

Leonardo Anjo Rocha e Nicholas Koiti Ito

**AVALIAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE DOS ÔNIBUS URBANOS
DE SANTOS**

Leonardo Anjo Rocha e Nicholas Koiti Ito

AVALIAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE DOS ÔNIBUS URBANOS DE SANTOS

Projeto de pesquisa apresentado à Comissão do trabalho de Conclusão de curso graduação em Bacharelado em Engenharia de Petróleo da Universidade Federal de São Paulo, como requisito à aprovação na unidade curricular de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Dr. Cledson Akio Sakurai.

Ficha catalográfica elaborada por sistema automatizado
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R672 Rocha, Leonardo. Ito, Nicholas Koiti.
/ I89a AVALIAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE DOS ÔNIBUS URBANOS
DE SANTOS. / Leonardo Rocha, Nicholas Koiti Ito;
Orientador Cledson Akio Sakurai. -- Santos, 2022.
34 p. ; 30cm

TCC (Graduação - Engenharia de Petróleo) --
Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo,
2022.

1. MOBILIDADE URBANA. 2. VEICULO ELÉTRICO. 3.
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA. 4. MATRIZ RENOVÁVEL. I.
Sakurai, Cledson Akio, Orient. II. Título.

CDD 665.5

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos ao nosso orientador, Professor Dr. Cledson Akio Sakurai, por aceitar ser nosso orientador e por todas as aulas lecionadas ao longo destes anos na Unifesp.

Agradecemos aos nossos grandes amigos das republicas Reis e Pokas pela amizade, apoio e parceria ao longo de todos estes anos na faculdade.

E por fim agradecemos a nossa família, por todas as ideias, conselhos, apoio e amor durante toda nossa vida.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas ferroviários urbanos em operação no país. (Operadoras, 2020).....	12
Tabela 2 – Eficiência do uso do espaço por veículo. Dados adaptados do livro “La bicicleta y los triciclos”, Navarro et al 1985.....	12
Tabela 3 - Número estimado de ônibus de baixa emissão no Brasil – 2018. (Bermúdez, 2018).....	18
Tabela 4 – Tabela de idade da frota de ônibus de Santos (CET SANTOS, 2020).	22
Tabela 5 – Cenário atual de emissões de gases e operação da frota (CET SANTOS, 2020).	23
Tabela 6 - Cronograma de implementação dos ônibus elétricos	24
Tabela 7 - Cenário futuro após a implementação completa de ônibus elétricos na frota de Santos.....	25
Tabela 8 - Custos de implementação e custos anuais após a implementação da frota 100% elétrica.	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trólebus no município de Santos.	15
Figura 2 – Ônibus híbrido do município de Santos.	16
Figura 3 – Ônibus 100% elétrico do município de Santos	17
Figura 4 - Trólebus no começo dos anos 80 do município de Santos.	20
Figura 5 - Comparação do custo de manutenção.	26
Figura 6 - Comparação do custo de combustíveis/energia.	26
Figura 7 - Comparação do custo anual de operação.	27
Figura 8 - Simulação realizada com a ERSE.	28

RESUMO

Atualmente, a transição energética é tema de estudo e discussão em âmbito mundial. A atual matriz energética está fortemente baseada em combustíveis fósseis e fontes de energia não renováveis. No entanto, questões como independência energética e aspectos ambientais apontam a substituição da atual matriz energética por uma matriz renovável e menos poluente como uma das soluções para que a demanda energética ainda seja atendida, mas com redução de impactos ambientais. Isso nos mostra a importância de utilizarmos os recursos energéticos de modo a obter um rendimento eficaz. Alguns dos segmentos nessa questão que se fazem presentes são a mobilidade urbana e o ramo automotivo com a inserção de veículos elétricos, que apresentam um rendimento maior que os veículos com motores à combustão resultando em menor emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente. Este trabalho, por meio de pesquisas bibliográficas e projeções futuras, busca analisar as principais oportunidades e desafios tecnológicos e econômicos para a implementação da eletromobilidade, a troca de toda a frota de ônibus urbanos convencionais por uma frota de ônibus urbanos elétricos na cidade de Santos.

Palavra-chave: veículos elétricos; mobilidade urbana; transição energética; emissão de gases; matriz renovável.

ABSTRACT

Currently, the energy transition is the subject of study and discussion worldwide. The current energy matrix is heavily based on fossil fuels and non-renewable energy sources. However, several issues such as energy independence, mainly for environmental aspects, point to the replacement of the current energy matrix by a renewable and less polluting matrix as one of the solutions so that the energy demand is still met, but with a reduction in environmental impacts. This shows us the importance of using energy resources in order to obtain an efficient performance. Some of the segments in this issue that are present are urban mobility and the automotive sector with the insertion of electric vehicles, which have a higher performance than vehicles with combustion engines resulting in less emission of gases harmful to the environment. This work, through bibliographic research and future projections, seeks to analyze the main technological and economic opportunities and challenges for the implementation of electromobility, the exchange of the entire fleet of conventional urban buses for a fleet of electric urban buses, in the city of Santos.

Keyword: electric vehicles; urban mobility; energy transition; emission of gases; renewable matrix.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1.1	TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL	10
1.1.2	IMPACTOS AMBIENTAIS	13
1.2	SOLUÇÃO DE BAIXO CARBONO QUE ATENDA A MOBILIDADE DA POPULAÇÃO LOCAL	14
1.2.1	TRÓLEBUS	14
1.2.2	ÔNIBUS HÍBRIDO	15
1.2.3	ÔNIBUS ELÉTRICO EXCLUSIVAMENTE A BATERIA	16
1.3	A ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO NO MUNDO	17
1.4	A ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL	18
1.4.1	PLAYERS NO MERCADO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS NO BRASIL	19
1.5	CONTEXTUALIZAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO EM SANTOS	19
1.5.1	PLANO MUNICIPAL DE MUDANÇA DO CLIMA DE SANTOS	21
2	OBJETIVO	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	22
3	METODOLOGIA	22
3.1.1	PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO	22
4	RESULTADO	24
4.1.1	EXTRA	27
5	CONCLUSÃO	29
6	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento do capitalismo e a ocorrência das sucessivas Revoluções Industriais, as grandes cidades no mundo passaram a crescer e a concentrar a maior parte da população mundial. As pessoas, a partir deste momento, passaram a ter a necessidade de se deslocar por grandes distâncias, mesmo quando o destino final encontrava-se na própria cidade de origem. Nesse contexto, além das diversas outras formas de locomoção, o transporte coletivo passou a ter uma grande relevância para a vida em sociedade.

Entre os benefícios do transporte coletivo podemos citar a segurança durante o deslocamento, o baixo custo devido à ausência de despesas associadas a aquisição de um automóvel e a redução na emissão de gases poluentes, uma vez que um único automóvel pode realizar o deslocamento de um grande número de indivíduos. Os principais transportes coletivos disponíveis atualmente nos principais centros urbanos são ônibus, metrô, trem e VLT.

Os ônibus urbanos são veículos cujos chassis são produzidos considerando as mais variadas condições de pavimento, topografia e tráfego das cidades, com motores dianteiros e traseiros, suspensão metálica ou totalmente pneumática, configurações 4x2 ou articulados 6x2 ou 8x2, com diversas possibilidades de comprimento de carrocerias e quantidades de portas de embarque e desembarque, atendendo aos passageiros para as linhas distribuidoras.

O metrô, é caracterizado por ser um conjunto de composições urbanas que andam pelo centro da cidade e pelos bairros mais povoados. Já os trens, são composições que se locomovem por subúrbios e regiões metropolitanas. Essa diferença pode ser observada em São Paulo, por exemplo, onde existe o Metrô e os trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).

Como percorrem regiões mais densamente povoadas, com muitas construções, os metrôs são subterrâneos para desviar dos obstáculos. Também por conta da densidade, as estações de metrô costumam ser mais próximas umas das outras – entre 500 metros e 1,5 quilômetro, e suas composições tendem a ser menores: até 6 carros e 120 metros de comprimento.

Os trens, por outro lado, circulam em áreas com população e construções mais distribuídas no espaço. Por isso, suas estações ficam até dois quilômetros distantes uma da outra, e as composições podem ter até o dobro do tamanho daquelas do metrô (12 vagões e

250 metros), também vale mencionar que os trens funcionam com uma locomotiva, puxando outros vagões, enquanto os metrô costumam ter todos os carros motorizados.

Outro transporte coletivo de bastante relevância é o veículo leve sobre trilhos (VLT), que é assim denominado por ser mais leve do que os trens ou metrô em vários aspectos: suas composições são menores, transportam menos passageiros e custam menos à administração pública.

Nesse sentido, a diferença mais impactante – tanto visual quanto funcionalmente – está no fato de que o VLT anda no nível da rua. Seus trilhos não ocupam tanto espaço e ele faz pouco barulho ao passar. Assim, seus vagões podem estar em meio às ruas, calçadas e praças da cidade, inserindo-se de forma muito mais amigável na paisagem urbana.

1.1.1 TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL

O Brasil teve o seu processo de industrialização ocorrendo de forma tardia e em uma velocidade bastante elevada, assim como aconteceu na ampla maioria dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Tal processo motivou o rápido e descontrolado crescimento das cidades através da expansão do êxodo rural (migração em massa da população do campo para as cidades).

Essa grande massa populacional encontrou no espaço das grandes cidades dificuldades para a sua permanência. Com o valor dos terrenos e imóveis aumentando consideravelmente e sobrevalorizando a todo o momento, as populações menos abastadas tiveram de buscar por moradia em zonas mais afastadas dos grandes centros, culminando na alocação em favelas, invasões e ocupações irregulares de todo o tipo, além do contingente populacional em situação de rua.

Para piorar, essas zonas segregadas não contaram com investimentos públicos em infraestrutura, o que gerou áreas muito dependentes das regiões urbanas mais valorizadas. Os serviços concentraram-se nos bairros mais nobres e, conseqüentemente, o emprego também. O trabalhador precisava se deslocar grandes distâncias em cidades para trabalhar ou utilizar serviços públicos e privados.

O Brasil consolida-se como um país notavelmente urbano, com 84,4% de sua população vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2010). A busca pelo espaço urbano e, portanto, seu crescimento, demanda da gestão pública constante planejamento, instituição de políticas

urbanas, criação de infraestrutura e oferta de serviços públicos, ante as necessidades e os interesses cotidianos dos cidadãos, visando o bem-estar de todos (BRASIL, 2001).

Segundo pesquisa, o transporte público coletivo é o meio de transporte mais utilizado pelos brasileiros dentro da cidade (44,3%), seguido pelo carro (23,8%), por moto (12,6%), a pé (12,3%) e, por último, pela bicicleta (7,0%) (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2011).

Apesar das vantagens de ser um modal de zero emissão e de rápido deslocamento por evitar congestionamentos, os modais sobre trilhos no Brasil ainda são pouco utilizados, como podemos observar na tabela 1.

De acordo com a NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos), os ônibus urbanos representam 86,3% da participação do total do transporte público coletivo, atendendo 3.313 municípios brasileiros, com uma frota de 107.000 ônibus, e um total de 39.585.078 passageiros transportados diariamente (NTU,2018). Além disso, vale a pena destacar que o Brasil ocupa o terceiro lugar no número de ônibus no mundo, atrás apenas de China e Índia.

Trânsito, estresse, tempo perdido, acidentes. É possível listar os problemas que a má gestão da mobilidade urbana acarreta na vida dos moradores das regiões metropolitanas das cidades brasileiras. Uma alternativa para reduzir esses problemas é o investimento em transportes público coletivo e incentivar os transportes alternativos, como é observado na tabela 2 esses transportes reduzem o espaço ocupado por pessoa, reduzindo o trânsito e tornando a locomoção mais eficiente, já que a área por pessoa de um transporte coletivo como ônibus e metrô são menores que a área por pessoa de veículos de uso individual.

Tabela 1 - Sistemas ferroviários urbanos em operação no país. (Operadoras, 2020)

Sistema	Município	Extensão (Km)	Número de linhas	Operadores
Trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos	São Paulo	273	7	CPTM
Trens da SuperVia	Rio de Janeiro	270	8	SuperVia
Metrô de São Paulo	São Paulo	101,4	6	CMSP / ViaQuatro / ViaMobilidade
Metrô do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	58	3	MetrôRio
Sistema de Trens Urbanos de Natal	Natal	56,2	2	CBTU
Metrô de Fortaleza	Fortaleza	54,4	3	Metrofor
Metrô de Porto Alegre	Porto Alegre	44,6	1	Trensurb
Metrô do Distrito Federal	Distrito Federal[nota 4]	42,38	2	METRÔ-DF
Metrô do Recife	Recife	37,8	2	CBTU
Metrô de Salvador	Salvador	33	2	Metrô Bahia
Sistema de Trens Urbanos de Maceió	Maceió	32,1	1	CBTU
VLT do Recife	Recife	31	1	CBTU
Sistema de Trens Urbanos de João Pessoa	João Pessoa	30	1	CBTU
Metrô de Belo Horizonte	Belo Horizonte	28,1	1	CBTU
VLT do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	14	2	VLT Carioca
VLT de Sobral	Sobral	13,9	2	Metrofor
VLT do Cariri	Juazeiro do Norte	13,6	1	Metrofor
Metrô de Teresina	Teresina	13,5	1	CMTP
Sistema de Trens do Subúrbio de Salvador	Salvador	13,5	1	CTB
VLT da Baixada Santista	Santos	11,5	1	Consórcio BR Mobilidade

Tabela 2 – Eficiência do uso do espaço por veículo. Dados adaptados do livro “La bicicleta y los triciclos”, Navarro et al 1985.

Modo de deslocamento	A pé	Bicicleta	Carro particular	Ônibus	Transporte sobre trilhos
Velocidade média por modal	3 Km/h	16 Km/h	40 Km/h	30 Km/h	30 Km/h
Espaço ocupado por pessoa	0,8 m ²	4,5 m ²	20 m ²	9,8 m ²	4 m ²

O elevado desenvolvimento tecnológico e crescimento populacional nas grandes cidades traz consigo preocupações que constantemente entram em debate e pressionam governantes e empresas a se posicionarem e agirem em prol do bem estar coletivo. Um dos principais tópicos discutidos frequentemente em congressos internacionais é a poluição do ar, que pode

ser caracterizada como a contaminação do meio ambiente por qualquer agente químico, físico ou biológico que altere as condições naturais da atmosfera.

Segundo estimativas da World Health Organization – WHO, a poluição do ar é responsável por cerca de 7 milhões de mortes no mundo anualmente. Os efeitos da poluição causam milhares de mortes prematuras causadas principalmente pelo aumento da mortalidade por acidente vascular cerebral, doenças pulmonares, câncer no pulmão, entre outras infecções respiratórias. Estes dados evidenciam a ameaça que este tópico representa para a saúde e pro meio ambiente numa escala global.

Dentro deste contexto, o setor de transportes frequentemente está em pauta nos assuntos relacionados a saúde pública, meio ambiente e segurança energética devido ao progressivo aumento na emissão de gases poluentes nos grandes centros urbanos.

Segundo o SEEG, no ano de 2016 o segmento de transporte foi o maior responsável pela emissão de Gases de Efeito Estufa dentro dos setores analisados, sendo responsável pela emissão de cerca de 204 MtCO_{2e} (39% do total) (Ferreira et al., 2018). Em algumas cidades brasileiras como Belo Horizonte e São Paulo, 75% das emissões do município são geradas pelo transporte (Belo Horizonte, 2015; São Paulo, 2012b). A população urbana tem uma grande expectativa de crescimento nos próximos anos, o que nos acende um alerta. De acordo com o Departamento de Assuntos Econômicos Sociais da Organização das Nações Unidas (ONU), por volta de 55% das pessoas do mundo reside nas cidades e a perspectiva é que esse índice aumente para 68% no ano de 2050 (UM DESA, 2018). Esse crescimento populacional nas áreas urbanas irá implicar no aumento da demanda de infraestrutura, energia e transporte, grandes responsáveis por emissões de gases de efeito estufa e principais causadores de poluições locais. Estes dados mostram a importância de discutir alternativas para minimizar os impactos ambientais relacionados as emissões de gases poluentes e otimizar o consumo de energia no setor de transportes.

1.1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

Neste contexto, para reduzir a dimensão dos impactos ambientais, apenas a priorização do transporte público coletivo se mostra ineficaz. Uma alternativa que vêm conquistando os holofotes atualmente são os veículos elétricos, uma vez que essa tecnologia substitui o motor de combustão interna pelo motor elétrico, promovendo a troca do óleo diesel por motores de propulsão elétricos/híbridos, acabando com a emissão de gases poluentes pelo cano de

escape. Essa mudança é necessária para a melhora da saúde pública, poluição sonora e a exposição da população a poluentes atmosféricos locais, controlando a emissão de Gases de Efeito Estufa.

1.2 SOLUÇÃO DE BAIXO CARBONO QUE ATENDA A MOBILIDADE DA POPULAÇÃO LOCAL

Uma das opções para tratar esses problemas é através da redução do consumo de energia por meio de um modal de transporte público eficiente que atenda a demanda da população local e seja economicamente viável. Uma outra abordagem é a implementação de um sistema que seja suportado por uma fonte de energia de baixa ou sem emissão de poluentes, esta é uma tendência que pode ser observada em cidades de todo o mundo que buscam implementar tecnologias limpas em suas frotas de ônibus urbanos.

A maioria dos ônibus produzidos e comercializados no Brasil utilizam como combustível o óleo diesel (ANFAVEA, 2018). O óleo diesel é o combustível mais utilizado pelo transporte rodoviário, cerca de 45,6% de participação, na sua totalidade é utilizado em veículos pesados como caminhões ônibus e alguns veículos utilitários leves (MME; EPE, 2018). No entanto, existe no Brasil algumas iniciativas e projetos demonstrativos que têm incorporado ônibus de baixa-emissão tais como:

- Trólebus;
- Ônibus híbridos (tração elétrica/diesel/biocombustíveis);
- Ônibus Elétrico exclusivamente a bateria;

1.2.1 TRÓLEBUS

Os trólebus é um ônibus elétrico que recebe energia da rede elétrica aérea (dois cabos onde se conectam os veículos para a captação de energia) através de duas hastes denominadas troles, que alimentam um motor elétrico no qual gera a tração para locomoção dos trólebus. É muito similar a ônibus comuns, é um meio de transporte bastante silencioso, dando conforto tanto aos usuários, quanto aos motoristas, já que não possui cambio. A tecnologia dos trólebus ao longo das décadas evoluiu e se tornou altamente confiável, os motores elétricos possuem altos índices de eficiência energética, confiabilidade e durabilidade (Macedo, 2017). Contudo, os trólebus são uma alternativa pouco atraente. Pesam contra eles o alto custo de manutenção da rede aérea de abastecimento energético e a baixa flexibilidade operacional dos veículos, que só circulam em vias específicas sob os cabos aéreos.



Figura 1 – Trólebus no município de Santos (CET SANTOS).

1.2.2 ÔNIBUS HÍBRIDO

Os ônibus híbridos são aqueles que utilizam, além de energia elétrica, como os trólebus, um conjunto motor-gerador a gás natural ou a diesel, não necessitando, portanto, de uma rede elétrica. Podem ser divididos em dois grupos, paralelo e em série, no paralelo o motor elétrico funciona junto com o motor a diesel para a locomoção do ônibus, já o em série o motor elétrico é usado para a locomoção do ônibus e o motor a diesel é usado para alimentação do motor elétrico. No caso do paralelo o motor a diesel é usado na partida do ônibus, passando-se depois a utilizar-se de energia elétrica para locomoção (Macedo, 2017). O híbrido possui a tração muito semelhante aos trólebus, mas a diferença é que, de vez buscar a energia externamente, ele gera a sua própria energia a bordo. Quando é dada a partida, o motor a diesel começa a operar em rotação constante, e assim, permanece até o desligamento. Como não há acelerações, a emissão de gases poluentes é mínima, apenas 10% da descarga de um motor diesel convencional (Pekarek, Bengesa, & D.R., 2011). Com o ônibus em movimento, o motor elétrico recebe energia tanto do conjunto motor-gerador quanto do conjunto de baterias. Quando o ônibus estaciona para embarcar e desembarcar passageiros, o motor-gerador recarrega as baterias (Vasconcelos, 2015).



Figura 2 – Ônibus híbrido do município de Santos (CET SANTOS).

1.2.3 ÔNIBUS ELÉTRICO EXCLUSIVAMENTE A BATERIA

Um sistema de ônibus totalmente elétrico, utiliza apenas motores elétricos para locomoção, essa opção não só fornece uma maneira de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, mas também ajuda a eliminar as emissões dos gases efeito estufa, reduz o ruído e aumenta a eficiência energética. A energia pode ser transferida para o ônibus em vários momentos, tais como o carregamento durante a madrugada nas garagens, carregamento no ponto final ou inicial de cada linha e nos pontos de paradas no percurso do ônibus. Existem vários projetos que analisam e aperfeiçoam diferentes formas de implantar sistemas de carregamento. São comparações de diferentes sistemas elétricos levando em conta o custo de infraestrutura e outros custos operacionais que podem variar com a tecnologia do ônibus (Olsson, Grauers, & Pettersson, 2016).



Figura 3 – Ônibus 100% elétrico do município de Santos (CET SANTOS)

1.3 A ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO NO MUNDO

Os sistemas de transportes coletivos podem ser grandes propulsores para a eletrificação dos veículos nas cidades. Atualmente a frota de ônibus elétricos no mundo é estimada em 385000 veículos, sendo que 99% deles se encontram na China (Bloomberg New Energy Finance, 2018). Atualmente a frota de ônibus elétricos exclusivamente a bateria e ônibus híbridos na Europa é de 2163 ônibus e a dos Estados Unidos atinge 360 veículos (sem a inclusão de trólebus), conforme dados de 2017 (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

Atualmente, apenas algumas cidades da América Latina possuem unidades de ônibus elétricos e híbridos rodando comercialmente, com destaque para Bogotá e Medellín, na Colômbia, Campinas, Curitiba, Brasil e Santiago do Chile. No entanto, o cenário latino-americano já apresenta uma nova tendência para a eletromobilidade, visto que Santiago adquiriu 100 ônibus elétricos e que Niterói (cidade da região metropolitana do Rio de Janeiro) está em processo para aquisição de 40 veículos (O Globo, 2018; Publímetro, 2018).

A maior frota pertence a Shenzhen, cidade no sul da China, que possui 100% de sua frota de ônibus eletrificada, totalizando 16.359 ônibus (WRI, 2018). A experiência de Shenzhen que iniciou a eletrificação de sua frota em 2012, com 277 veículos – prova que o resultado desse investimento beneficia os cidadãos dentro e fora do ônibus, visto que a cidade cumpriu suas metas de melhoria da qualidade do ar em 2016 e 2017 (WRI, 2018). Isso nos mostra a grande oportunidade para a expansão das frotas elétricas ao redor do mundo, visto que essa tecnologia tem se demonstrado viável para operação no transporte público das cidades.

1.4 A ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL

No Brasil existe uma frota de aproximadamente 404 ônibus de baixa emissão (Bermúdez, 2018). A tabela 3 nos traz maiores informações sobre essa frota, em termos de localização e tipos de veículos.

Tabela 3 - Número estimado de ônibus de baixa emissão no Brasil – 2018. (Bermúdez, 2018).

Cidade	Empresa	Trólebus	Híbrido	Elétrico a bateria
São Paulo (SP)	Ambiental Transportes Urbanos (SPtrans)	201	0	1
	Sambaíba Transportes Urbanos	0	2	0
	Sptrans (em demonstração)	0	0	1
	VIP Unidade (SPtrans)	0	1	0
	Transwolff	0	0	15
Corredor Metropolitano ABD (SP)	Metra/EMTU Ônibus com célula hidrogênio	86	9	1
Campinas (SP)	Itajaá Transportes Coletivos (EMDEC)	0	2	11
	Pádua Transportes Coletivos (EMDEC)	0	0	2
	VB Transportes (EMDEC)	0	1	0
Santos (SP)	Viação Piracicabana (CET Santos)	6	1	1
Curitiba (PR)	Consórcio Transbus/Transporte Coletivo Glória/Pontual (URBS)	0	30	0
	Projeto "Smart City Concepts in Curitiba"	0	2	0
Foz do Iguaçu (PR)	Itaipu Binacional/Parque Nacional	0	5	0
	Programa Veículo Elétrico Itaipu	0	1	0
Brasília (DF)	Grupo Piracicabana/TCB Brasília	0	0	2
Florianópolis (SC)	Universidade Federal de Santa Catarina (Projeto de Pesquisa)	0	0	1
Rio de Janeiro (RJ)	Projeto "FURNA-COPPE-UFRJ"	0	1	1
Bauru (RJ)	Cidade sem limites	0	0	1
	Grande Bauru	0	0	1
Volta Redonda (RJ)	"Projeto Tarifa Comercial Zero" Prefeitura de Volta Redonda	0	0	1
Uberlândia (MG)	Viação São Miguel	0	0	8
Cuiabá (MT)	Prefeitura de Cuiabá	0	0	3
Maringá (PA)	Prefeitura de Maringá	0	0	2
TOTAL:		293	55	52

É possível observar a baixa adesão de ônibus de baixa emissão comparado com a frota de ônibus a diesel, que representam 86,3% da participação do total do transporte público coletivo (NTU,2018). Vale destacar os trólebus, os quais representam cerca de 75% da frota de ônibus de baixa emissão.

Os principais motivos que explicam a escassez de veículos elétricos no Brasil estão atrelados ao alto custo inicial para a implementação da tecnologia, a falta de conhecimento e a resistência dos operadores de ônibus devido aos atuais modelos de contrato de operação existentes.

1.4.1 PLAYERS NO MERCADO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS NO BRASIL

Entre os players do segmento de eletromobilidade no transporte público, pode-se destacar três montadoras com experiência nestas tecnologias alternativas, todas essas montadoras sediadas no Brasil:

- Eletra, de capital nacional (São Paulo, SP);
- Volvo, de capital sueco (Curitiba, PR);
- BYD, de capital chinês (Campinas, SP).

A empresa Eletra tecnologia de tração elétrica, é uma empresa brasileira que desenvolve e integra sistemas de tração elétrica para ônibus de baixa emissão.

A empresa Volvo é uma empresa sueca que desde de 2009 com a inauguração da sua fábrica em Curitiba (PR), começou a fabricação de ônibus híbridos-série a diesel, os quais o motor elétrico só funciona no arranque do ônibus e tem velocidade máxima de 20Km/h, suas baterias são carregadas pela frenagem regenerativa e não é possível carregar externamente.

Por último temos a empresa chinesa Build Your Dreams (BYD), fundada em 1995 com as atividades no setor de tecnologia e energia. A BYD passou a atuar na fabricação de veículos e ônibus elétricos no ano de 2003, com ênfase importante nas baterias de Fosfato de Ferro-Lítio, em 2014, a BYD instalou uma fábrica de ônibus elétrico em Campinas (SP). O ônibus elétrico fabricado pela BYD possui bateria de fosfato de ferro-lítio, a recuperação de energia é feita através da frenagem regenerativa e por meio de carregamento externo de 4 a 5 horas. A BYD tem realizado projetos de demonstração de seus ônibus em cidades como São Paulo, Campinas, Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Santos, Rio de Janeiro, entre outras.

Estas três empresas trabalham com uma rede de fornecedores locais de componentes para ônibus, principalmente em relação aos chassis e carrocerias. Alguns fornecedores que apoiam a produção local deste tipo de ônibus incluem: WEG (motores elétricos); Mercedes Benz (chassis); Magneti Marelli (peças e componentes); Italsa, Caio, Marcopolo, Volare (empresa de carroçaria), entre outras.

1.5 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ELETROMOBILIDADE NO TRANSPORTE COLETIVO EM SANTOS

Hoje o município de Santos tem como operadores do serviço de transporte coletivo a Viação Piracicabana, que é a empresa permissionária deste serviço nos municípios de Santos e Praia Grande. A história da Viação Piracicabana no município de Santos iniciou-se em 1994,

quando a empresa assumiu uma parte das linhas através do processo licitatório. Entre 1997 e 1998 a companhia ampliou sua atuação assumindo todas as outras linhas do município.

Atualmente Santos possui um uma frota operacional de 31 ônibus seletivos a combustão e uma frota de 293 ônibus convencionais, dentre eles, 285 ônibus a combustão, 6 trólebus, 1 híbrido e 1 exclusivamente elétrico. O ônibus híbrido e o elétrico estão presentes na linha 20, a linha conta também com ônibus comuns (a diesel). A Linha 20 opera normalmente ligando as duas principais praças do município que simbolizam o comércio do centro de Santos e o da orla no bairro do Gonzaga, ou seja, a Praça Mauá no centro e a Praça da Independência no bairro do Gonzaga. Sendo seu ponto final em ambas as praças.

O modelo do ônibus híbrido é um Volvo B215RH que possui dois motores: um a combustão (diesel) e o outro é elétrico, a tecnologia híbrida é do tipo paralela, o motor elétrico opera quando o veículo está parado ou em velocidade de até 20km/h ou 30 km/h. Nas velocidades maiores, é o motor a diesel o responsável pela movimentação do ônibus. De acordo com a Volvo, o modelo pode trazer uma economia de até 35% de combustível e uma redução entre 35% e 80% das emissões, dependendo dos materiais poluentes analisados. Em relação ao gás carbônico, a redução é em torno de 35% e de materiais particulados pode chegar a 80%. O ônibus tem o princípio da frenagem regenerativa, pelo qual a energia cinética gerada nas frenagens é transformada em energia elétrica, alimentando o motor.

Os trólebus desde de 2006 foram tombados como patrimônio histórico, garantindo a sua sobrevivência. Em janeiro de 2009 foi modernizado pela Eletra, já que a viação responsável pelo transporte público de Santos não tem interesse em manter os veículos, o município os adquiriu tornando-os frota pública e apenas operado pela viação.



Figura 4 - Trólebus no começo dos anos 80 do município de Santos (CET SANTOS).

O ônibus elétrico de Santos é resultado de uma parceria entre a chinesa BYD e a encarroçadora gaúcha Volare. O modelo tem 250 km de autonomia com uma carga total que pode ser feita em apenas três horas, e recebeu uma configuração das baterias em uma posição que proporciona maior eficiência, menores custos operacionais e redução do peso total. A equipe de engenharia focou em desenvolver o projeto de acordo com cálculos estruturais para que o powertrain BYD se ajustasse à carroceria, com as baterias no teto e na traseira. O Volare.e tem chassi D7M e carroceria de nove metros de comprimento, piso baixo, suspensão pneumática, motores nas rodas traseiras e capacidade para cerca de 45 passageiros (20 sentados e 25 em pé). Recebeu dois motores BYD de 90 kW de potência e 450 N.m de torque máximo e conta com sistema de regeneração da energia da frenagem.

1.5.1 PLANO MUNICIPAL DE MUDANÇA DO CLIMA DE SANTOS

De acordo com o Plano Municipal de Mudança do Clima de Santos – PMMCS Decreto nº 7.293, de 30 de novembro de 2015 / Decreto nº 7.379, de 26 de fevereiro de 2016 com relação aos transportes o município deve:

- Desestimular o uso de veículos de transporte individual, através da expansão na oferta de outros modais de viagens em consonância com o Plano Diretor;
- Estabelecer campanhas de conscientização a respeito dos impactos locais e globais do uso de veículos automotores e do transporte individual;
- Estimular a diversificação e integração entre sistemas modais, garantindo suas implantações e ampliando suas abrangências;
- Determinar critérios de sustentabilidade ambiental e de estímulo à mitigação de gases de efeito estufa na aquisição de veículos da frota do Poder Público e na contratação de serviços de transporte;
- Promover a expansão de medidas de controle de desempenho de emissões na frota atual e futura do Município.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a implantação de ônibus elétricos no sistema de transporte público do município de Santos para redução de emissão de gases do efeito estufa, redução de custos e maior eficiência da locomoção urbana.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Caracterizar o panorama atual para a implementação e uso de uma frota de ônibus elétricos em Santos;
- Criar um plano de implementação de ônibus elétricos na frota municipal de Santos;

3 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado uma compilação dos dados disponibilizados pela empresa Piracicabana e a CET Santos no município de Santos para analisar o cenário atual do transporte público. Os operadores forneceram informações de toda a frota em atuação e a tecnologia utilizada para cada caso. Após a coleta dos dados e a pesquisa com a empresa foi possível entender o modelo de contrato de operação atual do município para seguirmos o desenvolvimento do trabalho.

3.1.1 PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO

A frota atual dos ônibus urbanos de Santos possui um total de 324 ônibus na qual 8 possuem tecnologia de redução de emissão de poluentes, 1 híbrido, 6 trólebus e 1 totalmente elétrico (CET SANTOS, 2020).

Tabela 4 – Tabela de idade da frota de ônibus de Santos (CET SANTOS, 2020).

Ano de fabricação da frota de ônibus	
Ano	Unidades
2019	54
2018	27
2017	31
2015	20
2014	118
2013	34
2012	16
2011	18
1988	6

Tabela 5 – Cenário atual de emissões de gases e operação da frota (CET SANTOS, 2020).

CENÁRIO ATUAL				
Tipo de combustível		ELÉTRICO	DIESEL S-10	HÍBRIDO
Dados específicos da frota				
	Unidade			
Número de ônibus	ônibus	7	316	1
Vida útil	ano	15	10	12
Valor de compra	R\$/ônibus	R\$ 1.026.513,00	R\$ 342.171,00	R\$ 684.342,00
Operação diária				
	Unidade			
Número de ônibus	ônibus/dia	7	81	1
Distância diária percorrida	km/dia/ônibus	80	80	80
Distância anual percorrida	km/ano/ônibus	29200	29200	29200
Fatores de emissão				
	Unidade			
Dióxido de carbono (CO ₂)	g/L	0,0	2603,00	2352,00
Dióxido de carbono (CO ₂)	ton/ônibus/ano	0,0	35,35	26,83
Dióxido de carbono (CO ₂)	ton/frota/ano	0,0	2863,54	26,83
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	g/km	0,0	0,33	0,46
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	kg/ônibus/ano	0,0	89,57	63,48
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	kg/frota/ano	0,0	7255,21	63,48
Metano (CH ₄)	g/km	0,0	0,06	0,06
Metano (CH ₄)	kg/ônibus/ano	0,0	486,67	486,67
Metano (CH ₄)	kg/frota/ano	0,0	39420,00	486,67
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	g/km	0,0	8,52	1,70
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg/ônibus/ano	0,0	3,43	17,15
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg/frota/ano	0,0	277,77	17,15
Óxido nitroso (N ₂ O)	g/km	0,0	0,03	0,03
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg/ônibus/ano	0,0	973,33	973,33
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg/frota/ano	0,0	78840,00	973,33
Material particulado (PM)	g/km	0,0	0,15	0,02
Material particulado (PM)	kg/ônibus/ano	0,0	189,61	1723,73
Material particulado (PM)	kg/frota/ano	0,0	15358,44	1723,73
Monóxido de carbono (CO)	g/km	0	1,49	1,55
Monóxido de carbono (CO)	kg/ônibus/ano	0	19,64	18,81
Monóxido de carbono (CO)	kg/frota/ano	0	1590,59	18,81
Dados de operação				
	Unidade			
Consumo de energia	kwh/km	1,25	0,0	0,0
Consumo de energia	kwh/ano	255500,00	0,0	0,0
Custo de energia	R\$/kwh	R\$ 0,35	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custo de energia	R\$/ano	R\$ 89.425,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Economia/consumo de combustível	km/L	0,0	2,15	2,56
Consumo de combustível	L/ano	0	1100093,023	11406,25
Custo do combustível	R\$/L	R\$ 0,00	R\$ 5,89	R\$ 5,89
Custo do combustível	R\$/ano	R\$ 0,00	R\$ 6.479.547,91	R\$ 67.182,81
Dados de manutenção				
	Unidade			
Custo de manutenção anual	R\$/ano/ônibus	R\$ 8.500,00	R\$ 15.000,00	R\$ 22.500,00
Custo fixo de manutenção anual	R\$/ano	R\$ 59.500,00	R\$ 4.740.000,00	R\$ 22.500,00
Custos				
	Unidade			
Custos anuais	R\$	R\$ 148.925,00	R\$ 11.219.547,91	R\$ 89.682,81
TOTAL	R\$		R\$ 11.458.155,72	

Segundo a CET Santos a frota de Santos possui um total de 324 ônibus, sendo que foi observado no site da operadora que fornece o rastreamento dos ônibus ao longo do dia, uma média de 89 ônibus operando simultaneamente em todas as 40 linhas da cidade. Com isso foram calculados os gastos diários e anuais por parte da operadora, os valores de emissão, consumo e manutenção considerados no presente trabalho tiveram como referência os dados apresentados na nota técnica “COSTS AND EMISSIONS APPRAISAL TOOL FOR TRANSIT BUSES, 2019” do World Resources Institute.

Tabela 6 - Cronograma de implementação dos ônibus elétricos

ÔNIBUS	ANO	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
		(CENÁRIO ATUAL)				INÍCIO DO NOVO CONTRATO									
ELÉTRICO 45 passageiros/ônibus	Comissionamento	0	0	0	0	117	20	1	30	27	54	19	16	34	16
	Descomissionamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-16
	Capacidade de transporte	45	45	45	45	5310	6210	6255	7605	8820	11250	12060	12780	14310	14310
	TOTAL	1	1	1	1	118	138	139	169	196	250	268	284	318	318
HÍBRIDO 77 passageiros/ônibus	Comissionamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Descomissionamento	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
	Capacidade de transporte	77	77	77	77	77	77	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
TRÓLEBUS 95 passageiros/ônibus	Comissionamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Descomissionamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capacidade de transporte	570	570	570	570	570	570	570	570	570	570	570	570	570	570
	TOTAL	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
DIESEL 90 passageiros/ônibus	Comissionamento	0	18	16	34	0	0	0	-30	-27	-54	-18	-16	-34	0
	Descomissionamento	0	-18	-16	-34	-117	-20	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capacidade de transporte	28440	28440	28440	28440	17910	16110	16110	13410	10980	6120	4500	3060	0	0
	TOTAL	316	316	316	316	199	179	179	149	122	68	50	34	0	0
GERAL	TOTAL	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324

Para a realização do projeto de implementação foi necessário realizar algumas considerações iniciais. É possível observar na tabela 5 que cada tipo de ônibus possui características próprias associadas ao modo de operação, tempo de vida útil e tecnologia, nos indicando a melhor maneira de fazer as substituições dos veículos conforme tabela 6.

4 RESULTADO

Após a realização das análises comparativas entre os cenários atual e pós implementação, torna-se evidente os benefícios atrelados a implementação da eletromobilidade no transporte público de Santos. Por conta da capacidade de transporte dos ônibus elétricos serem um pouco menor em comparação com os ônibus convencionais a diesel, 45 e 90 passageiros respectivamente, aumentamos o número de ônibus na frota para melhor atender a população.

Tabela 7 - Cenário futuro após a implementação completa de ônibus elétricos na frota de Santos.

CENÁRIO 2033		
Tipo de combustível		ELÉTRICO
Dados específicos da frota		
	Unidade	
Número de ônibus	ônibus	324
Vida útil	ano	15
Valor de compra	R\$/ônibus	R\$ 1.026.513,00
Custo total de aquisição	R\$ - (2024 - 2033)	R\$ 332.590.212,00
Operação diária		
	Unidade	
Número de ônibus	ônibus/dia	178
Distância diária percorrida	km/dia/ônibus	80
Distância anual percorrida	km/ano/ônibus	29200
Fatores de emissão		
	Unidade	
Dióxido de carbono (CO ₂)	g/L	0,0
Dióxido de carbono (CO ₂)	ton/ônibus/ano	0,0
Dióxido de carbono (CO ₂)	ton/frota/ano	0,0
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	g/km	0,0
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	kg/ônibus/ano	0,0
Hidrocarbonetos não metano (NMHC)	kg/frota/ano	0,0
Metano (CH ₄)	g/km	0,0
Metano (CH ₄)	kg/ônibus/ano	0,0
Metano (CH ₄)	kg/frota/ano	0,0
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	g/km	0,0
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg/ônibus/ano	0,0
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg/frota/ano	0,0
Óxido nitroso (N ₂ O)	g/km	0,0
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg/ônibus/ano	0,0
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg/frota/ano	0,0
Material particulado (PM)	g/km	0,0
Material particulado (PM)	kg/ônibus/ano	0,0
Material particulado (PM)	kg/frota/ano	0,0
Monóxido de carbono (CO)	g/km	0
Monóxido de carbono (CO)	kg/ônibus/ano	0
Monóxido de carbono (CO)	kg/frota/ano	0
Dados de operação		
	Unidade	
Consumo de energia	kwh/km	1,25
Consumo de energia	kwh/ano	6497000,00
Custo de energia	R\$/kwh	0,35
Custo de energia	R\$/ano	R\$ 2.273.950,00
Dados de manutenção		
	Unidade	
Custo de manutenção anual	R\$/ano/ônibus	R\$ 8.500,00
Custo fixo de manutenção anual	R\$/ano	R\$ 2.754.000,00
Infraestrutura		
	Unidade	
Custo da estação de recarga	R\$	R\$ 12.000,00
Número de estações necessárias	Estações de recarga	120
Valor de implementação das estações de recarga	R\$	R\$ 1.440.000,00
Custos		
	Unidade	
Implementação	R\$ - (2024 - 2033)	R\$ 334.030.212,00
Custos anuais	R\$	R\$ 5.027.950,00

Na figura 5 é possível observar que os custos de manutenção no final da implementação diminuíram cerca de 43% comparado com o custo de 2020, isso porque os ônibus elétricos possuem menos conjuntos de peças, necessitam de menos óleos lubrificantes e sofrem menor desgaste dos freios, já que os ônibus elétricos possuem um sistema de regeneração das baterias que auxilia na frenagem.

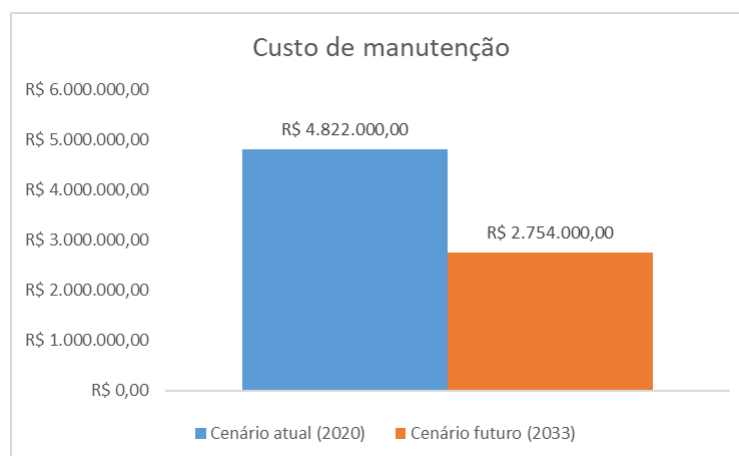


Figura 5 - Comparação do custo de manutenção.

Já no âmbito do consumo de energia e combustíveis (figura 6), os cenários nos mostram que com a implementação a queda dos custos são enormes, uma queda de cerca de 66%, isso se deve ao fato de que no Brasil os valores de combustíveis fósseis são muito voláteis, sofrendo reajustes constantes e sensíveis a fatores externos. Já em relação a geração de energia elétrica o Brasil possui um potencial de geração muito favorável, o que nos garante um melhor custo benefício.

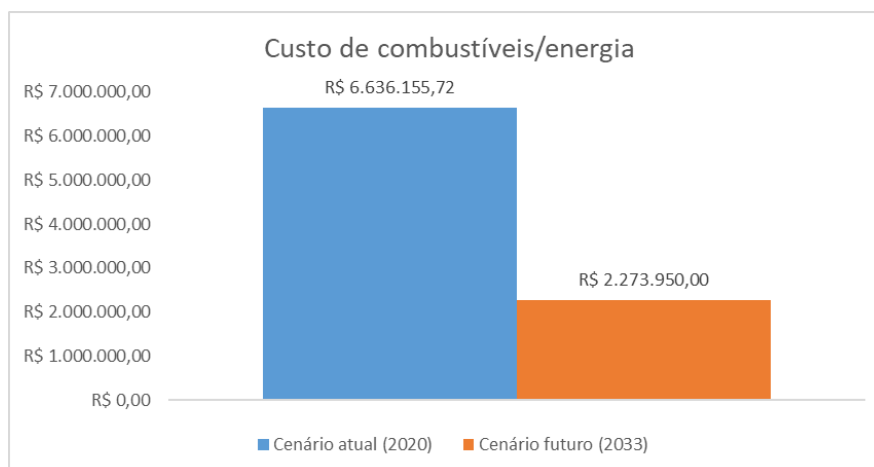


Figura 6 - Comparação do custo de combustíveis/energia.

Como visto nas figuras anteriores a figura 7 nos confirma que anualmente os custos de operação são reduzidos em cerca de 56%, além de nos proporcionar um cenário onde toda a frota não emite nenhum gás do efeito estufa localmente (tabela 7), uma vantagem incalculável para a nossa sociedade.

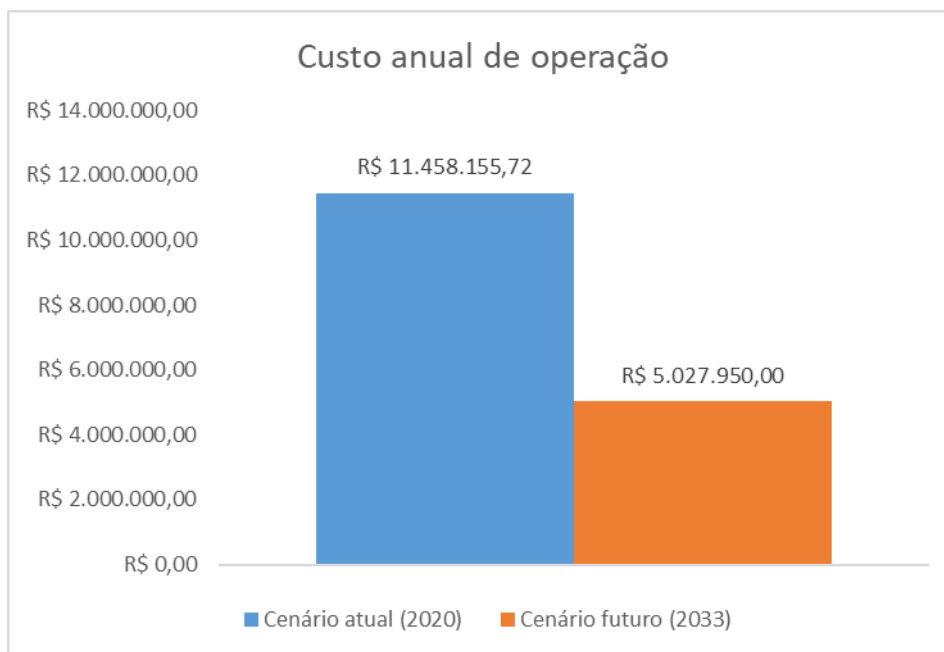


Figura 77 - Comparação do custo anual de operação.

A tabela 8 nos mostra os custos da implementação de toda a frota para ônibus elétrico associado a instalação dos pontos de recarga nas instalações da empresa dentro de um período de 9 anos, entre 2024, quando um novo contrato será iniciado pela prefeitura de Santos com a nova operadora de ônibus no município, e 2033.

Tabela 8 - Custos de implementação e custos anuais após a implementação da frota 100% elétrica.

Custos		
	Unidade	
Implementação	R\$ - (2024 - 2033)	R\$ 334.030.212,00
Custos anuais	R\$	R\$ 5.027.950,00

4.1.1 EXTRA

A implementação da eletromobilidade no transporte público em Santos abre espaço para a discussão de novas ideias para agregar ainda mais valor à proposta inicial, reduzindo ainda mais os custos e reforçando a visão da empresa frente às questões socioambientais.

A venda dos ônibus antigos é uma alternativa que pode ser utilizada para abater os custos de implementação no projeto, neste cenário, os ônibus antigos podem ser vendidos para empresas de menor porte.

Uma ideia interessante também vinculada a proposta do presente projeto é a inserção da empresa no mercado livre de energia, que consiste em um ambiente de contratação de energia elétrica no qual os consumidores podem comprar a energia diretamente dos geradores ou comercializadores de energia, tornando o preço mais competitivo que no mercado cativo, permitindo que a empresa diminua seus custos e seja mais produtiva. Este modelo poderia aumentar a margem de lucro e gerar caixa para a empresa.

Segundo uma simulação que realizamos com o simulador da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE, estimamos que a potência contratada pela empresa será de 906,1 kW (Figura 8).



Os meus eletrodomésticos por categoria

Em baixo são apresentados todos os equipamentos que selecionou e suas respetivas características, divididas por categorias de equipamentos. Adicionalmente é apresentado o peso de cada categoria de equipamento no escalão de potência recomendado.

Mobilidade elétrica	
Carro elétrico (carregamento rápido)	120 7400 W

Figura 8 - Simulação realizada com a ERSE.

Neste caso, a empresa estaria apta para se inserir no mercado livre de energia, uma vez que a unidade consumidora deve apresentar uma demanda contratada mínima de 500 kW. À vista disso, a empresa pode escolher o fornecedor, definir quanto pagaria e qual seria a duração do contrato. Este modelo de negociação de energia surgiu como uma alternativa do governo para estimular a competição no setor de geração e industrial.

Entrando no mercado livre de energia, a empresa pode negociar um valor que ficará estipulado em contratos de prestação de serviços, assim, durante a vigência do contrato, o valor do kW será mantido.

Outra ideia para complementar o projeto inicial seria implementar painéis fotovoltaicos nas instalações da empresa visando a redução dos gastos com energia proveniente da rede, desta forma, além da redução nos custos de manutenção, os custos no consumo de energia elétrica também seriam atenuados.

Por fim, um tópico importante que deve ser abordado é a destinação final e sucateamento dos materiais dos veículos, afinal, o descarte não apropriado das baterias pode causar impactos de elevada magnitude, descredibilizando todos os benefícios obtidos ao longo da vida útil do ônibus. Os componentes químicos presentes nas baterias podem contaminar o solo, atingindo o lençol freático e causando danos à qualidade de vida da população e à biodiversidade local.

Segundo a Resolução CONAMA n 257/99 os procedimentos de reciclagem, tratamento e disposição final adequada são obrigatórios, os fornecedores e estabelecimentos que os comercializam possuem a obrigatoriedade de aceitar a devolução das unidades vendidas. Nesse contexto, após a vida útil da bateria acabar elas seriam devolvidas ao fabricante para ter um destino apropriado.

5 CONCLUSÃO

A poluição ambiental causada pelo uso de combustíveis fósseis é responsável por diversos problemas ambientais e sociais que vêm aumentando consideravelmente nas últimas décadas, dos quais podemos citar o aquecimento global causado pela emissão de CO², a chuva ácida causada principalmente pela emissão de SO², a poluição do ar resultando em uma infinidade de problemas respiratórios que podem afetar significativamente a qualidade de vida da população, entre outros problemas socioambientais.

Como evidenciado ao longo do trabalho, o setor de transportes apresenta um impacto expressivo para estas emissões de gases poluentes principalmente nos grandes centros urbanos. Uma das principais características responsáveis por esta situação é o predomínio do transporte individual nas grandes cidades, o que aumenta o número de automóveis em circulação e conseqüentemente as emissões de gases poluentes.

Para reduzir o impacto ambiental do setor, uma das principais alternativas é o incentivo à utilização de meios de transporte não poluentes como bicicletas, patins, skate, deslocamentos a pé e um sistema de transporte coletivo mais eficiente e com menor emissão de gases poluentes.

Embora exista o plano municipal de mudança do clima e um plano diretor de desenvolvimento e expansão urbana no município de Santos, ainda é de extrema importância a adoção de iniciativas para mitigar a emissão de gases poluentes.

Nesse contexto, o trabalho mostrou que a implementação de uma frota de ônibus elétricos no município de Santos é uma alternativa excelente para melhorar a qualidade de vida da população e reduzir os impactos ambientais. Incontestavelmente o custo de implementação seria alto, contudo, considerando a economia na operação da frota que a tecnologia proporcionará, o impacto financeiro será atenuado ao longo dos anos e no longo prazo Santos teria uma frota de ônibus 100% elétrica, com um menor custo para a obtenção de energia elétrica da rede e de com 0 emissão de poluentes.

É interessante salientar que apesar de o ônibus elétrico ser 3 vezes o valor do ônibus convencional, ele possui uma vida útil 1/3 maior, tornando a aquisição do ônibus elétrico mais vantajosa.

Além disso, outro ponto a ser considerado é que atualmente com o acelerado avanço tecnológico e as pesquisas direcionadas a melhora na eficiência energética das baterias cria uma tendência de redução dos custos para aquisição e aumento da vida útil das mesmas, facilitando a aquisição e reduzindo o custo inicial estimado.

6 REFERÊNCIAS

Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU). **Dados do transporte público por ônibus 2018**. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>. Acesso em: 15/09/2020.

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018**. São Paulo. 2018. Disponível em: <http://www.virapagina.com.br/anfavea2018/>. Acesso em: 08/09/2020.

Belo Horizonte. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Inventário municipal de emissões de gases de efeito estufa**. Belo Horizonte, 2009. Disponível: http://www.pbh.gov.br/smpl/PUB_P015/Relat%C3%B3rio+Final+Gases+Estufa.pdf. Acesso em: 02/09/2020.

Bermúdez, T. **Transiciones socio-técnicas hacia una movilidad de bajo carbono: un análisis del nicho de los buses de baja emisión para el caso de Brasil**. [s.l.]. Universidade Estadual de Campinas, 2018.

Bloomberg New Energy Finance. **Electric Buses in Cities - Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2**. 2018. Disponível em: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEFC40-Citi.pdf>. Acesso em: 17/09/2020.

Companhia de Engenharia de Tráfego. **FROTA DO TRANSPORTE COLETIVO MUNICIPAL SANTOS**. Disponível em: [frota-convencional.pdf](#) (cetsantos.com.br). Acesso em: 1/02/2021.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2016**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wpcontent/uploads/sites/6/2017/11/EMISS%C3%95ESVEICULARES_09_nov.pdf. Acesso em: 20/09/2020.

Diário do transporte. **Ônibus consegue aproveitar melhor até 22 vezes mais o espaço urbano em relação ao carro para realidade de São Paulo**. 2016a. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2016/01/24/onibus-consegueaproveitar-melhor-ate-22-vezes-mais-o-espaco-urbano-emrelacao-ao-carro-para-realidade-de-sao-paulo/>. Acesso em: 17/09/2020.

Ferreira, A. L. et al. **Emissões dos Setores de Energia, Processos Industriais e uso de produtos. SEEG Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Período 1970-2016. Documento de análise 2018.** São Paulo: [s.n.].

Macedo, J.E.J. (2017). **Estudo de linha de Trólebus de Natal.** UFRN – Centro de Tecnologia – SISBI.

Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2018.** Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018.pdf>. Acesso em: 05/09/2020.

O Globo. **Frota mista de ônibus na Transoceânica reduzirá emissão de poluentes quase à metade.** 2018. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/bairros/frota-mista-de-onibus-na-transoceanica-reduzira-emissao-de-poluente-quase-metade-23240302>. Acesso em: 18/09/2020.

Olsson, O., Grauers, A., & Pettersson, S. (2016). EVS29 Symposium Montréal, Québec, Canada – **Method to analyze cost effectiveness of different electric bus systems**, 19-22.

Pekarek S., Zefran M., Benga S., D. R., U. K (2011). **Hybrid Optimal Theory and Predictive Control for Power Management in Hybrid Electric Vehicle**, Journal of Nonlinear Systems and Applications, 2(2),96-110.

Senger, O. L. C., **ÔNIBUS ELÉTRICOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE PÚBLICO COMO PARADIGMA DE POLÍTICA PÚBLICA NO COMBATE À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM SANTOS.** Universidade Santa Cecília. Santos, 2018.

São Paulo. Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria do Verde e Meio Ambiente. **Relatório Técnico - Produto 7B:** atualização do inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa do município de São Paulo dos anos de 2010 e 2011. São Paulo, 2012b. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/INVEMI_P7B.PD. Acesso em: 09/09/2020.

United Nations Department Of Economic And Social Affairs (UN DESA). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>. Acesso em: 17/09/2020.

Vasconcelos, Y. (2015). **Ônibus mais sustentáveis**. Revista Fapesp, 237, 74-77.

World Resources Institute (WRI). **How Did Shenzhen, China Build World's Largest Electric Bus Fleet? 2018**. Disponível em: <https://www.wri.org/blog/2018/04/how-didshenzhen-china-build-world-s-largest-electric-bus-fleet> Acesso em: 16/09/2020.

World Resources Institute (WRI). **COSTS AND EMISSIONS APPRAISAL TOOL FOR TRANSIT BUSES, 2019**.

Disponível em: <https://www.wri.org/research/costs-and-emissions-appraisal-tool-transit-buses#:~:text=The%20Costs%20and%20Emissions%20Appraisal,is%20financially%20viable%20and%20worthwhile> Acesso em: 15/12/2021.