

Comparação entre Ônibus Elétrico a Bateria e Ônibus a Diesel: Revisão Expositiva da Literatura Atual



Luiz Fernando Cardoso dos Santos Durão (ESEG)
luiz.durao@eseg.edu.br

Cláudia Aparecida Soares Machado (USP)
claudia.machado@usp.br

Harmi Takiya (TCM - SP)
harmi.takiya@tcm.sp.gov.br

Charles Lincoln Kenji Yamamura (USP)
charles.yamamura@usp.br

José Alberto Quintanilha (USP)
jaquinta@usp.br

As consequências das emissões resultantes da combustão fóssil são objeto de discussão corrente. Um tema de especial importância é o transporte coletivo movido a Diesel cujo o principal expoente, no Brasil, é o ônibus. O presente artigo oferece uma revisão da literatura recente (principalmente no biênio 2020/2021) comparando os ônibus movidos a Diesel e os movidos a bateria, com o intento de destacar os principais elementos para a análise e a tomada de decisões entre as tecnologias concorrentes. As quatro dimensões fundamentais de comparação são a eficiência energética, o impacto ambiental, os custos operacionais e a economia de infraestrutura. Uma única tecnologia, geralmente, não é ótima em todos os critérios, existindo significativa variabilidade em função de fatores como as fontes de energia originárias, o preço das alternativas energéticas, peculiaridades geográficas, condições climáticas, padrões de utilização dos serviços entre outros. Ainda assim, parcela significativa da literatura parece indicar proclividade em direção aos ônibus elétricos a bateria.

Palavras-chave: Ônibus Elétrico a Bateria, Sustentabilidade, Transporte.

1. Introdução

Com a crescente preocupação em relação a adoção de medidas sustentáveis, diversos aspectos relacionados a preservação do meio ambiente e da sociedade são discutidos na academia. Dentre eles, a diminuição na emissão de poluentes e de ruídos. Relacionado a esses dois aspectos, um tópico que merece atenção e discussão é a transição das frotas de ônibus movidas a Diesel (OD) para ônibus elétricos a bateria (OEB), seguindo exemplos internacionais na redução de gases de efeito estufa e no consumo de combustíveis fósseis.

Este artigo apresenta uma revisão da literatura sobre o tema, considerando os principais artigos publicados entre os anos de 2020 e 2021. O objetivo desta revisão é elencar os principais fatores a serem controlados e as variáveis a serem medidas para uma comparação de desempenho entre as principais matrizes energéticas, mencionados na bibliografia consultada. Com isso, será possível indicar às empresas operadoras de ônibus, possíveis caminhos e tendências para uma eventual e gradual migração das frotas de OD para OEB.

O artigo está estruturado em 4 partes. A seção 2 apresenta os procedimentos metodológicos levados em consideração para a construção da amostra. A seção 3 apresenta os principais resultados da busca bibliográfica. Finalmente, a 4 seção apresenta as principais conclusões do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

2. Metodologia

A metodologia apresentada deste trabalho inclui uma mistura de abordagens qualitativas e quantitativas. Ela combina uma revisão de literatura reduzida e uma análise de conteúdo para investigar o tópico de pesquisa.

Foi usada como string de pesquisa “Electric Bus” AND “Diesel Bus” AND “Comparison” com limitações para os anos de 2021 e 2022 resultando em 210 artigos para serem analisados. O primeiro filtro foi aplicado considerando a leitura do abstract dos artigos. Já o segundo foi em através da leitura dos artigos.

3. Resultados

Por meio desta revisão bibliográfica, foi possível identificar constructos que podem e deveriam ser controlados para a realização de experimentos voltados à comparação entre OEB e OD. Estes constructos podem ser separados em quatro categorias, conforme a tabela 1:

Tabela 1: Síntese das conclusões

Autor	Consumo	Condição operacional	Meio ambiente	Infraestrutura	Constructos
Mahmoud et al. (2016)		X	X		Eficiência econômica, ambiental, operacional e energética
Todoruț, Cordoș e Iclodean (2020)	X		X		Consumo de combustível (OD) vs. consumo de energia vs. distâncias percorridas para avaliar a redução de emissão de CO ₂ pela introdução dos ônibus elétricos
	X	X			Avaliação do consumo ótimo de energia dos ônibus elétricos de acordo com as condições climáticas durante o período considerado
			X	X	<p>Avaliar a emissão de ônibus em áreas de paradas de ônibus, áreas de interseção e seções de estradas para diferentes tipos de combustível, considerando:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coleta de dados instantâneos de velocidade, aceleração e emissões - Identificação e comparação das emissões poluentes em locais diferentes - Mapas de calor para explorar as mudanças nas emissões para o ponto de ônibus, interseção e seções de estradas, respectivamente

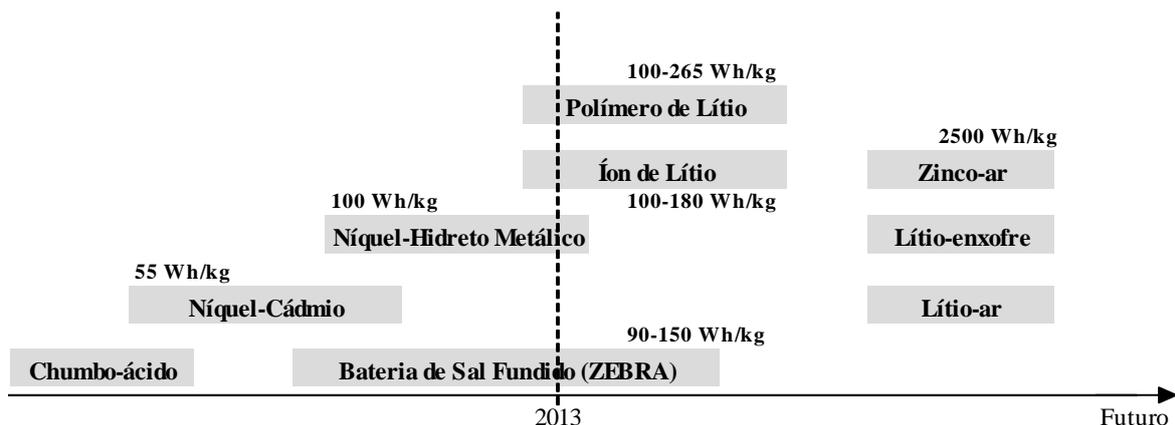
Autor	Consumo	Condição operacional	Meio ambiente	Infraestrutura	Constructos
Cooney, Hawkins e Marriott (2013)		X	X		Avaliação do ciclo de vida considerando os custos de compra, operação, manutenção e emissão de carbono
Ma et al. (2021)	X	X			Atributos que afetam o consumo de energia de ônibus elétricos e ODs são características da rota e condição operacional
Wei et al (2018)				X	Projeto e a otimização da futura rede de trânsito concentrando-se na redução do número e do espaçamento entre paradas e direção direta para atender demandas de passageiros
Wang et al. (2018)		X	X		Comparar as mudanças na velocidade do ônibus, aceleração e as emissões entre pontos de ônibus, cruzamentos e seções de estradas aplicando métodos estatísticos
An (2020)	X			X	Otimizar, conjuntamente, os locais das estações de carregamento e o tamanho da frota de ônibus em ônibus com cargas de demanda aleatórias, considerando as tarifas de energia elétrica por tempo de uso
				X	Mapeamento de dados em SIG para analisar o potencial de penetração do OEB em redes de ônibus de grande porte
Xylia et al (2017)				X	Identificar ou simular a localização da infraestrutura de carregamento para abastecer uma rede de ônibus da cidade

Autor	Consumo	Condição operacional	Meio ambiente	Infraestrutura	Constructos
Zhou et al. (2016)		X			Verificar quão diferentes sistemas de ar-condicionado, carregamento e configurações mais limpas e um aumento na eficiência de carregamento do sistema aumentariam os benefícios futuros dos ônibus elétricos

Fonte: Elaborado pelos autores

Em Mahmoud et al. (2016) os autores avaliaram quatro dimensões de desempenho de ônibus elétricos, incluindo eficiência econômica, ambiental, operacional e energética. Ressaltando que o artigo é de 2016, os autores comentam que uma única tecnologia não irá satisfazer as várias demandas operacionais e que os méritos ambientais do OEB, são dependentes do volume de GHG (*greenhouse gas* – gás de efeito estufa) emitido durante a geração de eletricidade. O artigo de Mahmoud et al. (2016) menciona ainda Catenacci, Verdolini e Fiorese (2013), de onde foi extraída a figura 1, mostrando o que se vislumbrava quanto ao desenvolvimento de baterias em 2013.

Figura 1 – Tecnologias de bateria para aplicação em veículos elétricos



Fonte: Adaptado de Catenacci, Verdolini e Fiorese (2013)

No artigo de Todoruț, Cordoș e Iclodean (2020), o objetivo foi de destacar a necessidade de substituir OD com padrões de emissão Euro Zero (não adotados em SP) por OEB com poluição local zero. Com este propósito, as condições de clima (temperatura e umidade), dados

ambientais, estatísticas sobre o consumo de combustível (para ODs), consumo de energia (para OEBs) e as distâncias percorridas, no período de julho a dezembro de 2018, foram a base para avaliar a quantidade de CO₂ reduzida pela introdução dos ônibus elétricos.

O estudo propôs um método de desvio da média da distribuição (MDD) para avaliar as emissões por ônibus em áreas de influência das paradas de ônibus, áreas de influência de interseção e seções de estradas para diferentes tipos de combustível. Três questões foram abordadas: (1) coleta de dados instantâneos de velocidade, aceleração e emissões em condições reais; (2) identificação e comparação das emissões de poluentes em locais diferentes; e (3) utilização de mapas de calor para explorar as mudanças nas emissões para as áreas de influência dos pontos de ônibus, áreas de influência de interseção e seções de estradas, respectivamente. Experimentos desta natureza são perfeitamente praticáveis no ambiente brasileiro, particularmente em São Paulo, embora as diferenças de temperatura não sejam tão elevadas quanto na Europa. Por outro lado, a umidade teria uma posição de destaque num experimento semelhante realizado no Brasil.

Três artigos (Cooney, Hawkins e Marriott, 2013; Lajunen e Lipman, 2016 e Borén, 2020) remetem a aspectos referentes ao ciclo de vida dos dois tipos de ônibus. Segundo Cooney, Hawkins e Marriott (2013), a avaliação do ciclo de vida (LCA) tem sido utilizada na literatura para comparar automóveis de passageiros movidos a gasolina com vários tipos de alternativas elétricas e híbridas. No entanto, não existem estudos detalhados semelhantes para ônibus de transporte público, uma lacuna que também pode ser preenchida no nosso país. Lembrando que a publicação é de 2013, os resultados do estudo de LCA indicam que a fase de uso, consistente na produção do Diesel e na combustão para o ônibus convencional, e a geração de eletricidade para o ônibus elétrico, domina a maioria das categorias de impacto. No entanto, os efeitos da produção da bateria são significativos para o aquecimento global, geração de carcinógenos, destruição da camada de ozônio e ecotoxicidade. Os autores sugerem que os formuladores de políticas devem considerar as variações regionais na rede elétrica antes de recomendar o uso de ônibus elétricos a bateria para reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂). Concluem que melhorias na tecnologia das baterias reduzem os impactos do ciclo de vida do ônibus elétrico, mas a composição da rede elétrica é a variável dominante.

O artigo de Lajunen e Lipman (2016) avalia os custos do ciclo de vida e as emissões de dióxido de carbono de diferentes tipos de ônibus urbanos. Dois cenários de ambiente operacional distintos foram utilizados para as fontes primárias de energia, Finlândia e Califórnia. Os custos do ciclo de vida considerados são relativos à compra, operação, manutenção e possível emissão

de carbono. Conforme a simulação, a eficiência energética dos ônibus urbanos pode ser melhorada significativamente pelas alternativas tecnológicas do trem de força.

Em Borén (2020), há uma revisão elaborada de trabalhos anteriores publicados sobre o tema. Segundo o autor, “estudos anteriores de sistemas de ônibus identificaram a necessidade de investigar mais atentamente os custos sociais, custo total de propriedade, uso de energia em uma base anual para contabilizar variações sazonais e ruído durante a aceleração”. Atender essas necessidades foi o propósito do autor em relação a cinco cidades da Suécia que recentemente introduziram ônibus elétricos em seus sistemas de transporte público. O autor verificou que houve economia significativa em custos sociais e custo total de propriedade quando comparado a ônibus movidos a diesel e a biogás, principalmente devido à diminuição do ruído, ausência de emissões na fase de uso e diminuição do uso de energia.

Para Ma et al. (2021), a transição de ônibus movidos a diesel para ônibus movidos a bateria é uma tendência mundial. Comentam que, nas abordagens tradicionais, expandir para grandes frotas de ônibus a nível de cidade tornou-se um desafio. Os autores utilizaram GPS de alta resolução e dados de transação de cartão inteligente para gerar perfis e pesos de direção dinâmica de ônibus em uma rede de trânsito em grande escala. Dois modelos de consumo de energia com base na atividade do veículo são adotados e calibrados para OD e OEB, usando os dados de campo de 630 rotas de ônibus em Beijing. Identificaram comportamentos heterogêneos. Os principais atributos que afetam o consumo de energia de OEB e ODs são as características da rota e a condição operacional, respectivamente. As rotas com velocidades médias menores que 12km/h e as rotas com menos de 20 paradas e mais de 1km de espaçamento entre elas são de importância central. Merecem especial atenção pois uma redução considerável no consumo de energia é esperada quando essas rotas são eletrificadas. As rotas devem ser planejadas nos segmentos de vias em declive, ODs devem ser operados fora dos horários de pico, e – por consequência – os OEB durante os horários de pico. Considerando isso, o desenho futuro das rotas de ônibus deve focar na redução do total de paradas, no aumento do espaçamento das paradas e rotas diretamente direcionadas às demandas dos passageiros.

Wang et al. (2018) utilizaram um modelo simples e absolutamente reprodutível em nossas condições, comparando velocidade, aceleração e emissões dos ônibus entre paradas, cruzamentos e seções de estradas. Foi desenvolvido um modelo de rede neural artificial (ANN) baseado em energia específica do veículo para estimar as emissões de CO, HC, NOX e CO2 para quatro tipos diferentes de combustível de ônibus. Os resultados dos testes mostraram que

as diferenças nas emissões entre diferentes locais e entre diferentes tipos de combustível de ônibus foram todos estatisticamente significativas.

Holland et al (2021) afirmam que seu artigo oferece uma nova orientação empírica para a formulação de políticas que considerem investimentos em ônibus urbanos elétricos. Determinaram o benefício ambiental do uso de ônibus elétricos ao invés de Diesel ou gás natural comprimido (GNC) em áreas de intenso trânsito urbano. Para Diesel e CNG, calcularam os danos da poluição do ar, combinando taxas de emissão com avaliações de custo social do carbono. Para ônibus elétricos, calcularam os danos da poluição do ar combinando as avaliações dos danos com estimativas do aumento marginal nas emissões do uso de eletricidade. O benefício ambiental dos ônibus elétricos em relação aos a Diesel ou GNV foi positivo em média para todos os condados dos EUA.

Segundo Ke et al. (2020), poucos estudos investigaram os efeitos da carga e descarga de baterias de ônibus elétricos nas redes elétricas. O estudo propõe a ideia inovadora de revenda da energia de bateria do OEB. Consideraram a geração de energia eólica e solar, diferentes cargas do alimentador do transformador principal, demanda incorporada e revenda da eletricidade da bateria para a companhia de energia. Quando o preço de revenda da eletricidade da bateria era pelo menos duas vezes a tarifa de eletricidade oferecida pela empresa de energia, o lucro obtido pela revenda da eletricidade da bateria excedia o custo de aplicação do método de resposta à demanda, compensando assim o custo extra necessário para agendamento com resposta à demanda. Sugerem que os resultados da análise MBRC (MBRC, *Maximum battery residual capacity*) e RPE (*Resale price of electricity*) podem ser adotados como referência para avaliação do estabelecimento e custo operacional de um sistema de OEB.

De acordo com An (2020), devido à capacidade limitada das baterias e às taxas aleatórias de descarga da bateria – afetadas por clima, estradas e condições de tráfego – os OEBs frequentemente necessitam de recargas diurnas para suportar a operação por um dia inteiro. A implantação de infraestrutura de recarga, bem como o número de ônibus disponíveis em *stand-by*, tem um efeito significativo na eficiência operacional dos sistemas de ônibus elétricos. No artigo, utilizou um programa desenvolvido para otimizar conjuntamente os locais das estações de carregamento e o tamanho da frota de ônibus com cargas de demanda aleatórias, considerando as tarifas de energia elétrica por tempo de uso.

Stempien e Chan (2017) revisaram as tecnologias de ônibus por células de combustível e a bateria, comparando os usos em áreas tropicais urbanas. O artigo examina a literatura sobre ônibus elétrico a célula de combustível, elétrico a bateria, elétrico híbrido, por combustão

interna a Diesel e a gás natural comprimido, utilizando os custos de capital e operacionais, consumo de combustível e emissões do ciclo de combustível para a comparação. Segundo os autores, este é o primeiro estudo a focar o fornecimento de hidrogênio e eletricidade a partir de recursos fósseis, incluindo as emissões associadas. Mostram que ônibus a gás natural comprimido e elétrico híbrido parecem ser as opções mais baratas sem considerar o custo total de propriedade, mas eles são incapazes de atender o padrão de emissões EURO VI. Apenas ônibus baseados em células de combustível têm o potencial de atingir o padrão de emissões quando o ciclo do combustível com base em energia fóssil é considerado. Ônibus elétricos movidos a célula de combustível são identificados como uma tecnologia que permite a maior redução de emissão de CO₂, tornando possível uma redução de aproximadamente 61% nas emissões anuais. O custo da infraestrutura não foi incluído no estudo devido à limitada disponibilidade de dados sobre custos, indicando a necessidade de pesquisas futuras para esclarecer o tema.

Al-Ogaili et al. (2020) calculam o consumo de energia dos ônibus elétricos utilizando um modelo espaço-temporal em SIG (sistema de informação geográfica), para cobrir a análise de potencial de penetração do OEB em redes de ônibus de grande porte, e propõem uma estrutura genérica para estimar o consumo de energia e investigar a penetração/impacto de uma rede distribuída de OEBs. Desenvolveram um modelo dinâmico longitudinal com uma versão espacial digital de elevação para determinar a demanda de energia de uma rede de ônibus elétricos em grande escala. No artigo, os dados para linhas de ônibus, localizações de estações de ônibus e número de passageiros viajando pela rede de ônibus de Kuala Lumpur foram considerados para formular a previsão longitudinal e o modelo temporal usando dados do sistema de informações dos passageiros. A previsão proposta permite que os operadores da rede de energia prevejam a demanda ideal de carregamento do barramento elétrico com base no consumo real dos OEBs através das linhas de ônibus.

Xylia et al (2017), enfocam um requisito fundamental para a eletrificação do transporte urbano, qual seja a localização da infraestrutura de carregamento para abastecer uma rede cidadina de ônibus. O modelo aborda a eletrificação do transporte por ônibus em larga escala e desenvolve uma ferramenta para apoiar decisões otimizadas de investimentos, objetivando o transporte público livre de combustíveis fósseis. Dependendo da disponibilidade de dados, o modelo pode ser adaptado a vários contextos de cidade. O modelo mostra que, para um conjunto de parâmetros de referência (no caso em Estocolmo), os custos totais para a operação de um sistema de ônibus parcialmente eletrificado, em dois casos de otimização (custo e energia)

diferem marginalmente dos custos de um sistema 100% biodiesel. Uma análise de sensibilidade mostra que os preços do biodiesel e da eletricidade têm um impacto considerável na seleção das linhas a serem eletrificadas, considerando que a eletrificação não é uma opção atraente com preços de eletricidade significativamente elevados. O exemplo testado mostra também que uma combinação de tecnologia otimizada de ônibus movidos a biocombustíveis líquidos (neste caso biodiesel) e eletricidade é uma via de custo competitivo. Destacam a importância da seleção inicial das rotas de ônibus a serem eletrificadas e os locais mais aplicáveis para carregamento. Também, dependendo da disponibilidade de dados, elevação, grau da estrada e as condições de tráfego devem ser tratadas da maneira mais apropriada em futuras atualizações do modelo. Além disso, esta análise considerou apenas um tipo de ônibus, com doze metros de comprimento, enquanto as versões futuras devem permitir variação nos tipos de ônibus para cada rota. Finalmente, consideram que o impacto da eletrificação de ônibus em grande escala precisa ser avaliado cuidadosamente em estudos futuros, onde as cobranças de demanda devem ser um tópico central de interesse.

Wei et al (2018) afirmam que a implantação otimizada de um sistema de OEB continua a ser um desafio devido às características espaço-temporais exclusivas. Para preencher essa lacuna, os autores introduziram um modelo de otimização espaço-temporal (usando uma combinação de Sistema de Informação Geográfica e técnicas de otimização) para identificar as estratégias de implantação ideais para o sistema de OEB, de maneira a minimizar os custos aquisição do veículo e de alocação da estação de carregamento, enquanto satisfaz as restrições de operação de trânsito, como manutenção, rotas e horários de operação de ônibus existentes. Os resultados da aplicação demonstram que a abordagem denominada *Battery Electric Bus System Deployment problem* (BEBSD) é eficaz na seleção de ônibus adaptados, rotas e estações de carregamento dentro de uma malha de trânsito para a implantação de OEBs. O método é capaz de identificar a implantação espaço-temporal ideal para OEBs e estações, minimizando o custo de substituição de um determinado número de ônibus a Diesel ou GNV por OEBs. Ao mesmo tempo, satisfaz as restrições de trânsito, como manutenção de rotas de operação de ônibus existentes e horários. Sugerem que essa pesquisa pode servir de base para as agências avaliarem os custos operacionais e de capital associados à implantação de vários tipos de OEBs, e tomarem decisões relativas ao planejamento estratégico e de projeto de sistemas OEB.

Para Zhou et al. (2016), testes empíricos nas vias são essenciais para avaliar os benefícios de uma comparação entre o ônibus elétrico a bateria e o diesel, avaliando o ciclo de vida tanto no estágio de produção de combustível como na operação dos veículos. O teste envolveu diversas

condições de velocidade, lotação e uso dos sistemas de ar-condicionado. Concluíram que um aumento na eficiência de carregamento do sistema (melhor do que o intervalo “60% a 84%”) aumentaria os benefícios futuros dos ônibus elétricos.

4. Conclusão

Desta forma, o estudo preliminar conclui que Consumo, Condição operacional, Meio ambiente e infraestrutura são os fatores a serem analisados na avaliação da substituição da frota de ônibus a diesel para ônibus elétricos.

Este trabalho possui limitações, especialmente relacionadas ao método. Entretanto, espera-se que o material aqui apresentado possa servir de subsídio às empresas municipais de transporte público urbano por ônibus, como base inicial de estudo para a elaboração de editais ou no julgamento de eventuais propostas; assim como para as empresas prestadoras de serviços terceirizados às prefeituras, que terão de escolher equipamentos e selecionar as rotas a serem operadas tanto com OEBs quanto ODs.

5. Agradecimentos

Bolsas, Vanzolini, SPTrans, Poli, CNPq Processo: 305188/2020-8 (JAQ)

REFERÊNCIAS

AL-OGAILI, Ali Saadon; RAMASAMY, Agileswari; HASHIM, Tengku Juhana Tengku; AL-MASRI, Ahmed N.; HOON, Yap; JEBUR, Mustafa Neamah; VERAYIAH, Renuga; MARSADDEK, Marayati. Estimation of the energy consumption of battery driven electric buses by integrating digital elevation and longitudinal dynamic models: malaysia as a case study. **Applied Energy**, [S.L.], v. 280, p. 115873, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115873>.

AN, Kun. Battery electric bus infrastructure planning under demand uncertainty. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S.L.], v. 111, p. 572-587, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2020.01.009>.

BORÉN, Sven. Electric buses’ sustainability effects, noise, energy use, and costs. **International Journal Of Sustainable Transportation**, [S.L.], v. 14, n. 12, p. 956-971, 17 set. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2019.1666324>.

CATENACCI, Michela; VERDOLINI, Elena; BOSETTI, Valentina; FIORESE, Giulia. Going electric: expert survey on the future of battery technologies for electric vehicles. **Energy Policy**, [S.L.], v. 61, p. 403-413, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.078>.

COONEY, Greg; HAWKINS, Troy R.; MARRIOTT, Joe. Life Cycle Assessment of Diesel and Electric Public Transportation Buses. **Journal Of Industrial Ecology**, [S.L.], v. 17, n. 5, p. 689-699, 8 abr. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jieec.12024>.

HOLLAND, Stephen P.; MANSUR, Erin T.; MULLER, Nicholas Z.; YATES, Andrew J.. The environmental benefits of transportation electrification: urban buses. **Energy Policy**, [S.L.], v. 148, p. 111921, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111921>.

KE, Bwo-Ren; LIN, Yu-Hsun; CHEN, Hong-Zhang; FANG, Shyang-Chyuan. Battery charging and discharging scheduling with demand response for an electric bus public transportation system. **Sustainable Energy Technologies And Assessments**, [S.L.], v. 40, p. 100741, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2020.100741>.

KÜHNE, Reinhart. Electric buses: An energy efficient urban transportation means. **Energy**, [S.L.], v. 35, n. 12, p. 4510-4513, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.055>.

LAJUNEN, Antti; LIPMAN, Timothy. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. **Energy**, [S.L.], v. 106, p. 329-342, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.075>.

MA, Xiaolei; MIAO, Ran; WU, Xinkai; LIU, Xianglong. Examining influential factors on the energy consumption of electric and diesel buses: a data-driven analysis of large-scale public transit network in beijing. **Energy**, [S.L.], v. 216, p. 119196, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.119196>.

MAHMOUD, Moataz; GARNETT, Ryan; FERGUSON, Mark; KANAROGLOU, Pavlos. Electric buses: a review of alternative powertrains. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 62, p. 673-684, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>.

STEMPIEN, J.P.; CHAN, S.H.. Comparative study of fuel cell, battery and hybrid buses for renewable energy constrained areas. **Journal Of Power Sources**, [S.L.], v. 340, p. 347-355, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.11.089>.

TODORUȚ, Adrian; CORDOȘ, Nicolae; ICLODEAN, Călin. Replacing Diesel Buses with Electric Buses for Sustainable Public Transportation and Reduction of CO2 Emissions. **Polish Journal Of Environmental Studies**, [S.L.], v. 29, n. 5, p. 3339-3351, 12 maio 2020. HARD Publishing Company. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/112899>.

WEI, Ran; LIU, Xiaoyue; OU, Yi; FAYYAZ, S. Kiavash. Optimizing the spatio-temporal deployment of battery electric bus system. **Journal Of Transport Geography**, [S.L.], v. 68, p. 160-168, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.03.013>.

XYLIA, Maria; LEDUC, Sylvain; PATRIZIO, Piera; KRAXNER, Florian; SILVEIRA, Semida. Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, [S.L.], v. 78, p. 183-200, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.005>.

ZHOU, Boya; WU, Ye; ZHOU, Bin; WANG, Renjie; KE, Wenwei; ZHANG, Shaojun; HAO, Jiming. Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions. **Energy**, [S.L.], v. 96, p. 603-613, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.041>.