, Espanha, França, Itália, Iugoslávia, Grécia e Suécia (FERREIRA, 1995).

Na segunda metade do século XX, os sistemas de trólebus diminuíram e se estimou que já existiram cerca de 800 sistemas deste tipo de veículo. A Figura 2 apresenta os sistemas trólebus em operação no mundo, aproximadamente 300 cidades possuem sistemas trólebus em operação atualmente, muitos deles se complementando a demais modos de transporte (LANDGEIST, 2021; UITP, 2023).

Figura 2 - Sistemas Públicos de Trólebus no Mundo



Fonte: Adaptado de Landgeist (2021)

A maioria dos sistemas trólebus estão localizados na Europa e na Ásia, se concentrando, principalmente, nos antigos estados soviéticos, devido as sanções impostas pelos EUA e pela Europa Ocidental durante a Guerra Fria (BOROWIK; CYWIŃSKI, 2016), China e Coreia do Norte. Na Europa Ocidental Itália e Suíça possuem mais de cinco sistemas (LANDGEIST, 2021). Na América Latina existem 1.064 trólebus em operação, esse número equivalente 21% do total de 4.998 ônibus elétricos em circulação em setembro de 2023 (E-BUS RADAR, 2023)

O sistema de trólebus da Cidade do México é o maior deles com 500 veículos em operação, seguido pelo sistema municipal da cidade de São Paulo com 201 veículos e os trólebus da Região Metropolitana de São Paulo, gerenciados pela EMTU (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos), em operação no Corredor Metropolitano ABD (São Mateus / Jabaquara) com mais 96 veículos, somando-se os dois sistemas 297 veículos estão em operação em São Paulo, mas também existem trólebus na Argentina (Córdoba, Rosario e

Valparaíso), Equador (Quito), Guadalajara (México) e Venezuela (Mérida) (E-BUS RADAR, 2023).

2.2 Trólebus em São Paulo

Os estudos para a implantação dos “electrobus” na cidade de São Paulo se iniciaram em 1922, porém só foram aprofundados em 1939, e indicaram a viabilidade de implantação de uma linha de trólebus substituindo os bondes que ligavam o bairro da Aclimação. O projeto foi arquivado devido a II Guerra Mundial e retomado em 1946 quando a Prefeitura deu início aos estudos para a criação da Companhia Municipal de Transportes Coletivos (CMTC) que herdaria o sistema de bondes da empresa Light (SILVA, 1999).

Os trólebus iniciaram as suas operações em São Paulo no dia 22 de abril de 1949, com veículos usados importados na “Linha 16 – Praça João Mendes – Aclimação” ligando a Praça João Mendes, no Centro, até a Praça General Polidoro, no bairro da Aclimação. Com o passar dos anos a linha foi estendida até o bairro do Pacaembu, e até hoje está em operação com a denominação “408A/10 – Machado de Assis – Cardoso de Almeida”.

Na época os trólebus, por serem flexíveis, seriam uma melhoria para o sistema de bondes, e o planejamento de transportes na cidade ainda estava no começo. Dessa forma, nesse período, não se tinha uma visão integrada de rede de transporte, com diferentes modos se complementando, portanto, as trocas de modais eram feitas sem critério, com naturalidade acreditando-se que era uma evolução tecnológica natural dos modos de transporte (SILVA, 1999).

Em 1958 foi construído o primeiro trólebus no Brasil e a rede de trólebus se expandiu. Em 1960, o sistema já tinha 15 linhas e a frota chegou a 156 unidades, mas sem encontrar um espaço para essa tecnologia dentro de todo o sistema, muitas vezes, operando paralelamente com ônibus a diesel de pequena capacidade ou em vias sem nenhum tratamento viário (SILVA, 1999).

Em 1963, um estudo realizado pela CMTC verificou que a operação dos trólebus era mais vantajosa se comparada ao ônibus a diesel e bondes, mesmo assim houve uma expansão da frota de veículos a diesel, pois os trólebus ainda eram caros devido à baixa demanda para esse tipo de veículo (FERREIRA, 1995; STIEL, 1978, 1984).

No início da década de 70, devido à crise do petróleo se constatou a necessidade de se depender menos desse tipo de combustível e as questões ambientais passaram a ter um novo valor de importância para sociedade (SILVA, 1999). Em 1976 foi elaborado o plano Estudo de um Sistema de Transporte de Trólebus (SISTRAN) para a cidade de São Paulo, que criava um sistema de média capacidade de transporte privilegiando os trólebus em corredores exclusivos, o projeto piloto foi construído na Avenida Paes de Barros em 1980, ver Figura 3 (BRANCO, 2012; FERREIRA, 1995).

Figura 3 - Corredor - Avenida Paes de Barros (1985)



Fonte: São Paulo Antiga (2018)

Na década de 80, um estudo coordenado pelo Companhia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ), planejou uma rede intermunicipal de trólebus na Região Metropolitana de São Paulo integrada com os sistemas de alta capacidade, tais como Metrô e Trens e, também, ao sistema de trólebus do município de São Paulo, a partir desse projeto surgiu o Corredor Metropolitano ABD (São Mateus / Jabaquara) (Figura 4) (BERKES; COELHO; LAGE, 2013; FERREIRA, 1995). Contudo, o sistema passou por uma crise com a interrupção da expansão da rede, devido ao aumento do preço da energia elétrica e a redução do preço do petróleo no mercado internacional, que tornou os veículos a diesel mais interessantes (SILVA, 1999).

Figura 4 - Corredor Metropolitano ABD (São Mateus / Jabaquara)



Fonte: Cataposto (2023)

Em 1993, a CMTC foi privatizada pela Prefeitura de São Paulo e a operação dos Trólebus ficou a cargo de empresas particulares, que deveriam reformar os veículos existentes e aumentar a frota. Em 1998, o sistema chegou a sua melhor fase com uma rede de 264,75 km, 31 linhas e uma frota de 552 veículos (ALBUQUERQUE, 2019; SILVA, 1999).

A partir de 2001, o processo de redução da rede de trólebus se intensificou, o argumento era que os custos da operação dos trólebus eram altos, que o sistema não possuía flexibilidade devido a rede aérea (BAZANI, 2023). Neste contexto, o sistema de transporte por trólebus foi sucateado e perdendo espaço, sendo revitalizado entre 2007 e 2014 quando a frota de trólebus foi renovada e ampliada para 201 veículos.

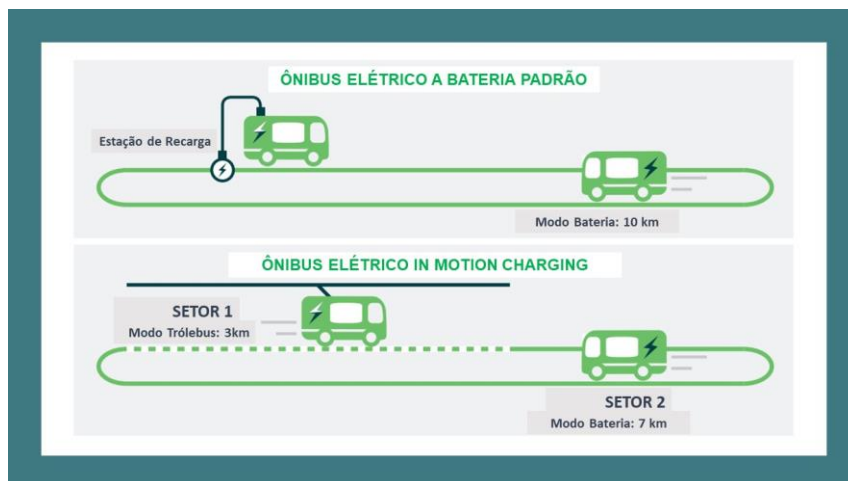
2.3 Tecnologia In-Motion-Charging (IMC) – O novo trólebus

Se por um lado os trólebus são mais caros que um ônibus a diesel, as alavancas podem escapar da rede aérea e atrapalhar o trânsito, por outro lado, em alguns modelos mais novos existem baterias que permitem trafegar com os trólebus, uma distância, desconectados da rede, e por serem baterias menores podem ser descartadas ao final de sua vida útil com maior facilidade do que as baterias estacionárias utilizadas nos Ônibus Elétricos a Bateria (BEB).

Para Bartłomiejczyk e Połom (2021), os trólebus são uma ferramenta importante, para a substituição dos combustíveis fósseis no sistema de transporte público urbano, e mesmo com a disponibilidade de baterias de alta capacidade e desenvolvimento tecnológico, os trólebus voltaram a ser populares devido a pequenas baterias, que permitem que os trólebus operem sem rede aérea aumentando a viabilidade operacional do sistema aliado a tecnologia de carregamento In-Motion-Charging (IMC).

A tecnologia IMC (Figura 5), é eficiente e proporciona uma solução interessante para a eletrificação dos sistemas de ônibus pode ser utilizado com ônibus a bateria ou trólebus. Nos trólebus o sistema carrega baterias enquanto está conectado à rede aérea e utilize essa energia armazenada enquanto trafega onde não existe a catenária, a cada quilômetro que ele trafega conectado pode andar mais dois ou três quilômetros desconectados da rede aérea dependendo do tipo de veículo, reduzindo os custos de infraestrutura dos trólebus e permitindo o compartilhamento da rede para recarregamento rápido dos ônibus a bateria (GUNTER et al., 2019).

Figura 5 - Tecnologia de carregamento In-Motion-Charging (IMC)



Fonte: Adaptado de Gunter et al. (2019)

Para Grygar et al. (2019), os trólebus, com carregamento em movimento, podem ser vistos como uma solução recomendada para cidades que já operando este sistema, pois ônibus elétricos são mais vantajosos economicamente, ambientalmente e socialmente em relação a ônibus a diesel.

Os ônibus elétricos podem adicionar energia proveniente de fontes renováveis (WOLEK et al.,2021). No Brasil as fontes renováveis fornecem 48,4% da energia utilizada no Brasil, se comparados com o resto do mundo onde apenas 15% das fontes de energia são renováveis, o Brasil emite menos Gases de Efeito Estufa (GEE) que a Europa (EPE, 2022).

Para Grygar et al. (2019), a tendência é que em um futuro próximo a implementação de trólebus assistidos por bateria combine os benefícios dos trólebus clássicos, com a flexibilidade e liberdade de movimento do ônibus convencional, porém existem fatores limitantes como capacidade das baterias e temperatura ambiente.

Por exemplo, a modernização da rede de Trólebus em Tychy na Polônia, com trólebus a bateria teve efeitos positivos como: proteção do meio ambiente, economia de energia, e redução da emissão de gases, além de tornar o sistema de trólebus mais flexível e acessível, para outras áreas da cidade (BOROWIK; CYWIŃSKI, 2016).

3 MÉTODO

O objetivo deste estudo foi mensurar a importância da rede de trólebus da cidade de São Paulo, pois após 20 anos, o assunto de desativação da rede de trólebus voltou a pauta sendo praticamente uma antítese a eletrificação da frota proposta pelo poder público. Dos 220 ônibus elétricos em operação no dia 15/09/2023, 201 são trólebus e 19 movidos a bateria.

O sistema de trólebus é composto por 168,42 km de rede aérea, 22 Estações Transformadoras Retificadoras (ETR), transporta 8 milhões de passageiros/ mês (SANT'ANNA, 2023; SPTRANS, 2023).

Existem 10 linhas de trólebus em operação sendo (oito linhas base e dois atendimentos). A Tabela 1 apresenta uma síntese das linhas de trólebus em operação em um mês (com 22 dias uteis, 4 sábados e 4 domingos).

Tabela 1 – Síntese Geral do Sistema Trólebus do Município de São Paulo

Linha	Sentido	Distância (km)	Viagens			Total (km/Mês)
			Dias Uteis	Sábados	Domingos	
2002/10	Circular	7,12	126	108	97	25.575
2100/10	Praça da Sé	15,27	178	86	-	65.050
	Terminal Vila Carrão	15,59	168	86	-	62.984
2100/21	Term. Pq. D. Pedro II	15,69	-	-	86	5.397
	Terminal Vila Carrão	14,64	-	-	86	5.036
2290/10	Term. Pq. D. Pedro II	25,87	208	120	89	140.008

	Term. São Mateus	21,33	200	114	81	110.489
2290/21	Term. Pq. D. Pedro II	20,81	8	-	-	3.663
3160/10	Term. Pq. D. Pedro II	8,70	149	96	48	33.530
	Term. Vila Prudente	7,96	141	94	47	29.181
342M/10	Term. Penha	16,07	204	150	89	87.485
	Term. São Mateus	16,10	204	143	84	86.876
4112/10	Circular	12,92	70	-	-	19.897
4113/10	Circular	20,85	170	123	85	95.326
408A/10	Cardoso de Almeida	11,33	78	37	39	22.887
	Machado de Assis	9,11	78	37	39	18.402
Total (Todas as linhas) (km/mês)						811.786

Fonte: autores

A partir desses dados foi calculada a emissão de CO₂ que deixam de ser emitidas, pois os trólebus são movidos a energia elétrica, utilizando-se da metodologia de (CARVALHO, 2011), que utiliza o valor da quilometragem multiplicada pelo fator 1,28, para de terminar o kg de CO₂ emitido por quilometro em um veículo pesado como um ônibus diesel.

Paralelamente, calculou-se a desutilidade, de impactos negativos na comunidade, ou seja, o impacto financeiro da emissão de Gases Locais e de GEE que deixam de ser emitidos na atmosfera, pois os veículos são movidos a energia elétrica. Para isso, aplicou-se a metodologia recomendada por (RAYMUNDO; REIS, 2023), com as definições para veículos “Ordinary Bus”, que são os ônibus urbanos com tecnologia EURO V em uma área urbana.

Como existem dois modelos de trólebus em operação, o primeiro de 12,5 metros (100 veículos), com capacidade para 80 passageiros, e o segundo de 15 metros (101 veículos), com capacidade para 93 passageiros e eles podem operar, de forma mesclada em algumas linhas, ou até mesmo ser substituídos eventualmente por veículos a diesel, convencionou-se a utilizar o modelo de trólebus de 12,5 metros para esse estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dessa maneira verificou-se que 1.039.087 kg de CO₂ não são despejados na atmosfera todos os meses devido aos ônibus elétricos. Esse valor gera um crédito de carbono por mês na cidade de São Paulo.

Em 2022, a rede de trólebus teve disponibilidade de energia de 99,9% do tempo, e sofreu 3.317 intervenções, sendo que apenas 194 foram emergenciais, esse valor corresponde a aproximadamente 6%, comprovando a confiabilidade do sistema trólebus de São Paulo (SPTRANS, 2023).

Em relação aos impactos negativos nas comunidades são poupados R\$ 5.943.575,31 por mês (Cotação do Euro R\$ 5,20 em 15/09/2023). Os valores estão detalhados na Tabela 2 onde são apresentados os valores referentes aos Gases Locais e os GEE.

Tabela 2 – Impactos Negativos nas Comunidades

		Pass./km		Total
Gases Locais	R\$	0,06	R\$	3.917.356,45
GEE	R\$	0,03	R\$	2.026.218,85
		Total	R\$	5.943.575,31

Fonte: autores

Os valores chegam aproximadamente R\$ 6 milhões, que deixam de ser gastos de forma indireta pelo poder público por se poluir menos utilizando os veículos elétricos.

Para calcular os custos operacionais do sistema trólebus considerou-se os custos de manutenção da rede aérea e o custo de energia elétrica para a operação. Para o custo de manutenção da rede R\$ 1,53 milhão/mês e para a energia elétrica foi considerado o custo médio da energia que é de R\$ 1,85/km (SILVA, 2022). Somados chegou-se ao valor global de R\$ 3.033.590,77/mês ou 51% do valor obtido com a redução das desutilidades.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de trólebus de São Paulo pode ser visto como antiquado por diversos gestores que passaram pela Prefeitura, porém em meio a discussão de um transporte mais sustentável e com zero emissão de gases, não levar em consideração os trólebus que operam na cidade há 74 anos pode ser um equívoco estratégico, principalmente com a pauta de cidades mais sustentáveis.

Além de um patrimônio histórico da cidade, os trólebus são confiáveis e sua tecnologia já está consolidada e produzida nacionalmente. Obviamente, que existem os pontos negativos como a baixa flexibilidade e o custo da infraestrutura de rede elétrica. Entretanto, com a nova tecnologia In-Motion-Charging (IMC) esses problemas são atenuados, podendo-se expandir o acesso dos trólebus a mais áreas da cidade.

Além disso, os trólebus podem compartilhar essa tecnologia com ônibus elétricos a bateria, permitindo a recarga das baterias durante a operação, reduzindo o tempo que esse ônibus fica indisponível para recarga facilitando sua operação.

Os trólebus, também, diminuem as desutilidades de transporte ligadas a poluição atmosférica, que afetam as comunidades e esse valor faz com que sua operação seja vantajosa, mesmo mais cara, pois o custo das desutilidades é maior que o custo de manutenção da rede e do custo da energia utilizados pelos trólebus.

Uma “modernização” do Plano SISTRAN com trólebus operando em corredores exclusivos e ônibus elétricos a bateria fazendo a alimentação desses corredores pode ser uma alternativa viável para a eletrificação da frota de ônibus da cidade de São Paulo.

As novas tecnologias estão surgindo rapidamente para tornar o mundo mais sustentável, substituir as vezes é inevitável, mas as vezes as soluções para o futuro estão ou estiveram em um passado, mas em algum momento foram vistas de forma antiquada.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. **Exposição mostra história de ônibus elétricos na cidade de São Paulo.** Agência Brasil, 2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-06/exposicao-mostra-historia-de-onibus-eletricos-na-cidade-de-sao-paulo>>. Acesso em: 14 out. 2021

BARTŁOMIEJCZYK, M.; POŁOM, M. Sustainable Use of the Catenary by Trolleybuses with Auxiliary Power Sources on the Example of Gdynia. **Infrastructures**, v. 6, n. 4, p. 61, abr. 2021.

BAZANI, A. **Trólebus 74 anos: Um meio de transporte que é viável para os dias de hoje e para o futuro.** Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2023/04/21/trolebus-74-anos-um-meio-de-transporte-que-e-viavel-para-os-dias-de-hoje-e-para-o-futuro/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

BAZANI, A.; FERRARI, A. **Subsídios vão aumentar com ônibus elétricos e Nunes confirma que quer fim gradativo de trólebus.** Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2023/09/19/ouca-subsidios-vao-aumentar-com-onibus-eletricos-e-nunes-confirma-que-quer-fim-gradativo-de-trolebus/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

BERKES, R. B.; COELHO, C. A. P.; LAGE, C. C. História e evolução na ampliação da rede. **Revista Brasil Engenharia**, n. 616, p. 2, 2013.

BOROWIK, L.; CYWIŃSKI, A. Modernization of a trolleybus line system in Tychy as an example of eco-efficient initiative towards a sustainable transport system. **Journal of Cleaner Production**, v. 117, p. 188–198, 20 mar. 2016.

BRANCO, A. Mobilidade Urbana. **Brasil Engenharia**, n. 610, p. 1, 2012.

CARVALHO, C. H. **Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros.** , 2011. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=9567>. Acesso em: 4 abr. 2022

CATAPOSTO, A.; REDAÇÃO ESTADÃO MOBILIDADE. **Inscrições para segunda edição do Concurso de Fotografia EMTU acontecem até o dia 20 de setembro.** , 2023. Disponível em: <<https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/se-divertir/emtu-concurso-fotografia/>>. Acesso em: 22 set. 2023

E-BUS RADAR. **E-Bus Radar.** E-BUS RADAR, 2023. Disponível em: <<https://www.ebusradar.org/>>. Acesso em: 30 ago. 2023

EPE. **Matriz Energética.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FERREIRA, E. R. **Trólebus, espaço e sociedade.** Doutorado em Transportes—São Carlos: Universidade de São Paulo, 1995.

GRIGORIEVA, O.; NIKULSHIN, A. Trolleybuses and trams in the urban public transport network of Russian regions: problems and prospects. **E3S Web of Conferences**, v. 371, p. 04019, 2023.

GRYGAR, D. et al. Analysis of limiting factors of battery assisted trolleybuses. **Transportation Research Procedia**, TRANSCOM 2019 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport. v. 40, p. 229–235, 1 jan. 2019.

GUNTER, M. et al. **In Motion Charging Innovative Trolleybus**. [s.l.] UITP, 2019.

LANDGEIST. **Trolleybus Systems**. , 2021. Disponível em: <<https://landgeist.com/2021/07/04/trolleybus-systems/>>. Acesso em: 22 set. 2023

MACEDO, J. E. J. **Estudo de linha de trólebus em Natal**. PhD Thesis—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

NTU. **NTU 30 anos**. Brasília: Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, 2017.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. **PlanClima SP**. , 2021. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/governo/secretaria_executiva_de_mudancas_climaticas/aceso_a_informacao/acoes_e_programas/planclimasp/index.php?p=315991>. Acesso em: 6 nov. 2021

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. **Frota Contratada**. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/institucional/sptrans/aceso_a_informacao/index.php?p=245214>. Acesso em: 18 set. 2023.

RAYMUNDO, H.; REIS, J. G. M. How to Measure Performance Evaluation in Urban Passenger Transportation by Disutilities: Model and Application in the Ten Largest US Cities. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 149, n. 2, p. 04023007, jun. 2023.

SALDIVA, P. H. N. **Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve): Emissões de Poluentes Atmosféricos por Fontes Móveis e Estimativa dos Efeitos em Saúde na RMSP – cenário atual e projeções**. PhD Thesis—São Paulo: USP/Faculdade de Medicina/Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental, 2007.

SANT'ANNA, E. **Prefeito quer acabar com trólebus em SP: vale a pena abandonar ônibus ligados à rede elétrica?** Disponível em: <<https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/prefeito-quer-acabar-com-trolebus-em-sp-vale-a-pena-colocar-fim-nos-onibus-ligados-a-rede-eletrica/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

SÃO PAULO ANTIGA. **São Paulo Antiga - Avenida Paes de Barros em 1985**. Disponível em: <<https://www.facebook.com/saopauloantiga/photos/a.415416721847984/2098820436840929/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

SILVA, A. C. 50 anos de trolebus em São Paulo. **Revista dos Transportes Públicos**, p. 13, 1999.

SILVA, T. **Um diagnóstico atual do sistema trólebus paulistano**. , 2022. Disponível em: <<https://plamurblog.wordpress.com/2022/04/07/um-diagnostico-atual-do-sistema-trolebus-paulistano/>>. Acesso em: 15 set. 2023

SPTRANS. **Relatório Integrado da Administração 2022**. Disponível em: <<https://www.sptrans.com.br/relatorio-integrado-da-administracao-2022/>>. Acesso em: 15 set. 2023.

STIEL, W. C. **História dos Transportes Coletivos em Sao Paulo**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

STIEL, W. C. **História do transporte urbano no Brasil: história dos bondes e trólebus e das cidades onde eles trafegaram**. Brasília: EBTU : PINI, 1984.

UITP. **Trolleybus**. Disponível em: <<https://www.uitp.org/topics/trolleybus/>>. Acesso em: 11 set. 2023.

WOŁEK, M. et al. Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123807, 10 jan. 2021.

ZANON, M. **Trólebus**. Disponível em: <<https://monicazanon.com.br/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.