



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

EMYLLAINE LIMA LADISLAU

**VIABILIDADE DO USO DE MOTORES ELÉTRICOS NOS COLETIVOS
URBANOS BRASILEIRO: ÔNIBUS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS**

**RECIFE - PE
2023**

EMYLLAINE LIMA LADISLAU

**VIABILIDADE DO USO DE MOTORES ELÉTRICOS NOS COLETIVOS
URBANOS BRASILEIRO :ÔNIBUS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS**

Projeto de Trabalho de Conclusão
de Curso apresentado como
exigência de conclusão da disci-
plina ME-450

Prof. Responsável: Pr. Marcus
Costa de Araujo

Orientador: Pr. Dr. Marcus Costa de
Araujo

RECIFE - PE
2023

Ladislau, Emyllaine Lima.

Viabilidade do uso de motores elétricos nos coletivos urbanos brasileiros:ônibus elétricos e híbridos / Emyllaine Lima Ladislau. - Recife, 2023.

65 : il., tab.

Orientador(a): Marcus Costa de Araujo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2023.

1. Ônibus elétrico. 2. Sistema de transporte público. 3. Viabilidade econômica. 4. Sustentabilidade. I. Araujo, Marcus Costa de. (Orientação).

620 CDD (22.ed.)



Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica Centro de
Tecnologia e Geociências- CTG/EEP



ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2

Ao 16.º dia do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, às 10:00 horas, de forma virtual através da plataforma google meet, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado **Viabilidade do uso de motores elétricos nos coletivos urbanos brasileiro: ônibus elétricos e híbridos**, elaborado pela aluna **Emyllaine Lima Ladislau**, matrícula 103.110.824/67, composta pelos avaliadores Prof. **Marcus Costa de Araújo** (orientador), Profa. **Luciete Alves Bezerra** (avaliadora) e Prof. **Guilherme Medeiros Soares de Andrade** (avaliador). Após a exposição oral do trabalho, a candidata foi arguida pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se e deliberaram pela sua aprovação, atribuindo-lhe a média 8,0 (oito), julgando-a apta(x) / inapta() à conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Para constar, redigi a presente ata aprovada por todos os presentes, que vai assinada pelos membros da banca.

Orientador: Prof. Marcus Costa de Araújo Nota: 8,0

Assinatura  Documento assinado digitalmente
MARCUS COSTA DE ARAUJO
Data: 16/06/2023 13:31:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliadora Interna: Profa. Luciete Alves Bezerra Nota: 8,0

Assinatura  Documento assinado digitalmente
LUCIETE ALVES BEZERRA
Data: 20/06/2023 16:58:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador Externo: Prof. Guilherme Medeiros Soares de Andrade Nota: 8,0

Assinatura  Documento assinado digitalmente
GUILHERME MEDEIROS SOARES DE ANDRA
Data: 25/07/2023 18:16:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Recife, 16 de junho de 2023.

Prof. Marcus Costa de Araújo
Coordenador de Trabalho de Conclusão de curso - TCC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

RESUMO

Os ônibus elétricos estão se tornando uma tendência crescente nos sistemas de transportes coletivos urbanos em todo o mundo, mas a viabilidade depende de vários fatores que serão visto nesse trabalho. Este trabalho tem como objetivo, analisar a viabilidade dos motores elétricos e todas as configurações relacionadas como rentabilidade, custo, manutenção etc, na cidade metropolitana do Recife em Pernambuco. Foi feito um estudo de caso com uma abordagem qualitativa e de caráter exploratório, apropriando-se também de uma revisão integrativa de literatura para fundamentar a pesquisa, revisando os autores sobre o tema proposto. Na análise do estudo a partir de um software da Empresa de Pesquisa Energética que, com a posse dos dados foi feita uma avaliação sobre a viabilidade da tecnologia estudada. Além de alguns exemplos do avanço dessa tecnologia em outros países e algumas cidades brasileiras. Na qual os ônibus elétricos tem potencial para tornarem uma opção de transporte sustentável e eficiente. Embora tenham um preço inicial mais alto que os ônibus a diesel, os custos total de propriedade (TCO, na sigla inglês) que inclui os custos de operação, manutenção e combustível, sobrepõem o valor inicial. Já a eletricidade é mais barata e os motores elétricos mais eficientes. A infraestrutura de recarga é um desafio importante, mas muitas cidades estão investindo nela. Com o investimento contínuo em tecnologias e infraestrutura resultará em uma forte economia a longo prazo. Trabalho este bastante relevante para o crescimento do conhecimento sobre os motores em questão, não apenas para os alunos de engenharia, mas para as empresas de transportes públicos da cidade de Recife e todo o território nacional.

Palavras-chave: Ônibus elétrico. Sistema de transporte público. Viabilidade econômica. Sustentabilidade

ABSTRACT

Electric buses are becoming a growing trend in urban public transport systems around the world, but viability depends on several factors that will be seen in this work. This work aims to analyze the feasibility of electric motors and all related configurations such as profitability, cost, maintenance, etc., in the metropolitan city of Recife in Pernambuco. A case study was carried out with a qualitative and exploratory approach, also appropriating an integrative literature review to support the research, reviewing the authors on the proposed theme. In the analysis of the study from a software of the Energy Research Company that, with the possession of the data, an evaluation was made on the viability of the studied technology. In addition to some examples of the advancement of this technology in other countries and some Brazilian cities. In which electric buses have the potential to become a sustainable and efficient transport option. Although they have a higher initial price than diesel buses, the total cost of ownership (TCO), which includes operating, maintenance and fuel costs, exceeds the initial value. Electricity is cheaper and electric motors are more efficient. Charging infrastructure is a major challenge, but many cities are investing in it. Continued investment in technologies and infrastructure will result in strong long-term savings. This work is very relevant for the growth of knowledge about the engines in question, not only for engineering students, but for public transport companies in the city of Recife and throughout the national territory.

Keywords: Electric bus. Public transport system. Economic viability. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cabeçote, bloco e cárter do motor	13
Figura 2 – Ciclo Diesel	13
Figura 3 – Motor Diesel	15
Figura 4 – Cilindro Pistão de um motor a combustao interna	16
Figura 5: - Esquema do funcionamento de um motor de quatro tempos do Ciclo Otto	17
Figura 6: Diagrama dos sistemas P-v e T-v	17
Figura 7: Diagrama entre as eficiências e taxa de compressão	19
Figura 8: Esquema do funcionamento de um motor de quatro tempos do ciclo Diesel	20
Figura 9: Motor diesel	22
Figura 10: Componentes do motor de corrente continua com escova	26
Figura 11: Componentes de um motor assíncrona	26
Figura 12: Componentes de motor síncrono	27
Figura 13: Diagrama do veículo híbrido em série	29
Figura 14: Diagrama do veículo híbrido paralelo	29
Figura 15: Diagrama do veículo híbrido serie-paralelo	30
Figura 16 : Principais componentes de um veículo Híbrido	31
Figura 17: Eixo de tração com motores de ímãs permanentes na roda	32
Figura 18 : Ônibus elétrico a bateria	32
Figura 19 : Relação de Custos	35
Figura 20: Taxa de motorização em países selecionados (2015)	37
Figura 21: Distribuição de ônibus elétricos nos municípios brasileiros	39
Figura 22: Registros e participação de vendas de ônibus elétricos por região, 2015-2021	44
Figura 23: Gráfico do total de ônibus elétricos	45
Figura 24: Ranking de ônibus elétricos nas cidades brasileiras	46
Figura 25 Dados de Utilização do software – EPE	51
Figura 26: Dados do preço do óleo diesel e energia elétrica	52
Figura 27: Aquisição e Operação dos ônibus elétrico e Diesel	52
Figura 28: Financiamento dos ônibus a diesel e elétrico	53
Figura 29: Rota da linha CDU/Caxangá/Boa Viagem	54
Figura 30: Valor do Diesel	55
Figura 31: Resultado os dados aplicado no software	60

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Diferença entre ciclo Otto e Diesel	24
Tabela 2: Ônibus Híbrido X Ônibus Convencional	42
Tabela 3: Ônibus a diesel X Ônibus elétrico	43
Tabela 4: Classificação das principais variáveis envolvidas na análise	48
Tabela 5: Referente as dados de utilização	55
Tabela 6: Alíquotas	56
Tabela 7: Tabela de energia elétrica aplicada no grupo A4 – em reais sem imposto	56
Tabela 8: Custo dos veículo de análise	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Motor Diesel	12
2.2 Motor Elétrico	13
2.3 Motor Híbrido	14
2.4. Poluentes	14
2.5 Motor a Combustão Interna.....	15
2.6 Motor Ciclo Otto	16
2.7 Motor Ciclo a Diesel	20
2.8 Motores Elétricos	25
2.9 Motores Híbridos	28
2.10 Planos de Manutenção	33
2.11 Emissão dos Motores à Combustão e Elétrico	35
2.12 Manutenção e Custos dos Sistemas	40
2.13 Países com Implementação dos Motores Híbridos e Elétricos	43
3. METODOLOGIA	47
3.1 Etapas da pesquisa	47
3.2 Análise da viabilidade dos ônibus elétricos	48
3.2.1 Custos Fixos	49
3.2.2 Custos Variáveis	49
3.2.3 Distância Média Percorrida	49
3.2.4 Redimentos dos Veículos	50
3.3 Ferramenta para avaliação de ônibus urbano	50
4. RESULTADOS	54
4.1 Estudo de caso na cidade de Recife	55
4.1.1 Preço do Diesel	55
4.1.2 Preço da Energia Elétrica	56
4.1.3 Custo de aquisição – Capital expenditure/Despesas de capitais (CAPEX)	57
4.1.4 Custo de operação – Operacional Expenditure (OPEX)	57
4.1.5 Financiamento	58
5. DISCUSSÃO	59
6. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana tem sido um assunto recorrente ultimamente, em que o transporte motorizado assumiu um papel predominante no deslocamento cotidiano da população, gerando discussões em um contexto socioeconômico e principalmente, socioambiental. A ação humana tem aumentado o índice de poluição, na utilização de carros particulares, ônibus de transporte urbano ou rodoviário e caminhões, resultando em grande parte das emissões de poluentes dos grandes centros urbanos, afetando a saúde e o bem estar da sociedade, precursores do efeito estufa e poluição do ar. Para a redução desses efeitos, a tecnologia veicular híbrida e elétrica tem sido uma solução que vem sendo aplicada nos países desenvolvidos, e em alguns países subdesenvolvidos, agregando benefícios no desempenho veicular, segurança, confiabilidade e melhoramento ambiental.

Sistema de motores elétrico não é uma tecnologia recente, e em meados do século dezoito e dezenove foi inventada a primeira carruagem elétrica, logo em seguida os primeiros carros elétricos. Com o passar do tempo, devido ao saldo positivo dessa eletrificação ocorreu a necessidade de criar uma linha pesada, a geração dos ônibus elétricos e híbridos nesse segmento. O desenvolvimento desses motores são bem mais simples que o motor a combustão, composto basicamente de estatores e rotor, além de possuir menos componentes, sem a necessidade de escapamento, tornando-o mais silencioso. Nos motores híbridos há emissão de poluentes, porém menor que o usual, uma viabilidade mais sustentável em ambas as perspectivas.

No setor ambiental o transporte público é responsável por uma parcela crucial de gases do efeito estufa, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), e material particulado, alguns dos quais contribuem para a formação de ozônio e as partículas diurnas que causa em grande maioria problema respiratório na sociedade. O sistema de eletrificação é um contribuinte significativo para a mitigação do aquecimento global e o melhoramento na qualidade de vida nas grandes cidades.

Nesse viés a fim de ter respostas sobre a problematização, a pesquisa foi direcionada pelos objetivos de fazer uma análise para saber se era viável, em relação a sua rentabilidade, o uso dos motores elétricos nos transportes públicos da região metropolitana do Recife, verificando também seu funcionamento, os custos com manutenção, qual dos motores é mais procedente, dentre outros.

Para isso, utilizou-se a metodologia que trata de um estudo de caso com uma abordagem qualitativa e de caráter exploratório, assim como se utilizando de uma revisão integrativa de literatura para fundamentar ainda mais a pesquisa feita na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco.

Neste trabalho será realizada uma análise comparativa entre motor a combustão dos transportes coletivos (ônibus) usados e os novos, movidos a motores elétricos ou híbridos. A partir da literatura, serão coletados alguns dados para análise a respeito do custo/benefício da aquisição dos ônibus elétricos e Híbridos. Conceituando o motor a diesel, desde o primeiro motor construído até sua evolução atual e o motor elétrico, descrevendo cada componente e suas determinadas funções. Citar o sistema de manutenção que coexiste e nem sempre é colocada em prática pela empresa. Ademais, terá uma síntese do custo com manutenção e aquisição dos veículos de motores a diesel, elétrico e híbrido.

Dessa forma, este trabalho é de extrema relevância para o contexto municipal dos meios de transportes urbanos, porque permite a possibilidade de expor as vantagens e desvantagens dos motores utilizados nesta pesquisa, fazendo com que, sua importância ultrapasse o âmbito das salas de aulas da universidade e cheguem nas empresas de transportes servindo como suporte teórico e técnico/prático tanto aqui no estado quanto em todo o Brasil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise da viabilidade do uso de motores elétricos nos transportes públicos urbanos, verificando se são mais econômicos, menos poluentes e possuem melhor rentabilidade do que os transportes coletivos utilizados atualmente.

1.1.2 *Objetivos específicos:*

O presente trabalho possui como objetivos específicos os itens citados:

- Analisar o funcionamento do sistema do motor à combustão interna e motor elétrico e híbrido.
- Expor os custos com a manutenção.
- Avaliar a introdução dos ônibus elétricos no transporte público em alguns países.
- Analisar a integração dos ônibus elétricos no Brasil, além de sua sustentabilidade e sua viabilidade econômica.
- Comparar quais dos motores estudados é mais viável e sustentável

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta uma revisão nos conceitos dos motores a diesel, o plano de manutenção, fator de emissão de gases referente a esse motor e sobre o motor elétrico.

2.1 MOTOR DIESEL

O motor a diesel, geralmente utilizados nos ônibus é um motor a combustão interna que apresenta três principais partes: cabeçote, bloco e cárter, como pode ser visualizado na Figura 1. Cabeçote é a parte superior no qual possui as válvulas e o eixo cames ou comando de válvulas. Bloco é a parte central contendo os cilindros, árvore da manivela, pistões e biela. Cárter é a parte inferior e armazena o óleo de lubrificação do sistema. O motor funciona em um ciclo mecânico composto por quatro fases, que são: admissão (um volume de ar é aspirado); compressão, (volume de ar é comprimido em um determinado curso pelo pistão); exaustão, (mistura de ar-combustível transmitindo energia para o sistema) e descarga (eliminação dos resíduos da combustão). Assim, o ciclo segue como pode ser visto na Figura 2 (SANTOS, 2010).

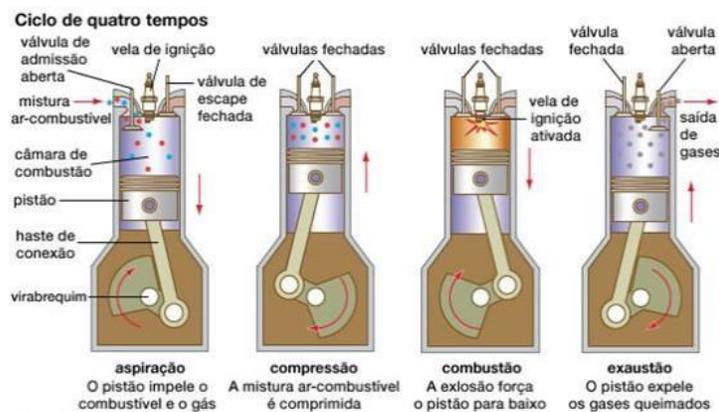
A manutenção desse sistema deve ocorrer de forma preventiva, havendo os ajustes, reparos, inspeções e a troca de componentes programada periodicamente; além de se verificar se há presença de vazamentos nas tubulações, condições da limpeza do tanque de combustível, limpeza dos pré-filtro e filtros, averiguação do funcionamento da bomba de alimentação, bomba injetora e o bico injetor. O sistema de injeção do motor deve seguir as recomendações do manual do fabricante, com gerenciamentos eletrônicos ou diagnóstico com scanner no qual verificam-se os códigos de falhas e a leitura. Com isso, reduz-se as falhas, a média do consumo de combustível e o nível de emissões de poluentes dentro dos padrões estabelecidos (COSTA, 2018).

Figura 1 – Cabeçote, bloco e cárter do motor



Fonte: SANTOS, 2010

Figura 2 – Ciclo Diesel



Fonte – VARAN,2010

2.2 MOTOR ELÉTRICO

Já no motor elétrico utiliza-se a eletricidade armazenada nas baterias embarcadas para alimentação do motor elétrico de tração ou propulsão. Essas baterias são recarregadas por meio de carregadores externos ou na rede elétrica. Os principais componentes desse sistema são o trem de força, responsável por converter a energia elétrica contida nas baterias em energia mecânica e que durante a frenagem converte parte da energia cinética novamente em eletricidade. Além do

motor elétrico que, como o principal promotor tem-se o cardan e diferencial ou conjunto eixo-hélice e os conversores e inversores auxiliares. Os modelos mais utilizados de motores são por corrente contínua, ímã permanente síncrono e relutância variável. Esse motor é capaz de fornecer um torque nominal quando ainda se encontra em baixas rotações (NETO, 2019).

2.3 MOTOR HÍBRIDO

O motor híbrido é composto de motor elétrico com duas fontes de energia: um conjunto motor-gerador a diesel e um grupo de baterias. O motor elétrico vai ser o responsável pela tração nas rodas, e o conjunto motor-gerador pela geração da energia necessária para pôr o veículo em movimento. O motor-gerador opera em condição estacionária e sua função é apenas gerar a energia necessária para tirar o veículo da inércia. A partir daí, cabe ao motor elétrico movimentá-lo (PEREIRA, 2007).

2.4 POLUENTES

O óleo diesel é obtido a partir do refino do petróleo bruto, sua composição contém basicamente hidrocarbonetos, compostos orgânicos como átomos de carbono e hidrogênio, além de baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. A combustão é uma reação química exotérmica entre dois reagentes: o combustível, substância oxidável responsável pela alimentação da combustão e o comburente, substância oxidante a combustão que ocorre nos motores de automóveis, ônibus e seus derivados. Os principais agentes causadores da poluição atmosférica, derivados da combustão são os materiais particulados, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (Nox) e dióxidos de carbono.

O material particulado, fuligens que saem dos escapes dos veículos atacam principalmente os pulmões, aumentam as taxas de reações atmosféricas e reduzem a visibilidade. Essas partículas não se decompõem no solo, permanecem na atmosfera por um tempo indeterminado. São formados na zona primária de

chamas difusivas, por falta de oxigênio. Cerca de 0,22% de dióxido de enxofre é encontrado na combustão de óleo diesel. Basicamente dos 61% de SO₂, 25% é responsável pela queima de óleo (LACAVA, 2003), o tempo de vida é de 2 a 6 dias na atmosfera, podendo atingir cerca de 4 000 KM de distância da fonte emissora. O efeito primordial da exposição do dióxido de enxofre está sobre o sistema respiratório. O monóxido de nitrogênio e o dióxido de nitrogênio são os mais emitidos na combustão, ao entrarem em contato com o vapor de água formam o ácido nítrico, um dos constituintes da chuva ácida. O monóxido de carbono e dióxido de carbono que são gases inodoros e venenosos, contribuintes para absorção de infra vermelho e efeito estufa. Em veículos elétricos e híbrido a emissão direta de poluentes é nula ou muito reduzida, além de serem limpos para o meio ambiente, os veículos são silenciosos (CARVALHO, 2011).

2.5 MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA

Os motores a combustão interna são máquinas térmicas que transformam a energia proveniente de uma reação química em energia mecânica. O processo de conversão é feito através de ciclos termodinâmicos que envolvem a compressão e expansão de gases gerando uma mudança de temperatura neles. São considerados motores de combustão interna todos os que se utilizam dos gases originários da combustão de modo que estes realizem o trabalho no sistema através dos processos de compressão, queima, expansão e exaustão.

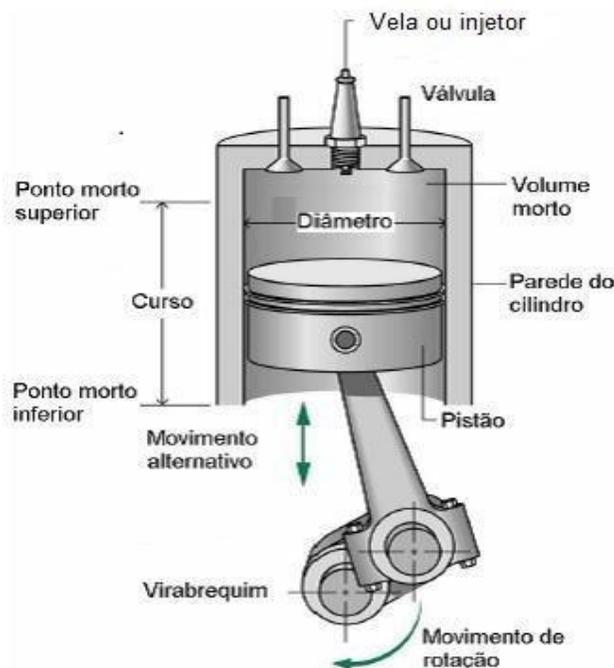
Figura 3 – Motor Diesel



Fonte: KUNZ, 2013, p. 44

O sistema de combustão interna pode ser classificado de acordo com os ciclos termodinâmicos, que são de dois tipos: Ciclo OTTO e ciclo DIESEL.

Figura 4 – Cilindro Pistão de um motor a combustão interna

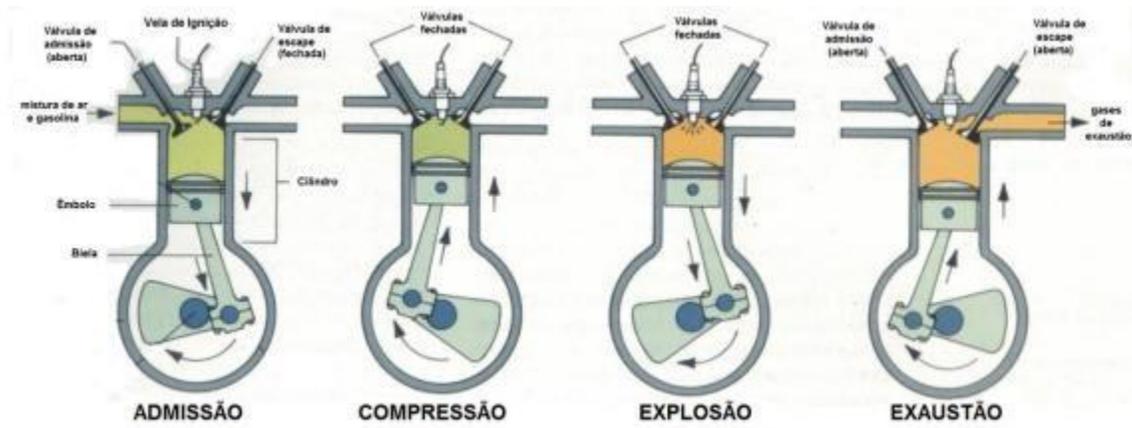


Fonte: Costa,2007

2. 6 MOTOR CICLO OTTO

O ciclo OTTO originou-se em 1858 pelo engenheiro Belga Jean Joseph, porém só foi apresentado em 1867 na Alemanha por Nicollas August Otto (1832-1891) e Eugen Langen (1833-1895). Baseou-se na queima de uma mistura de ar e combustível por uma centelha dentro do cilindro. Após evolução no aspecto de eficiência térmica, Otto, em 1876, conseguiu desenvolver o motor baseado em quatro tempos – admissão, compressão, expansão e descarga. Esse avanço fundou a indústria de motores a combustão interna trazendo os atuais motores movido a gasolina, álcool e gás natural veicular.

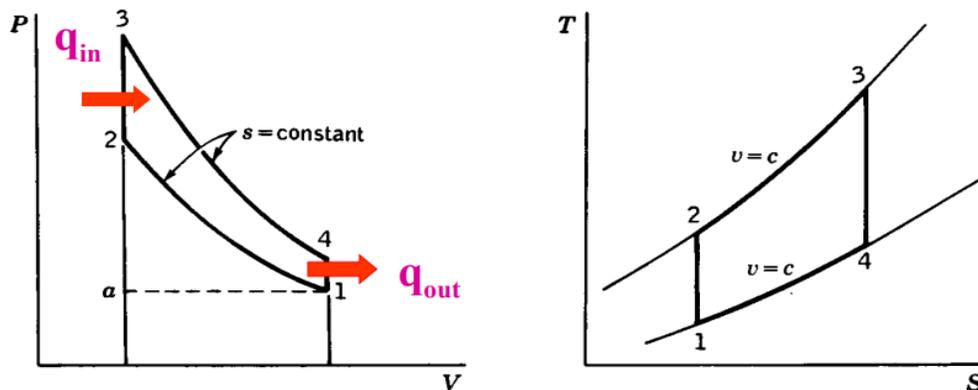
Figura 5: Esquema do funcionamento de um motor de quatro tempos do Ciclo Otto



Fonte: Adaptado da Web

Termodinamicamente o ciclo Otto é constituído por quatro processos internamente reversíveis a compressão isentrópica, o fornecimento de calor a volume constante, a expansão isentrópica e a rejeição de calor a volume constante. Na Figura 6 observa-se dois diagramas ilustrando os sistemas o P-v e T-s. Assumindo um sistema fechado e desprezando as variações de energia cinética e potencial, o balanço de energia do processo em unidade de massa é expresso de acordo com a Equação 1.

Figura 6: Diagrama dos sistemas P-v e T-v



Fonte: Yunus A. Çengel, 2018

$$(q_e - q_s) + (w_e - w_s) = \Delta u \quad (1)$$

Onde q_s é o calor que sai do sistema, q_e é o calor que entra no sistema, W_s é o trabalho, ambos medidos em Joules, Δu é a energia medida em Joules por quilograma.

Como o processo de fornecimento de calor (3-2) ocorre a volume constante, observado no diagrama na Figura 1, a transferência de calor não vai envolver trabalho, com isso tem-se a Equação 2.

$$q_e = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2) \quad (2)$$

Em que q_e é calor que entra (J), $u_3 - u_2$ é a variação da energia interna (J/Kg), c_v é o calor específico (J/(kg. K)) e $T_3 - T_2$ a variação de temperatura a volume constante (K).

Já no processo de saída de calor (4-1) ocorre a pressão constante, observado no diagrama na Figura 6, a transferência de calor não vai envolver trabalho, com isso tem-se a Equação 3.

Em que q_s é o calor que sai (J), $u_4 - u_1$ é a variação da energia interna (J/Kg), c_p é o calor específico a volume constante (J/(kg. K)) e $T_4 - T_1$ a variação da temperatura a pressão constante.

$$q_s = u_4 - u_1 = c_p(T_4 - T_1) \quad (3)$$

Por sua vez, a eficiência térmica do ciclo de Otto é dada pela fórmula na Equação 4.

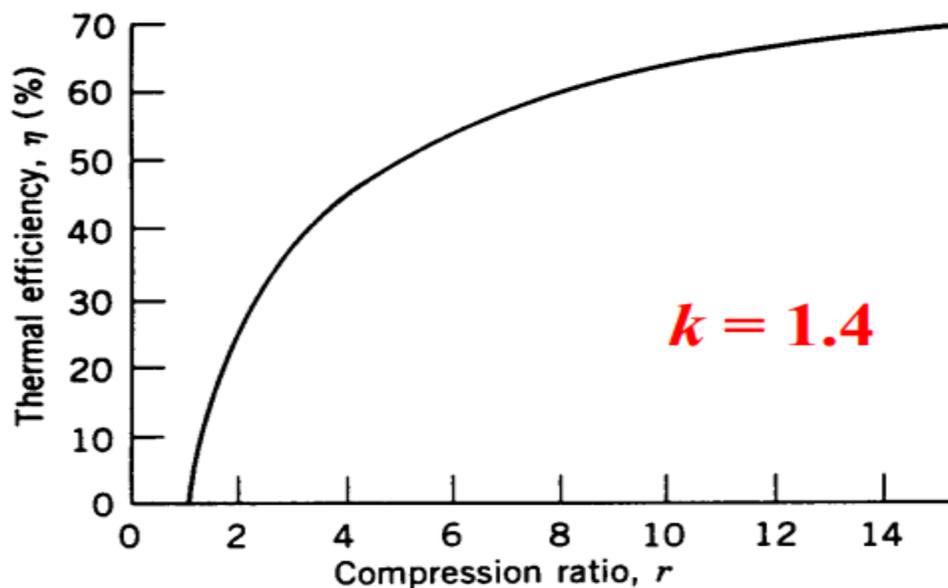
$$\eta_{t,otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (4)$$

Na qual $\eta_{t,otto}$ é a eficiência térmica do ciclo Otto, r é razão de compressão e k razão dos calores específicos. Com isso, a eficiência do ciclo Otto depende da compressão do motor e da razão entre os calores específicos do fluido de trabalho.

Analisando o diagrama entre a eficiência e a taxa de compressão na figura 7, a curva da eficiência térmica é bastante inclinada à razões de compressão baixas, e o aumento da eficiência térmica com razão de compressão não é tão pronunciado a razões de compressão altas. Da mesma maneira que quando são utilizadas razões de compressão altas, a temperatura da mistura do ar e combustível sobe acima da temperatura de auto ignição do combustível.

Durante o processo de combustão, essa auto ignição causa uma queima precoce e rápida do combustível, no qual produz um ruído auditivo chamado de batida do motor. Essa autoignição é prejudicial ao desempenho e pode causar danos ao motor. Para evitar, criou-se um limite superior para as razões de compressão a serem usadas nos motores a combustão interna com ignição por centelha.

Figura 7: Diagrama entre as eficiências e taxa de compressão



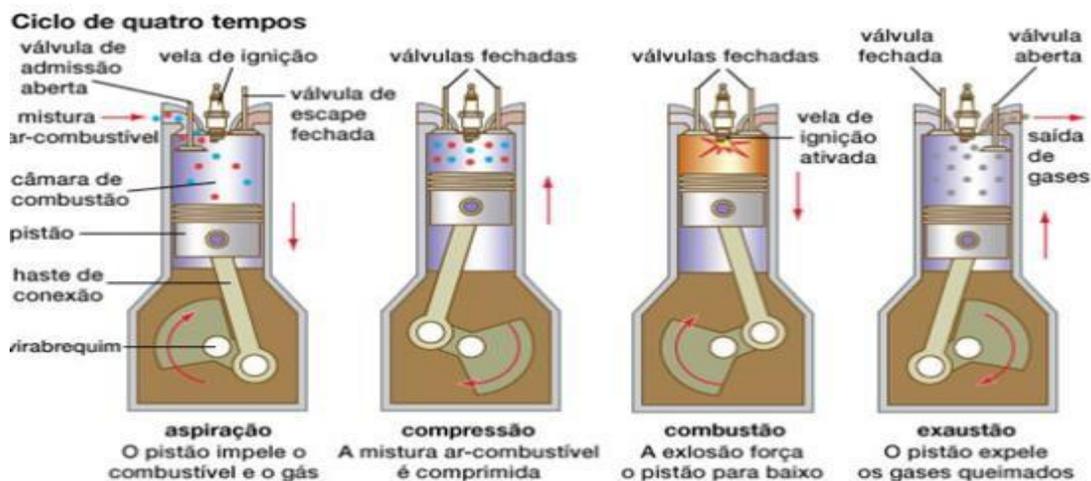
Fonte: Yunus A. Çengel, 2018

Nos motores de ignição por centelha a mistura de ar e combustível é comprimida a uma temperatura abaixo da temperatura de autoignição do combustível e o processo de combustão é iniciada por uma centelha de uma vela de ignição.

2.7 MOTOR CICLO A DIESEL

Já o ciclo diesel, Rudolf Diesel (1858-1913) evoluiu o ciclo anterior, na qual, aumentou a taxa de compressão injetando o combustível próximo ao final da fase de compressão havendo a queima devido ao grande aquecimento do ar comprimido, tornando-se um motor com uma maior potência.

Figura 8: Esquema do funcionamento de um motor de quatro tempos do ciclo Diesel



Fonte: Enciclopédia Britânica, 2009.

Termodinamicamente o processo de combustão do ciclo a diesel é feito a adição de calor a pressão constante, processo de compressão isoentrópica, processo de expansão isoentrópica, processo de rejeição de calor a volume constante. O ciclo diesel é feito em um sistema cilindro pistão, no qual forma um sistema fechado e a quantidade de calor transferida para o fluido de trabalho pressão constante e por ele rejeitada a volume constante pode ser expresso de

acordo com a Equação 5.

$$q_e - w_{bs} = u_3 - u_2 \quad (5)$$

Em que q_e é calor que entra (J), w_{bs} é o trabalho a pressão constante na qual $P_2 = P_1$ a volume variavel, ou seja, $w_{bs} = P_2(v_3 - v_2)$ medida em Joules. Com isso $q_e = (u_3 + P_3 * v_3) - (u_2 + P_2 * v_2)$ tem-que que entalpia calor que entra será a variação de entalpia representado na equação 6.

$$h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2) \quad \text{e} \quad q_s = c_v(T_4 - T_1) \quad (6)$$

Na qual $h_3 - h_2$ representa a variação de entalpia do sistema (KJ/mol), c_p é o calor especifico a pressão especifico (J/(kg. K)), c_v é o calor especifico a volume constante (J/(kg. K)), q_s calor de saída (J), T_s temperatura do sistema (K).

A eficiência termodinâmica do ciclo Diesel ideal, que pode ser visualizada na Equação 7.

$$\eta_{t,diesel} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} \right)^{\frac{1}{k}}}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{1}{k}}} \quad (7)$$

No qual $\eta_{t,diesel}$ é a eficiência térmica do ciclo diesel, T_s temperatura do sistema(K) e k razão dos calores específicos. E definindo-se uma nova grandeza, a razão de corte r_c , razão entre os volumes do cilindro após e antes do processo de combustão, visualizada na Equação 8,

$$r_c = v_3/v_2 \quad (8)$$

E utilizando g as relações isoentrópicas de gás ideal, obtêm-se a equação da eficiência térmica reduzida. Essa eficiência pode ser visualizada na Equação 9.

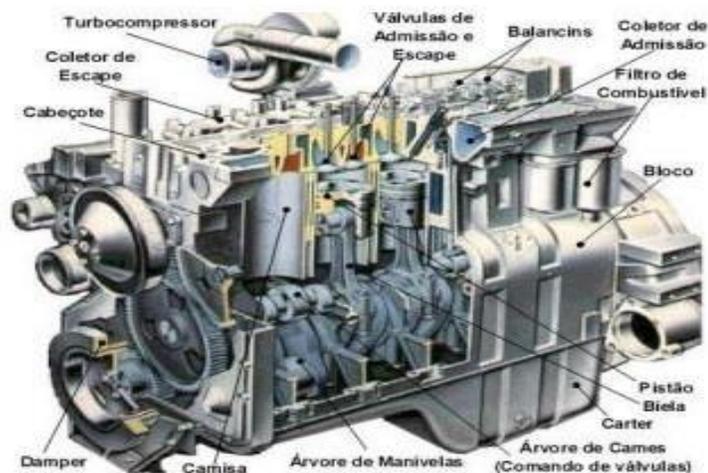
$$\eta_{t,diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right] \quad (9)$$

No qual $\eta_{t,diesel}$ é a eficiência térmica do ciclo diesel, r_c razão de corte, k razão dos calores específicos e r razão de compressão. Observando a eficiência dos dois ciclos tem-se que a eficiência de um ciclo diesel difere da eficiência de um ciclo Otto pelo termo entre colchetes na equação 8, no qual esse termo é sempre maior que 1. Assim, tem-se a relação entre as eficiências do ciclo Otto e do ciclo Diesel.

$$\eta_{t,otto} > \eta_{t,diesel} \quad (10)$$

O motor a ciclo diesel é composto por partes estacionarias (bloco, cárter e cabeçote), partes moveis (pistão, biela, eixo virabrequim, eixo de comando de válvulas, válvulas, conjunto de acionamento de válvulas, engrenagens e polias), bombas (bomba de óleo e de água), mancais (de escorregamento e de rolamento) e componentes de vedação (juntas, anéis e retentores), que podem ser visualizados na Figura 9.

Figura 9: Motor diesel



Fonte: KUNZ, 2013, p. 44

O bloco do motor normalmente é construído por ferro fundido cinzento, apresentando grande resistência ao desgaste e à compressão, além do baixo custo de fabricação. Os motores atuais na busca de mais leveza e dissipação de calor, estão sendo feitos de alumínio. O mesmo possui dutos internos para passagem de água promovendo seu arrefecimento, em alguns modelos os cilindros são revestidos de uma camisa de liga de aço e níquel ou revestido de cromo duro, permitindo maior vida útil.

O pistão é feito de alumínio, trabalhando em movimento alternado no cilindro, transmitindo a força do gás de expansão à biela e em seguida ao ressalto do eixo virabrequim, que gira fornecendo potência do motor aos demais setores. No pistão se encontra os anéis de compressão e raspadores de óleo. Três anéis de aço são responsáveis pela compressão do motor (cromado ou nitretados). A biela e o ressalto do eixo virabrequim transmitem movimento linear do pistão em movimento circular do virabrequim. A biela é fabricada de aço forjado, possuindo bucha e pino em liga de aço que a fixa ao pistão.

O cabeçote é a tampa dos cilindros, feito de alumínio ou ferro fundido. E ainda possui sistema de acionamento de válvulas e os bicos injetores, na qual duas válvulas são de admissão permitindo a entrada da carga de ar no cilindro e duas de descarga para saída dos gases queimados do cilindro. As válvulas de admissão possuem maior diâmetro que a de descarga e são fabricadas de liga de aço. As válvulas são acionadas através de um sistema de comando de válvulas e balancins. O eixo de comando das válvulas é acionado pelo eixo do virabrequim por engrenagem, correia ou corrente dentada.

Na parte inferior do bloco está o cárter na qual fecha o conjunto com uma tampa em aço moldado ou alumínio. Funciona como um reservatório de óleo que lubrifica o sistema. O óleo lubrificante é succionado por uma bomba de óleo, acionada pelo eixo virabrequim, e é dirigido às partes móveis do motor através de canais internos. A bomba de água, o eixo ventilador e o dínamo são movidos pelo eixo virabrequim por um sistema de correias e polias.

O óleo de combustível é aspirado do tanque por uma bomba de baixa pressão, passa por uma série de decantadores de filtros, conduzido à bomba

injetora na qual tem a função de enviar aos bicos injetores uma determinada vazão de combustível a alta pressão, de acordo com a posição do acelerador.

Assim, o princípio do funcionamento do motor a combustão baseia-se no aproveitamento da energia liberada na reação de combustão devido a queima da mistura de ar e combustível, que forma uma faísca gerando uma explosão, a mesma aciona um pistão que aciona uma manivela, com isso o motor gira, todo esse processo gera ruídos na faixa de 56 a 75 decibéis.

Segue tabela 1 mostrando a diferença entre ciclo Otto e Ciclo Diesel:

Tabela 1: Diferença entre ciclo Otto e Diesel

CICLO OTTO	CICLO DIESEL
Ignição por centelha	Ignição por compressão
Utiliza energia elétrica para dá início a reação de combustão	Utiliza o aumento da temperatura para dá início a compressão
O combustível é misturado com o ar fora da combustão	O combustível é misturado com ar dentro da câmara de combustão
Motor 4 tempos admitem mistura ar e combustível	Motor de 4 tempo admitem somente ar
Formação da mistura no carburador	Formação da mistura por injeção
Ciclo do ar ideal o calor a volume constante	Ciclo do ar ideal o calor a pressão constante

Fonte: A Autora

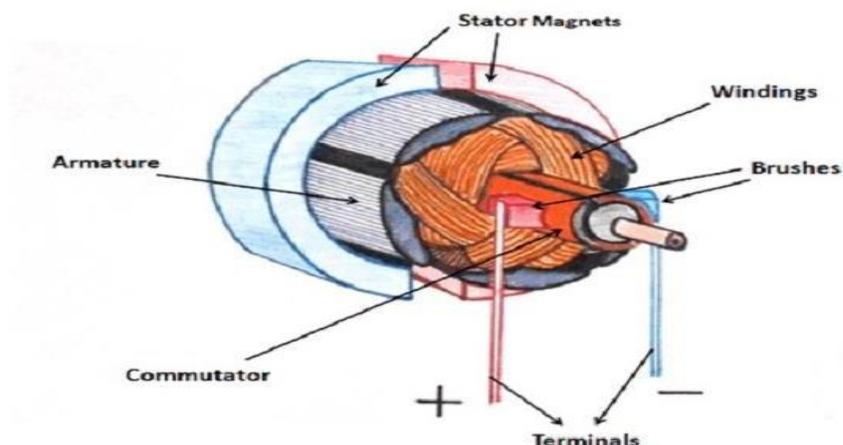
2.8 MOTORES ELÉTRICOS

O sistema de motores elétricos não é uma invenção recente. Robert Anderson, um inventor britânico, desenvolveu a primeira carruagem elétrica, enquanto que meados do século XIX, os inventores franceses e ingleses começaram a construir alguns dos primeiros carros elétricos práticos. Em 1898, o alemão Ferdinand Porsche apresentava o modelo P1, veículo elétrico que venceria uma corrida, porém dez anos depois Henry Ford introduz no mercado o modelo T, e assim foram evoluindo os equipamentos.

Os motores elétricos tem seu desenvolvimento bem mais simples que os motores a combustão, sendo composto basicamente de estatores e rotor que podem ser de diferentes tipos e possuir alimentação de corrente contínua ou alternada. Pode-se citar alguns motores elétricos (NEOCHARGE, 2021):

I - Motor de corrente contínua com escovas: esse motor é alimentado por uma bateria de corrente contínua ou outra fonte CC. É composto por um estator, parte fixa do motor, na qual tem-se a caixa, os magnetos permanentes e as escovas e o rotor, parte girante do motor, que contém o eixo, enrolamentos e o comutador. Os ímãs posto no estator geram um campo magnético, em que quando o rotor recebe a transferência de energia da bateria, a corrente elétrica que circulam pela bobina gera uma força magnética entre os polos norte e sul inversos em relação ao estator, produz o torque em que força o motor a girar seguindo o seu ciclo.

Figura 10: Componentes do motor de corrente contínua com escova



Fonte: Max,2020

II - Motor assíncrono ou por indução: esse motor é alimentado por uma corrente alternada e no lugar de usar ímãs permanentes, possui bobinas fixas no estator, assim, quando energizado, o estator estará produzindo um campo magnético no qual induzirá tensão e corrente no enrolamento no rotor. Essa indução fará com que o rotor produza seu próprio campo magnético, com isso o estator gera um campo alternado e induzindo o rotor a gerar seu próprio campo magnético, ocasionando o torque no eixo do rotor.

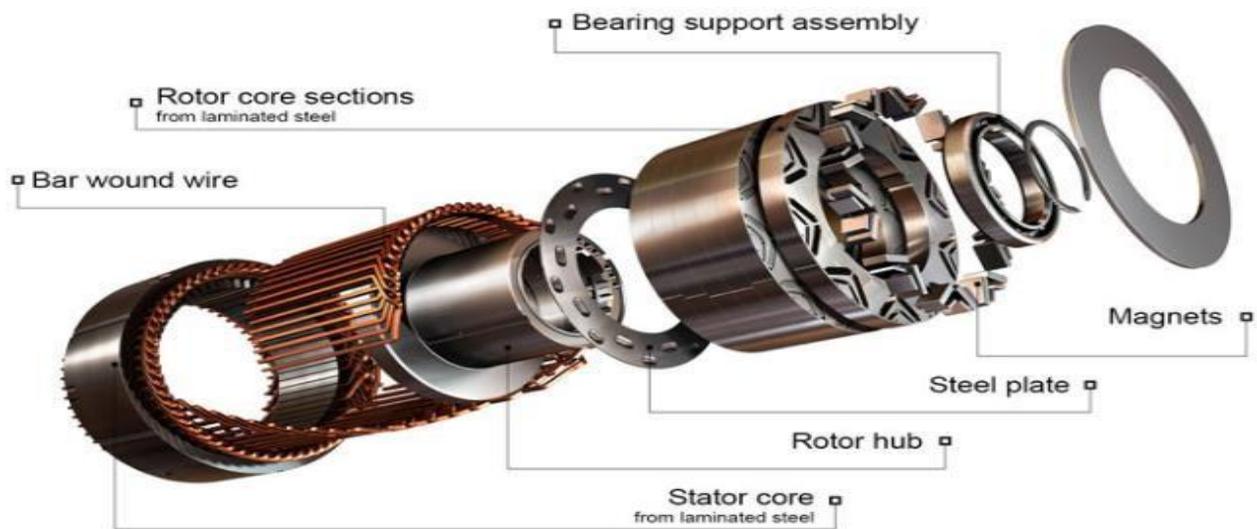
Figura 11: Componentes de um motor assíncrona



Fonte: Adaptado de WEG (2009)

III - Motor síncrono ou de ímãs permanentes: esse motor é alimentado por uma corrente alternada que possui um estator bobinado e um rotor composto de ímãs, seja na superfície ou no interior. Quando o estator é energizado gera um campo magnético rotativo e o rotor, que também tem um campo magnético próprio devido aos ímãs, ao interagir com o estator, proporciona a tração entre os polos opostos, fazendo com que o motor se movimente de forma síncrona com o campo magnético:

Figura 12: Componentes de motor síncrono



Fonte: <https://en.engineering-solutions.ru/motorcontrol/pmsm/>

Dentre os citados a cima o motor elétrico mais utilizado é o motor síncrono, pois apresenta a maior eficiência energética, oferece potência e torque em baixa velocidade, não apresenta perdas mecânicas e tem dimensionamento e custo reduzidos.

Em relação aos componentes utilizados nos veículos elétricos, esses sistema possuem menos componentes do que o sistema a combustão, não tem qualquer queima ou explosão, portanto não há necessidade de escapamento, logo os motores elétricos são mais silenciosos além de contribui na redução da poluição sonora e emissões dos gases dos grandes centros urbanos.

Os principais componentes do sistema integrante do veículo totalmente elétrico, são:

1. Trem de força: na qual é responsável por converter energia elétrica contida nas baterias em energia mecânica, e na frenagem, converter parte da energia cinética novamente em eletricidade. É composto principalmente pelo motor elétrico de tração ou propulsão, pelo cardan e diferencial ou conjunto eixo-hélice e pelos conversores e inversores auxiliares.

2. Baterias: tem vários tipos de baterias as mais utilizadas são de íons de lítio, as de níquel-hidreto metálico e as de chumbo ácido:

- As baterias de íons de lítio são as mais utilizadas por disporem de grande energia específica e alta eficiência na operação, ainda podendo ser recicladas, porém com custo ainda elevados.

- As baterias de níquel-hidreto metálico possui grande vida útil em ciclos, mas tem alto custo, grande autodescargas e quantidade de calor gerada em altas temperaturas ainda limitam a tecnologia.

- As baterias de chumbo ácido são mais econômicas porém a sua baixa densidade de energia e vida útil as descartam para utilização em larga escala em veículos elétricos.

Os motores elétricos são capazes de fornecer seu torque nominal quando se encontram em rotações baixas, no qual implica em uma aceleração muito maior em veículos elétricos do que nos convencionais.

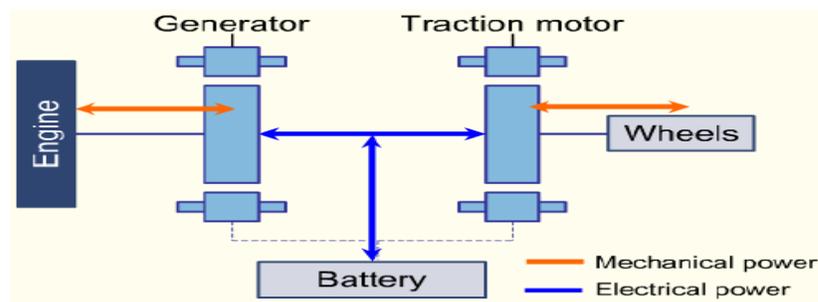
2.9 MOTORES HÍBRIDOS

Os veículos híbridos são aqueles que possuem mais de uma forma de propulsão, no caso dos elétricos híbridos possuem um motor convencional a combustão interna e um motor elétrico que funcionam em conjunto, tornando o veículo mais econômico, com maior autonomia, menor emissão de poluentes e maior eficiência energética em geral.

Os motores dos veículos híbridos podem trabalhar de três formas diferentes (BRAVO 2021):

I - Veículo Híbrido em série: composto por um motor a combustão em conjunto com um motor elétrico. O motor a combustão funciona de forma estacionária, mantendo sua rotação na máxima eficiência e servindo de gerador de energia elétrica para recarregar as baterias que alimentam o motor elétrico que é responsável pela tração do veículo.

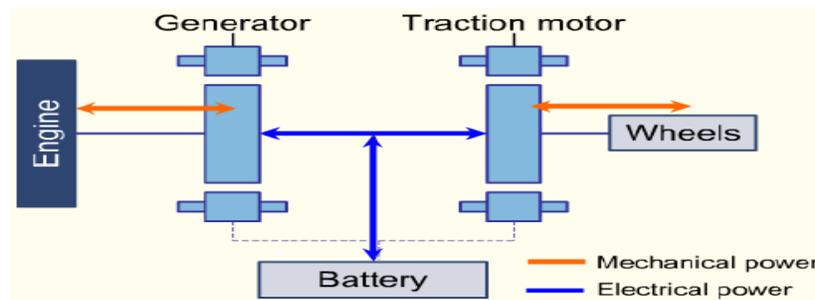
Figura 13: Diagrama do veículo híbrido em série



Fonte: Ford Motor Company, 2020

II - Veículo Híbrido em paralelo: os dois motores são ligados a transmissão de veículo, o motor elétrico serve como auxílio quando o motor convencional está em suas piores faixas de eficiência energética, como baixas rotações, momento que sai de inércia, e subidas em baixas velocidades. Neste caso, o próprio motor elétrico funciona como gerador de energia para as baterias quando não está sendo utilizado e em frenagens funciona um sistema de regeneração de energia.

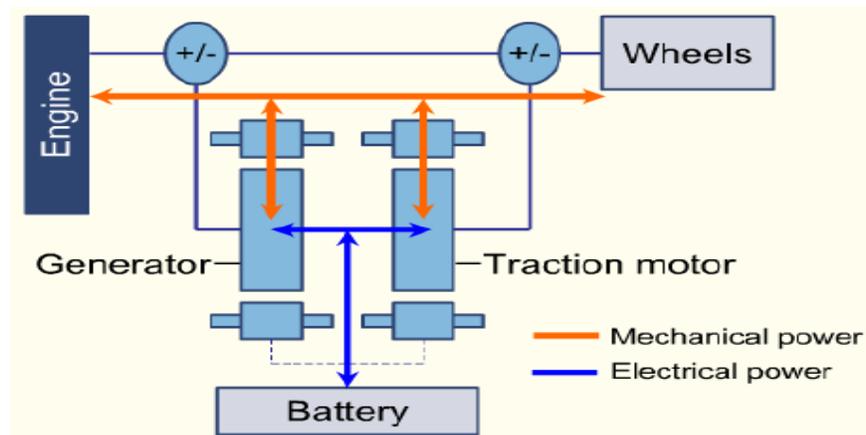
Figura 14: Diagrama do veículo híbrido paralelo



Fonte: Ford Motor Company, 2020

III - Veículo Híbrido série/paralelo : Derivado o híbrido paralelo, sendo que o motor a combustão responsável pela tração no outro eixo, podendo funcionar juntos ou não, dependendo dos modos de condução e tecnologia embarcada no automóvel.

Figura 15: Diagrama do veículo híbrido serie-paralelo



Fonte: Ford Motor Company,2020

Dentre os modelos citados acima o híbrido em paralelo é o mais utilizado com o carregamento por regeneração.

Sistema elétrico nos transportes urbano:

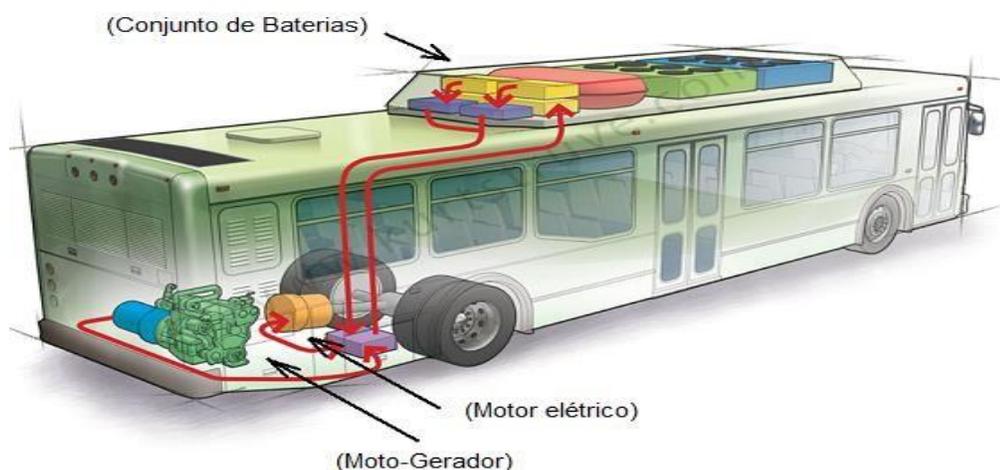
I - Ônibus elétrico híbrido:

O ônibus elétrico híbrido tem motor a tração elétrica na qual é alimentado por um grupo moto-gerador a diesel ou álcool e uma pequena fonte de armazenamento de bateria. Os dois sistemas oscilam para produzir a energia para o motor de tração, assim o motor a combustão do gerador tem menor potência nominal em comparação do motor de tração. Se a potência de ambos os motores fosse igual não precisaria da estocagem da bateria. Porém, o objetivo é utilizar um motor de menor porte, com isso gerar um menor consumo de combustível em comparação aos ônibus diesel de mesmo porte.

Uma das vantagens desse sistema híbrido é que o motor de tração é elétrico,

mas o veículo ainda continua a utilizar um motor a combustão. Mas pelas circunstâncias do motor operar em uma faixa de rotação constante ideal, o consumo e as emissões diminuem em 20%. Outro fator a citar é a qualidade do veículo elétrico, que pode oferecer um rendimento energético de mais de 90%, ficam ofuscadas pela própria fonte de energia, gerada pelos motores a combustão, com rendimento energético de menos 40%. Adiciona-se também as perdas mecânicas das conexões entre o motor diesel e o gerador.

Figura 16 : Principais componentes de um veículo Híbrido



Fonte: Adaptado da Respira São Paulo, 2020

II - Ônibus elétrico a bateria

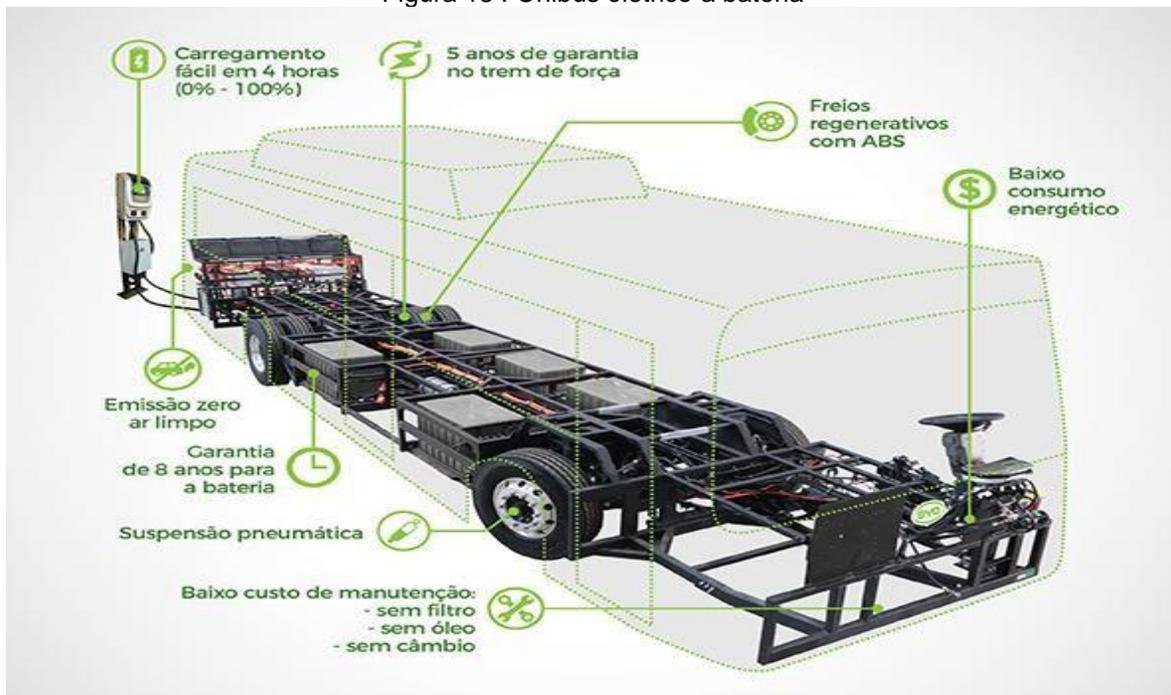
O ônibus elétrico a bateria é composto por um motor de tração elétrica, alimentado por um conjunto de baterias. Com o avanço da tecnologia as baterias mais utilizadas são a de chumbo-ácido, íons de lítio e níquel-hidreto com maiores capacidade de carga. As baterias estão acopladas nos eixos de tração e o motor elétrico instalado nas rodas, assim não existe mais o tradicional eixo cardan em que conecta o motor elétrico ao diferencial. Além do mais, os motores elétricos, em cada lado do eixo trator são do modelo de ímãs permanentes, ao qual fornece mais potência ao motor. Com isso proporciona um maior rendimento do motor e menor consumo de energia, oriunda da bateria.

Figura 17: Eixo de tração com motores de ímãs permanentes na roda



Fonte: Adaptado da Respira São Paulo, 2020

Figura 18 : Ônibus elétrico a bateria



Fonte: Adaptado do site da BYD, 2022

2.10 PLANO DE MANUTENÇÃO

Existem várias formas de definir e conceituar os componentes ou áreas que aborda a manutenção. Manutenção como sendo um conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição específica, além disso os defeitos apresentados podem ser explicados como sendo uma ocorrência no equipamento que não impede seu funcionamento, mas por um curto ou longo prazo pode ocasionar sua falha total, e as falhas coexistentes são definidas de maneira que impedem o funcionamento dos equipamentos. Outros fatores que se levam em conta será a vida útil, índice de confiabilidade, taxa de falhas, índice de disponibilidade a manutenção preventiva e a manutenção corretiva.

Segundo a constituição do plano de manutenção, vários princípios sobre manutenção podem ser aplicados em uma empresa, sendo isolada ou combinada, aplicam-se alguns princípios (KELLY & HARRIS,1980), como:

- A manutenção de intervalos pré-fixados, podendo ocorrer a substituição individual ou um grupo de componentes;
- A manutenção nas condições de parâmetros, pode ocorrer continuamente ou periodicamente;
- A manutenção corretiva sem um reparo local ou substituição de componentes, na qual tem-se a operação até a falha;
- A manutenção programada, ou seja, preventiva, seguindo um plano de manutenção, em que há parada do veículo ou equipamento.

A eficiência de um plano de manutenção em uma empresa que opera com frotas de veículos está associada ao desempenho da equipe de manutenção nas tarefas de planejamento, organização e execução das atividades da oficina. A programação de uma manutenção preventiva tem o objetivo de reduzir as paradas aleatórias do funcionamento dos veículos, seguindo um estudo detalhado de cada

peça ou partes principais do veículo. No plano de manutenção tem-se que ficar atendo aos seguintes requisitos:

- Analisar as condições reais do funcionamento dos equipamentos;
- Analisar as falhas e defeitos, especialmente as mais frequentes;
- Atualizar as planilhas de reposição de peças, para evitar veículo parado;
- Atualizar as ferramentas especiais necessária para a manutenção de cada veículo;
- Desenvolver métodos que permita a manutenção mais rápida e eficaz, alterando alguma parte das instalações.

Para promover a otimização do tempo e dos recursos disponíveis no setor de manutenção em uma empresa o plano de manutenção deve ser constituído da melhor forma, na qual tenha como base as condições das políticas e coordenadas de uma manutenção. Sempre tendo maior atenção nas escolhas prioritárias em conjunto com os componentes críticos assim evitando um maior custo na manutenção. Alguns pontos podem ser adotados para estabelecer um plano de manutenção, como:

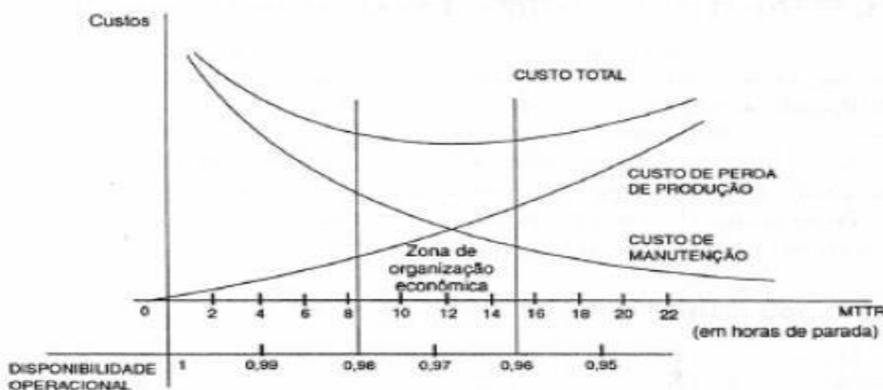
- Horas de funcionamento do veículo ou máquina;
- Consumo de combustível médio ou quilômetro rodado;
- Dados obtidos pelo fabricante;

A área de manutenção é um conjunto considerável de anotações de controle referente ao funcionamento do equipamentos que opera em uma determinada empresa. Com isso os dados gerados são processados e assim são elaborados relatórios, tabelas, gráficos, com conteúdos específicos, em ciclos temporais apropriado e conveniente para tomada de decisão.

A relação de custos é frisado por Pinto e Chavier (1999), a necessidade de parada do ônibus, máquina, equipamento, pois diminui a ocorrência de falhas, parada no trajeto de serviço ou anomalias de desempenho, mantendo-os em ótimo

estado de conservação, evitando os custos decorrentes das paradas. A figura 19 demonstra que durante a parada de uma máquina ou ônibus em circulação, gera um custo e um montante dos custos de manutenção, mais os custos ocasionado pela falta de produção ou perda de viagem.

Figura 19 : Relação de Custos



Fonte: PINTO e XAVIER, 1999

Como visto na figura 19, o processo de manutenção é fundamental para que os custos gerados estejam no setor da organização econômica, diminuindo o montante total das despesas provocadas pela necessidade de manutenção.

2.11 EMISSÕES DO SISTEMA A COMBUSTÃO E ELÉTRICO

Segundo a Ipea (2011) o transporte motorizado baseado em combustíveis fósseis assumiu um papel predominante nos deslocamentos cotidianos da população brasileira, correspondendo a uma grande parte das emissões de poluentes nos grandes centros urbanos. De acordo com os dados da ANTP (2016) mais de 93% das viagens automatizadas no Brasil são realizadas pela mobilidade baseada em energia derivada do petróleo. Pode ser visto ainda pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2016) que o setor de transporte público foi responsável por 42% das emissões de CO₂ associada a matriz energética brasileira no ano de 2015.

Visto que o setor de transporte é um dos maiores responsáveis pela emissão de CO₂ no Brasil e a medida de viagens derivadas por modalidades que utilizam a queima de combustíveis fósseis são bastante elevadas no país, a eletrização dos veículos rodoviários aparece como uma opção significativa para redução da poluição atmosférica, para que essa modernização seja relevante será necessário que sua energia elétrica seja provida de fontes de energia limpas e renováveis. Dessa forma a eletrização se torna ainda mais conveniente, visto que 74% da energia brasileira é dessas fontes (ANEEL, 2018) e o país expõe grande potência para desenvolvimento de energia solar.

A poluição veicular pode ser classificada por duas categorias, em concordância com o envolvimento de seus impactos (IPEA, 2011). O poluente local no qual a poluição é entorno do local dos serviços prestados e o poluente global em que abrange os poluentes do planeta como um todo. Entre os poluentes locais nocivos à saúde e prejudiciais ao ambiente urbano estão: óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e materiais particulares (MP), no qual se expõem na forma de fuligem, que sai dos escapamentos dos veículos, freios, pneus e superfície variável. Sob outra perspectiva os poluentes globais são gases expelidos na atmosfera e que contribuem para o aquecimento global, no caso o dióxido de carbono (CO₂), um importante gás causador do efeito estufa (GEE).

De acordo com o censo demográfico de 2022, o Brasil tem uma população estimada em 203 milhões¹(IBGE, 2022) de habitantes e o Produto Interno Bruto(PIB) brasileiro alcançou em 2019 o terceiro ano consecutivo de aumento somando 7,3 trilhões em valores correntes. Também cabe destacar que a taxa de Motorização do Brasil é relativamente baixa em relação a outros países de mercado consumidor. Existe a possibilidade de expansão do mercado consumidor interno considerando a média de consumo em outros países, observado na Figura 20:

¹ <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>

Figura 20: Taxa de motorização em países selecionados (2015)

Posição no Ranking Mundial	País	Taxa de Motorização/ 1.000 habitantes
2º	Estados Unidos	821
15º	Japão	609
16º	França	598
19º	Alemanha	593
21º	Reino Unido	587
42º	Coreia do Sul	417
51º	Rússia	358
55º	Argentina	316
57º	México	294
62º	Chile	248
71º	Brasil	206
78º	África do Sul	176

Fonte: OICA, 2017

Importantes mercados da América Latina, como Chile e Colômbia, estão fazendo investimentos em frotas de ônibus elétricos para o transporte público de seus municípios, desejando, entre outras coisas, o reconhecimento de cidades mais limpas e sustentáveis da América do Sul.

O Acordo de Paris tem como objetivo reduzir as emissões de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono. A utilização intensa dos combustíveis fósseis como matriz energética no mundo libera gases que contribuem significativamente

para o aumento da temperatura do planeta. Esse acordo é um compromisso mundial sobre as alterações climáticas e prevê metas para a redução de gases do efeito estufa. Para entrar em vigor foi necessário que os países que apresentam em torno de 55% das emissões de gases de efeito estufa ratificassem. Em 12 de dezembro de 2015, o acordo foi assinado após várias negociações, entretanto entrou em vigor no dia 4 de novembro de 2016. Até 2017, 195 países assinaram e 147 ratificaram.

A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) prevê uma redução de 37% dos gases de efeito estufa até 2025 em relação aos níveis de emissões de 2005, e uma redução de 43% até 2030 tendo como referência as emissões também de 2005. Dentre outras atribuições em que o país se engajou, uma delas diz respeito a promulgar uma participação de 45% das energias renováveis na matriz energética brasileira, questão que dialoga diretamente com a perspectiva da mobilidade elétrica no Brasil. Segundo dados do Balanço Energético Nacional, em 2017, o Brasil emitiu para atmosfera 437 milhões de toneladas de CO₂, sendo 46,6% deste total oriunda do setor de transportes. Em 2018 foram emitidas 391,5 milhões de toneladas, sendo 48,7% do setor de transportes. A adoção da mobilidade elétrica pode contribuir para a redução dos gases poluentes e para a descarbonização da economia brasileira, mantendo o cumprimento das metas do acordo de Paris.

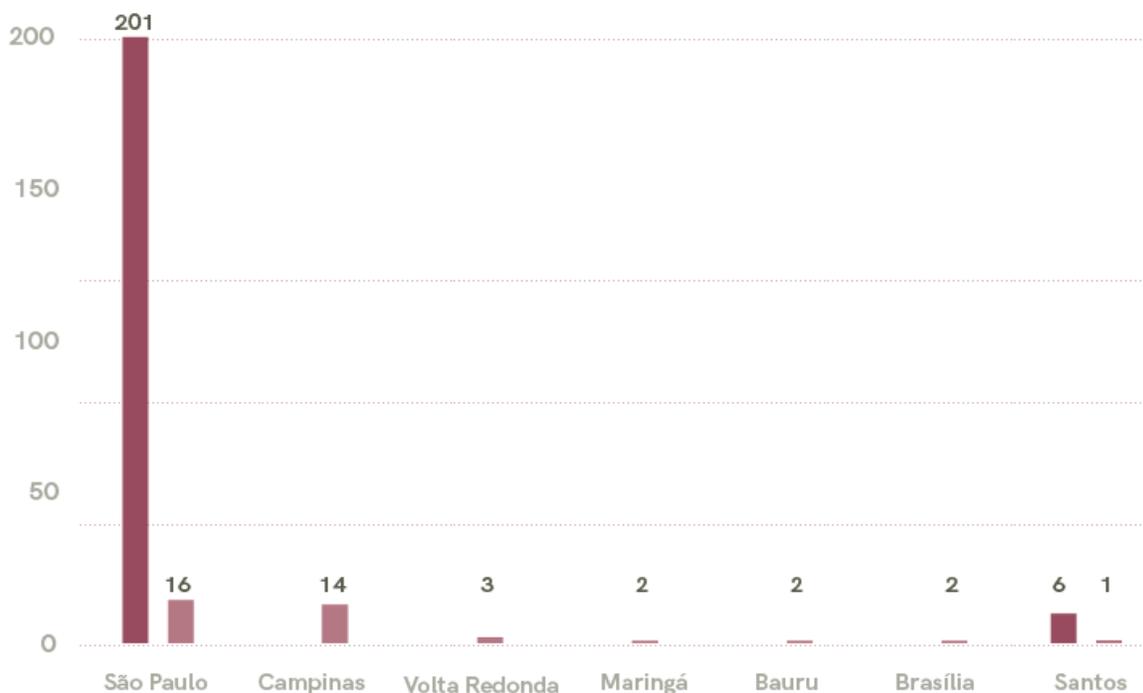
O Ministério da Saúde divulgou um relatório sobre a saúde pública do Brasil, em que destacou um aumento de 14% das mortes atribuídas a poluição atmosférica em dez anos, passando de 38.782 no ano de 2006, para 44.228 em 2016. As mortes por problemas respiratórios, aumentou principalmente a exposição da população ao O₃ (ozônio) e ao MP_{2,5} (partículas inaláveis de poluição atmosférica). Projeções divulgadas pela Associação Paulista de Medicina (APM,2018) apontam que se a poluição relacionada ao MP_{2,5} se mantiver no nível de 2018 terão muito mais mortes. Entre 2018 e 2025, na Região metropolitana de São Paulo foram registradas 51.367 mortes.

Segundo os dados da Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica (PINTEC,2017), no período de 2015 a 2017, a taxa de inovação do segmento de fabricação de veículos automotores, reboque e carrocerias foi de 34,3%, que é maior em comparação a média da indústria brasileira, que foi de 33,9%. Ao analisar só as

montadoras de automóveis, caminhonetes, utilitários, caminhões e ônibus, a taxa de inovação salta para uma média de 69,5%. No segmento de ônibus, destaca-se que os elétricos tem pavimentado seu mercado especialmente a partir das licitações para operadores de frotas nas cidades e em projetos demonstrativos.

Dados coletados até dezembro de 2019 nos registros do Departamento Nacional de Trânsito do Brasil (DENATRAN), observou-se uma curva exponencial ascendente quanto ao aumento de vendas de novos veículos elétricos leves de passageiros e comerciais, com destaque para veículos elétrico híbridos. No ramo de ônibus, evidencia-se que os elétricos têm pavimentado seu mercado principalmente a partir das licitações para agentes de frotas nas cidades e em projetos demonstrativos. O portal E-bus Radar informa que existe 247 ônibus elétricos em operação no Brasil, visto na figura 20, levando em conta os trólebus, a maior parcela, e os ônibus convencionais na qual as conexões são cabeadas externamente ao veículo junto à rede elétrica em seu trajeto.

Figura 21: Distribuição de ônibus elétricos nos municípios brasileiros



Fonte: RADAR, 2020

No que se refere a rede de infraestrutura de carregamento, a plataforma PlugShare mostra a existência de cerca de 500 pontos de recarga públicos ou privados instalados no Brasil para veículos elétricos, concentrados em especial no eixo sul e sudeste do país. Há também perfil de infraestrutura no qual está sendo implantada, voltada para alocação de corredores tácticos no deslocamento de veículos de bens e de passageiros.

2.12 MANUTENÇÃO E CUSTOS DOS SISTEMAS

No ônibus a diesel temos vários subsistemas mecânicos nos quais podem se evidenciar os sistemas de freio, motor, suspensão, transmissão, arrefecimento, direção e pneumático. A fim de conseguir um ótimo funcionamento e produtividade do ônibus, deve-se seguir as especificações do fabricante. Com relação ao seu funcionamento, é prioridade conservar os subsistemas mecânicos com sua manutenção em dia, reduzindo as baixas produtividades e falhas.

Entre os subsistemas relatados, destacam-se como os mais críticos o sistema de freios na qual sua falha pode gerar risco de segurança para os usuários do ônibus e as pessoas próximas a seus destinos. É comum a utilização de tambor por seu custo benéfico. Caso não haja a manutenção preventiva, esses subsistemas poderão falhar ocasionando a manutenção corretiva e com isso o aumento do custo com a manutenção, além do veículo ficar parado, perdendo viagem e colocando em risco a integridade física dos usuários e funcionários.

Outro ponto a citar é a substituição do óleo do motor que deve ser feito por quilometragem ou por tempo, caso não se tenha alcançado a quilometragem adequada. A periodicidade recomendada é a cada 6 meses. A parte de suspensão ocasiona a quebra dos componentes gerando a instabilidade dos veículos, por isso é sempre bom fazer a manutenção preventiva. O sistema de arrefecimento encarregado pela dissipação do calor gerado pelo motor, estabelecendo a temperatura de trabalho do motor fique entre 85° a 95°. Fora do especificado ocorrerá o consumo excessivo de combustível, maiores emissões de poluentes, maior desgaste do motor e menor desempenho.

A manutenção periódica do motor garante que o equipamento funcione com menor consumo de combustível e menor emissão dos gases poluentes, permitindo uma operação de forma econômica. Na sua manutenção são analisados, e substituídos caso necessário, os filtros de lubrificantes e de diesel, correias, óleo, juntas da tampa da válvula, do escape e o funcionamento geral do motor. Segundo uma pesquisa de Costa (2018), em uma empresa de Brasília, para a média de quilômetros percorridos pelos ônibus mensalmente, o custo médio de manutenção mensal é de 1.325 R\$/km.

Nos ônibus elétricos, os custos das manutenções considerando os gastos com a obtenção e a substituição das peças, acessórios e os alusivos consumos do óleo lubrificantes, englobando também os custos com a infraestrutura de recargas e gastos com o aluguel de baterias, no caso da empresa adquirir o ônibus sem as baterias. Segundo a Empresa de Pesquisa Energetica um ônibus elétrico a bateria exibe um custo de manutenção de 24% abaixo de um modelo a diesel (EPE,2020). Já que a composição dos motores elétricos se reduz apenas a três grandes componentes que requerem manutenção periódica necessitando apenas de lubrificantes. Por outro lado, nos ônibus a diesel, as dezenas de peças e, na maioria delas, peças móveis sofrem mais desgastes, gerando mais custos nas manutenções periódicas (ANTP, 2019).

Utilizando o desconto de 24% aos valores das peças e componentes dos veículos a diesel, estima-se valores em torno de R\$ 0,395/km. Segundo SP (2019) o consumo com lubrificantes nos ônibus elétricos de sua frota é de aproximadamente R\$ 0,012/km. E o custo com a manutenção da infraestrutura de recarga fica em torno de R\$ 0,020/km.

Um dos fatores a serem relevados será o custo de meia vida útil, já que o desgaste das peças não são tão elevados, e há menos componentes no motor elétrico do que o ônibus a diesel. Com isso, o senso a MDIC (2018) estipulou para a versão elétrica um custo de vida média útil 60% menor ao de um veículo a diesel.

Analisando os custos da manutenção dos ônibus a diesel entre os ônibus elétricos a disparidade é muito grande sendo a diesel em torno de 1,325 R\$/km (COSTA,2018) e elétrico 0,37 R\$/km (EPE,2020) uma viabilidade a ser pensada.

Estudo feito em uma empresa pública de transporte coletivo da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, selecionou uma linha de ônibus para fazer a análise de estudo. A linha piloto é uma linha que liga a zona norte a zona sul de Porto Alegre. O veículo de tecnologia híbrida é incluída na frota, segundo os fabricantes esse modelo consome até 35% menos combustível, emitindo até 50% menos poluentes que os ônibus convencionais em operação na Europa (VOLVO, 2010).

A configuração desse veículo híbrido é paralela, na qual tem um motor a diesel e outro elétrico. O fabricante classifica que este modelo tem o mesmo ciclo de vida que os modelos convencionais, no caso da manutenção, a frequência de manutenção deve ser igual, ou até menor, comparado com os ônibus convencionais (VOLVO, 2019). Analisando o nível de consumo entre o Volvo Híbrido e o ônibus convencional, e considerando que o Híbrido consome 35% menos combustível, tem-se que o Convencional consumia 0,53 l/km, o Volvo Híbrido consumiria 0,34 l/km. Na tabela 2, pode-se observar uma comparação do valor investido, coeficiente de consumo, distância percorrida, quantidade de litros por ano consumido e sua rentabilidade em 10 anos, em que tem uma economia de R\$ 225.413,38.

Tabela 2: Ônibus Híbrido X Ônibus Convencional

	Ônibus Híbrido	Ônibus Convencional
Investimento	R\$ 680 000,00	R\$ 420 000,00
$\vartheta_{BLV,i}$ [l/km]	0,34	0,53
Distância [km]	977.402	977.402
Quantidade de litros por ano [l/ano]	20.934,75	32.205,38
Litro diesel [R\$]	R\$ 2	R\$ 2
Consumo em R\$ [10 anos]	R\$ 418.694,56	R\$ 644.107,94

Fonte: VOLVO, 2019

Segundo o estudo de Ana Júlia (2021) o custo de manutenção dos veículos a diesel disponibilizados pela Carris, no ano de 2020, foram gastos R\$ 36.913,99 em média por veículo por um montante de 347 ônibus. Dado também a quilometragem realizada por eles, segundo Carris, foi de 45.351,09 em média. Com isso os gastos com manutenção é em média 0,814R\$/km.

Dallman (2019) afirma que o valor da manutenção dos ônibus elétricos é em torno de 0,58 por quilometro rodado, dados obtidos na cidade de São Paulo. Tendo conhecimento desses dados nota-se que a manutenção dos ônibus elétricos é cerca de 30% menor que a manutenção do veículos a diesel. Pode-se observar na tabela 3.

Tabela 3: Ônibus a diesel X Ônibus elétrico

Parametros	Diesel	Elétrico
Custo Operacional [R\$/km]	1,45	0,67
Rendimento [KM/L][KM/KWh]	2,21	0,76
Custo do Combustível [R\$/l][R\$/KWh]	3,21	0,51
Custo de Manutenção [R\$/KM]	0,814	0,58
Custo Anual [R\$/Ano]	165.227,41	90.937,49

Fonte: Adaptação de Julia Ribeiro,2021

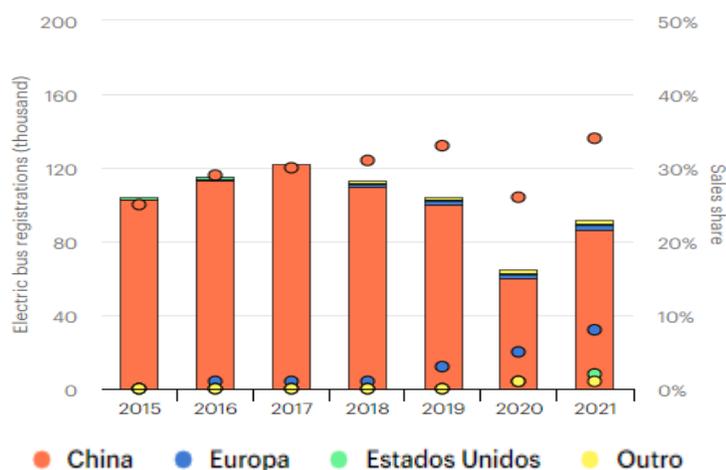
2.13 PAÍSES COM IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

A implementação da motorização elétrica nos coletivos urbanos, é um processo arduo. Os EUA, China e Europa implementaram uma diversidade de políticas e legislações para incentivar e promover o mercado e o desenvolvimento tecnológico. Nos EUA foi proposto a implementação de incentivos financeiros na forma de créditos fiscais, isenções fiscais e outras formas de subsídios. A China adotou políticas na qual abrange leis favoráveis, metas nacionais de vendas, metas municipais de qualidade do ar. Já a Europa adotou contratos públicos para incentivar

os investimentos mobilidade limpa, entre 2018-2020 o registro de ônibus elétricos aumentou 170,5%.

Segundo a Agência Internacional de Energia, IEA, a vendas de ônibus elétricos aumentaram 40% em comparação ao ano de 2020. China, Europa e Estados Unidos são o que mais se destacam nessa porcentagem. A China é o país dominante, porém a venda de ônibus elétrico na Europa e Estados Unidos vêm decaindo desde 2018. A Índia finalizou uma compra de 5.500 ônibus elétricos tornando uma dos grandes destaque dessa evolução no transporte publico, entrando na linha dos outros na figura 22. Já na Alemanha, França, Reino Unido e Espanha houve um aumento nas vendas devido as metas nacionais e municipais de transição para contratação pública com apenas ônibus de emissão zero. Pode-se observar também que a China sempre esteve em destaque nas vendas dos ônibus elétricos, em uma margem de 20-30% das participações, mesmo na pandemia sua porcentagem foi de 21% e esse percentual só tende a evoluir.

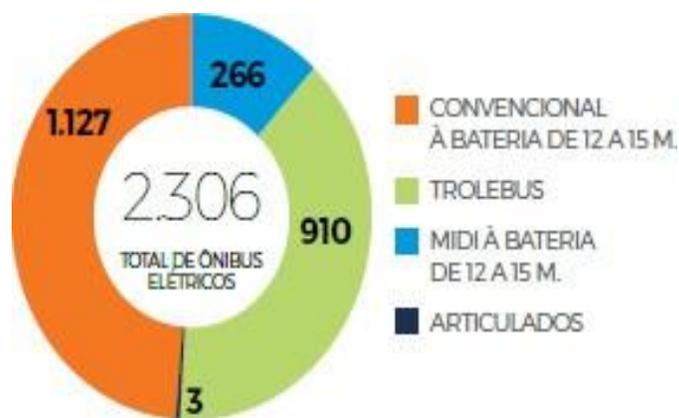
Figura 22: Registros e participação de vendas de ônibus elétricos por região, 2015-2021.



Fonte: AIE, Licença CC BY 4.0

A plataforma corporativa criada pelo Laboratório de Mobilidade Sustentável (Labmob) da UFRJ chamada *E-bus Radar* que tem como objetivo promover dados quantitativos das emissões de CO₂ (dióxido de carbono), além do quantidade e tipos de ônibus em circulação, a América Latina vem se destacando com a mobilidade elétrica nos últimos anos, em meados de março de 2021, 12 países da América Latina e o Caribe colocaram em operação 2.306 ônibus a tração elétrica alguns países e cidade são: Argentina (Buenos Aires, Mendoza), Brasil (São Paulo, Campinas, Brasília), Chile (La Reina, Santiago), Colômbia (Bogotá, Cali) dentre outros. Na figura 21 pode-se observar a quantidade e tipos de veículos em vigor.

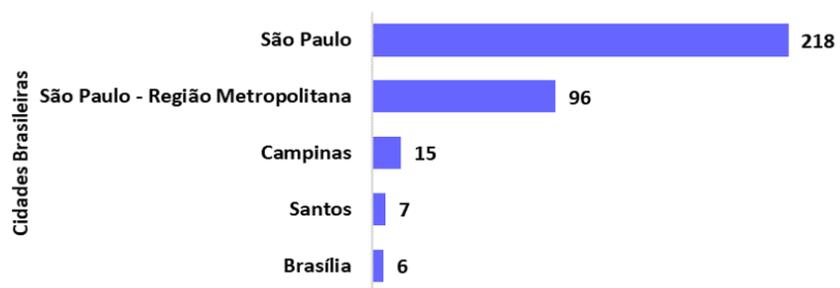
Figura 23: Gráfico do total de ônibus elétricos



Fonte: Mobilitas 2020

A empresa BYD, Eletra e Volvo são destaques na produção de ônibus elétrico no Brasil. A E-Bus RADAR publicou em Radar que em julho de 2021 o Brasil registra 350 ônibus elétrico rodando pelo sul, sudeste e centro oeste, sendo grande parte da frota na cidade de São Paulo, em que se destaca 218 ônibus trafegando na região metropolitana de São Paulo. Na Figura 22 pode-se observar a distribuição desses veículos, entre a cidade de São Paulo e seus municípios e alguns estados que aderiram a essa mobilidade, dentre eles, Brasília.

Figura 24: Ranking de ônibus elétricos nas cidades brasileiras



Fonte: (RADAR, 2021)

3. METODOLOGIA

O presente trabalho é um estudo de caso com uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, realizado na cidade do Recife no estado de Pernambuco. Será realizada uma análise teórica comparativa da viabilidade do uso de ônibus elétrico em relação a ônibus a diesel em uma linha de transporte público da cidade do Recife.

As referências sobre motores a diesel e elétricos, sob alguns conceitos e características que serão apresentadas neste trabalho, não apresentam previsões irreversíveis, já que há um leque de descobertas e avanços tecnológicos quando se trata desse ramo.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

A metodologia do presente trabalho pode ser dividida nas seguintes etapas e estratégias de ação descritas a seguir:

I - Descrever e comparar os sistemas de manutenção como um todo, a preventiva ou programada, no qual há um plano de manutenção; a corretiva na qual só se conserta, ou substitui quando chega a falha, e intensificando o quanto é importante ter um plano de manutenção na empresa, viabilizando a redução de quebra e custos de manutenção. A comparação com a manutenção de um ônibus elétrico, híbrido e a diesel em alguns estados e países.

II - Avaliar a evolução dos transportes públicos em alguns países desenvolvidos como Estados Unidos, China e Europa, também a América Latina e Caribe. Com a tecnologia do E-Bus Radar uma plataforma criada pela UFRJ em que explana dados quantitativos de emissões de CO₂, quantificar os ônibus elétricos e híbridos em circulação.

III - Sintetizar a viabilidade econômica-financeira da eletromobilidade dos coletivos urbanos, tendo em vista dados anteriores de alguns estados do Brasil em que estão introduzindo para estudo, além de alguns países desenvolvidos que já estão avançando nessa mobilidade. Os custos de implementação e operação dos

ônibus elétricos utilizando resumos bibliográficos, dissertações, artigos e um estudo de caso de uma linha de ônibus da região de Recife.

3.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS

Como forma de checar a viabilidade dos ônibus elétricos em comparação aos ônibus a diesel, será realizado um estudo de caso na cidade de Recife. Uma linha de ônibus convencional será selecionada e as principais variáveis serão analisadas.

Na análise da viabilidade dos ônibus elétricos, as principais variáveis envolvidas entre as tecnologias de motorização se dividem entre os tipos de custos aplicados em cada alternativa, suas respectivas potências energéticas de uso e o nível de atividade aplicado a ambos, visto na tabela 4.

Tabela 4: Classificação das principais variáveis envolvidas na análise

Custo Fixos	Aquisição do veículos Aquisição de carregadores
Custos Variáveis	Óleo diesel Energia elétrica Manutenção
Distância	Distância média viajada
Rendimento	Rendimento dos veículos

Fonte: EPE 2020

A viabilidade dos ônibus elétricos necessita da diminuição de custos variáveis em comparação aos ônibus a diesel, ao menos equivalente ao acréscimo de custo fixo oriundo da aquisição dos veículos elétricos e de sua infraestrutura de carregamento. Observa-se que ao se tornar semelhante, a ponto de equilibrar os custos em uma posição de indiferença na escolha entre ambos, a viabilidade dos modelos elétricos deve, de fato, superar e inclusive, indicar que essa substituição é

um projeto de investimento financeiro vantajoso.

3.2.1 Custos fixos

Os custos fixos envolvidos nos modelos de ônibus envolvem o custo de aquisição dos carregadores e a aquisição dos veículos. Os custos com aquisição dos ônibus a diesel podem variar em função da presença de ar condicionado, dimensão do veículo, capacidade de passageiros, por exemplo. Já os ônibus elétricos, a potência de carregadores, duração do processo de recarga, capacidade de bateria são fatores que podem influenciar no preço final. Na maior parte dos casos o custo fixo associado ao ônibus elétrico sobrepõem aos equivalentes ao diesel. Levando em consideração o custo do sistema de baterias que eleva a aquisição do veículo.

3.2.2 Custos Variáveis

Dentre os custos variáveis aplicados aos ônibus está o custo com a manutenção ao longo do período de utilização, o custo com o abastecimento, seja elétrico ou a diesel. Os custos das fontes energéticas são mais variáveis, onde se origina de diferentes componentes de preços atuantes sobre a cadeia produtiva de insumos e a relação comercial dos fornecedores e operadores de transporte.

O custo de manutenção dos veículos elétricos deve ser reduzido devido à menor quantidade de peças, comparado ao veículos a diesel. Contudo a troca de combustível, óleo diesel por eletricidade, agregando ao rendimento energético superior dos motores elétricos pode acarretar maior redução dos custos variáveis, devido a sua eficácia de operação.

3.2.3 Distância média percorrida

A distância média percorrida pelos ônibus é o tamanho médio dos trajetos realizados pelos veículos e a frequência que ele ocorrem, um indicador indispensável no setor de transporte urbano rodoviário coletivo. Uma opção de estimar a demanda ou frequência necessária pelos ônibus seria analisar a quantidade média de pessoas no município, ou seja, quanto maior o número de

peças em um município, maior será a demanda por deslocamento desta população. Com isso, quanto maior o percurso, maior será a economia de custos variáveis gerados em comparação com a versão a diesel que, facilmente pode-se dar a compensação dos custos fixos superiores específicos aos modelos elétricos.

3.2.4 Rendimentos dos veículos

O rendimento dos veículos são representados por quilômetro por litro ou quilowatt-hora por quilômetro. Normalmente, mantendo todas condições constantes, os modelos elétricos apresentam menor consumo de energia do que modelos a diesel, pois a eficiência de conversão da eletricidade em força motriz subrepõem a eficiência de conversão do óleo diesel. Ainda assim, em alguns casos o ônibus a diesel é mais viável que os motores elétricos.

3.3 FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICO URBANO

Para a análise da viabilidade foi utilizado uma ferramenta de avaliação de ônibus elétrico urbanos municipais desenvolvida pela EPE. O processo é realizado em três etapas:

I - Definir a distância anual percorrida pelos ônibus e a quantidade de veículos a serem implementados na frota;

II - Definir os custos relativos a cada tecnologia, ou seja, Capital Expenditure (CAPEX) e as despesas operacional Expenditure (OPEX);

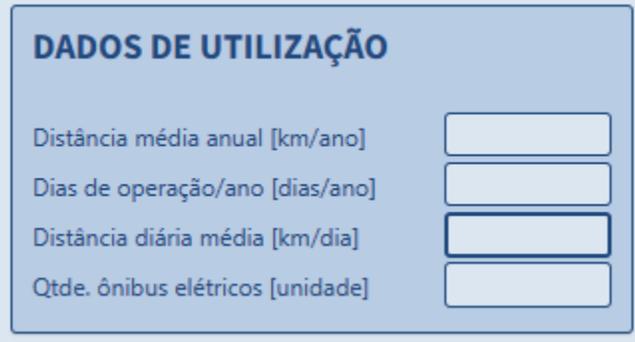
III - A partir dos parâmetros anteriores, calcular os indicadores financeiros do projeto da substituição das tecnologias, utilizando a taxa interna de retorno (TIR), tempo de retorno do investimento (payback), valor presente líquido (VPL) e custo total de propriedade ao longo da vida útil total cost ownership (TCO).

A partir desses indicadores podemos avaliar a viabilidade econômica

financeira dos ônibus elétricos entre os ônibus a diesel. Para simular qual das opções é mais viável, utiliza-se a ferramenta desenvolvida pela EPE, a modelagem bottom – up paramétrica (EPE, 2020), em que analisa os custos de cada etapa junto com os dados fornecidos pelo operador.

Os dados que o software irá pedir são: a distância média diária, dias de operação, quantidade de ônibus na frota, preço da aquisição, preço do litro do diesel, custo com a manutenção, valor do Kwh, (figura 25) com isso já se calcula automaticamente a distância média diária em quilômetros por dia.

Figura 25: Dados de Utilização do software – EPE



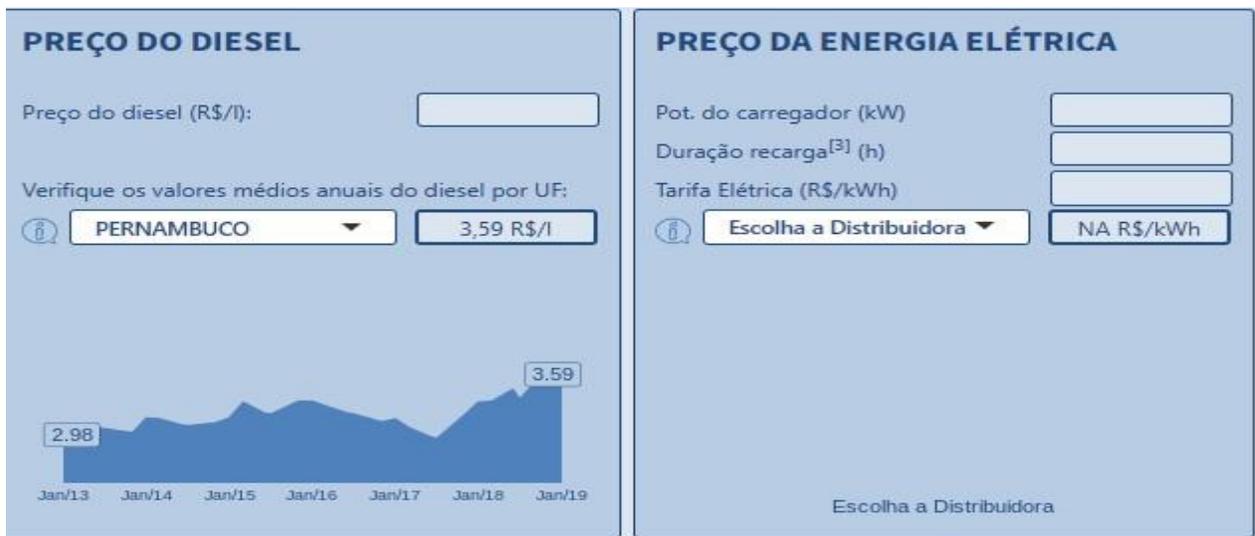
O formulário, intitulado "DADOS DE UTILIZAÇÃO", apresenta quatro campos de entrada para coleta de dados:

Dados de Utilização	Forma de Entrada
Distância média anual [km/ano]	Caixa de texto
Dias de operação/ano [dias/ano]	Caixa de texto
Distância diária média [km/dia]	Caixa de texto
Qtde. ônibus elétricos [unidade]	Caixa de texto

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2021

Outros dados a preencher são o valor do óleo diesel e da energia elétrica. No diesel pode-se escolher o estado, o software disponibiliza o valor do diesel naquela região baseado nos preços disponibilizado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), e a parte da energia elétrica também é disponibilizado alguns valores de tarifas elétricas por distribuidora.

Figura 26: Dados do preço do óleo diesel e energia elétrica



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2021

Feito essa etapa, em seguida temos o valor de aquisição CAPEX em que será colocado o preço de aquisição do veículo e o preço da infraestrutura de recarga e o operacional OPEX adicionando o rendimento dos ônibus a diesel e elétrico em km/l e km/kWh, custo de manutenção de ambos, levando em consideração o aluguel de algum tipo de geração distribuída e um desconto de 10% se a opção for selecionada, Figura 27.

Figura 27: Aquisição e operação dos ônibus elétrico e Diesel

CAPEX		DIESEL	x NA =	ELÉTRICO	
Custo de Aquisição (R\$)	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>
Infraestrutura de Recarga (R\$)	<input type="text"/>	0,00		<input type="text"/>	proporção de custos entre as tecnologias
OPEX ^[4]					
Custo Operacional (R\$/km)	<input type="text"/>			<input type="text"/>	
◦ Rendimento [km/l][km/kWh]	<input type="text"/>			<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Error: no applicable method for 'round_any' applied to an object of class "logical"					
Custo de Manutenção (R\$/km)	<input type="text"/>			0,01 R\$/kWh	Aluguel de GD
Custo Var. Anual (R\$/ano)	<input type="text"/>			<input type="text"/>	

Fonte: Empresa de Pesquisa Energetica, 2021

Nessa etapa, calcula-se a análise financeira do diesel e elétrico. A primeira se insere o percentual da rentabilidade da empresa que vai investir na compra de ambos os ônibus, o percentual do financiamento, percentual financiado, o custo ponderado do percentual de capital, o prazo do financiamento em anos e o valor de revenda do veículo, visto na Figura 28.

Figura 28: Financiamento dos ônibus a diesel e elétrico

FINANCIAMENTO-DIESEL		FINANCIAMENTO-ELÉTRICO	
Custo Capital Próprio (%)	12,5	Custo Capital Próprio (%)	12,5
Custo Financiamento (%)	9	Custo Financiamento (%)	9
Percentual financiado (%)	80	Percentual financiado (%)	80
Custo Pond. de Capital (%)	7,25	Custo Pond. de Capital (%)	7,25
Prazo financiamento (anos)	5	Prazo financiamento (anos)	10
Valor de revenda (%)	66	Valor de revenda (%)	43

Fonte: Empresa de Pesquisa Energetica, 2021

4. RESULTADOS

Nessa fase será apresentado a análise da viabilidade econômica na substituição dos ônibus a diesel utilizado em uma linha de transporte público do Recife com base do software disponibilizado pela EPE, ferramenta de avaliação técnica-econômica para ônibus elétricos urbanos municipais.

De acordo com o tópico 3.3 em que está descrita a metodologia aplicada a esse trabalho, vários dados diversificados foram coletados para análise desse contexto. Logo após, será detalhada os princípios que foi utilizado para escolha dos dados e comparações.

4.1 ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE RECIFE

Nesse estudo vai ser avaliado a eletrificação integral de uma frota de ônibus. Em que todos os elementos movidos a diesel será substituído pelos elétricos. A linha selecionada nesse trabalho foi a CDU/Caxangá/Boa viagem.

Figura 29: Rota da linha CDU/Caxangá/Boa Viagem



Fonte: Moovit, App 2023

Na tabela 5 será mostrado a distância média anual e diária e os dias de operação hipoteticamente. Com a ajuda do Moovit obteve-se a distância percorrida. Essa linha opera das 04:50 as 22:00 percorrendo 40 KM com um total de 12 veículos convencionais na rota em que vão ser substituídos por elétricos, transportando em média 8 mil passageiros (JC online,2022)

Tabela 5: Referente aos dados de utilização

Distância média Anual [km/ano]	102200
Dias de operação [dias/ano]	365
Distância média diária [km/dia]	40
Quantidade de ônibus elétricos	12

Fonte: A Autora

4.1.1 Preço do Diesel

Segundo o site de preço da Petrobras, em 11.04.2023 o valor do diesel utilizado será de R\$ 5,66. Mas o software utilizou o valor de R\$ 3,59 a ser usado no estudo, como o software não atualizou o valor permanecendo como base o ano de 2019.

Figura 30: Valor do Diesel



Fonte: PETROBRAS,2023

4.1.2 Preço da Energia Elétrica:

Para esse estudo será pego dados do ônibus da marca BYD (2023), considerando o modelo D9W que leva de 2 a 3 horas para carregar a uma potência de 160 kW. E considerando a recarga do tipo plug-in é a mais econômica. O valor de aquisição do veículo será de R\$1.400.000,00 (BAZANI ADAMO, 2018).

Ao verificar os valores de potência e tempo de carregamento, o valor da tarifa na região nordeste disponibilizada no software é de 0,62 por quilowatt hora. Para tarifa de energia considera-se os dados da neoenergia (2022), os valores do PIS e COFINS será 0,88% e 4,07% segundo tabela 6 e o valor de ICMS 27% (SEFAZ). O valor final encontrado será de 0,6553 R\$/kWh calculado na equação 10.

$$\text{PREÇO FINAL: } \frac{\text{tarifa de energia}}{1 - \text{icms}\% + \frac{\text{pis}}{\text{confins}}\%} \text{ (R\$/kWh)} \quad (10)$$

Tabela 6 Alicotas

Alíquotas	
PIS:	0,88%
COFINS:	4,07%
TOTAL	4,95%

Fonte: Neoenergia, 2022

Tabela 7: Tabela de energia elétrica aplicada no grupo A4 – em reais sem imposto

DESCRIÇÃO	TUSD (R\$/kW)	TUSD (R\$/kWh)	TE (R\$/kWh)	TARIFA
A4				
Consumo Ativo na Ponta		2,47575000	0,41754000	2,89329000
Consumo Ativo Fora Ponta		0,08050000	0,25817000	<u>0,33867000</u>
Consumo Reativo Excedente			0,27145000	0,27145000
Demanda Ativa	37,72000000			37,72000000
Demanda Reativa Excedente	37,72000000			37,72000000
Ultrapassagem	75,44000000			75,44000000

Fonte: Neoenergia, 2022

4.1.3 Custo de aquisição – Capital expenditure / Despesas de capitais (CAPEX)

Segundo o diário de transporte o valor de aquisição no modelo estudado é de 1,4 milhões de reais e o valor do veículo a diesel é em média 700 000 mil (EBC,2023). O custo com carregamento segundo pesquisa de alguns fabricantes, como a BYD, é adicionado no valor da compra do veículo cerca de R\$ 161.000,00 em infraestrutura da garagem. Já nas rotas, o custo fica em torno de R\$ 322 000,00 (Slowik.C.T.C,2018). Com isso, o software separa o valor de aquisição e valor de infraestrutura. Subdividindo tem-se:

Tabela 8: Custo dos veículo de análise

Custo de aquisição a diesel	R\$ 700 000, 00
Custo de aquisição Elétrico	R\$ 1 400 000,00
Custo da Infraestrutura de Recarga	R\$ 161 000,00

Fonte: A Autora

4.1.4 Custo de operação – Operacional Expenditure (OPEX)

A variável relacionada ao custo operacional no software será o rendimento dos ônibus tanto a diesel como elétrico. Segundo dados anteriores, o rendimento do diesel é de aproximadamente 1,325 R\$/km (COSTA,2018) e o rendimento elétrico 0,37 R\$/km (EPE,2020). A partir da tabela 3 pode-se verificar que a manutenção nos ônibus elétricos custa quase 30% a menos do que o valor gasto com a manutenção dos ônibus a diesel. Valor percentual com a manutenção será de ônibus a diesel perncental de 0,814 e ônibus elétrico de 0,58, dados da tabela 3.

4.1.5 Financiamento

O BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) credenciou o fabricante BYD, para que através do Finame (Agência Especial de Financiamento Industrial) aderir o chassi 100% elétrico e baterias de fosfato de lítio para veículos elétricos, podendo assim financiá-los à juros mais baixos. Internamente na finame a empresa pode financiar até 80% do valor do ônibus 100% elétrico, num prazo de 10 anos e 20% de entrada dividido em 8 parcelas trimestrais (Mobilize,2020).

No banco BNDES há uma diferença entre a taxa do ônibus elétrico de 0,95% comparado a taxa do ônibus a diesel de 1,35% (BNDES,2020). Segundo o Guia do Transporte a porcentagem de depreciação para revenda dos veículos urbanos é de 1,5% (2021). Como ainda não existe muitos valores para revenda de ônibus elétricos será utilizada a mesma taxa a diesel. O custo de capital próprio será de 12,5% em ambos os ônibus (EPE,2ª).

5. DISCUSSÃO

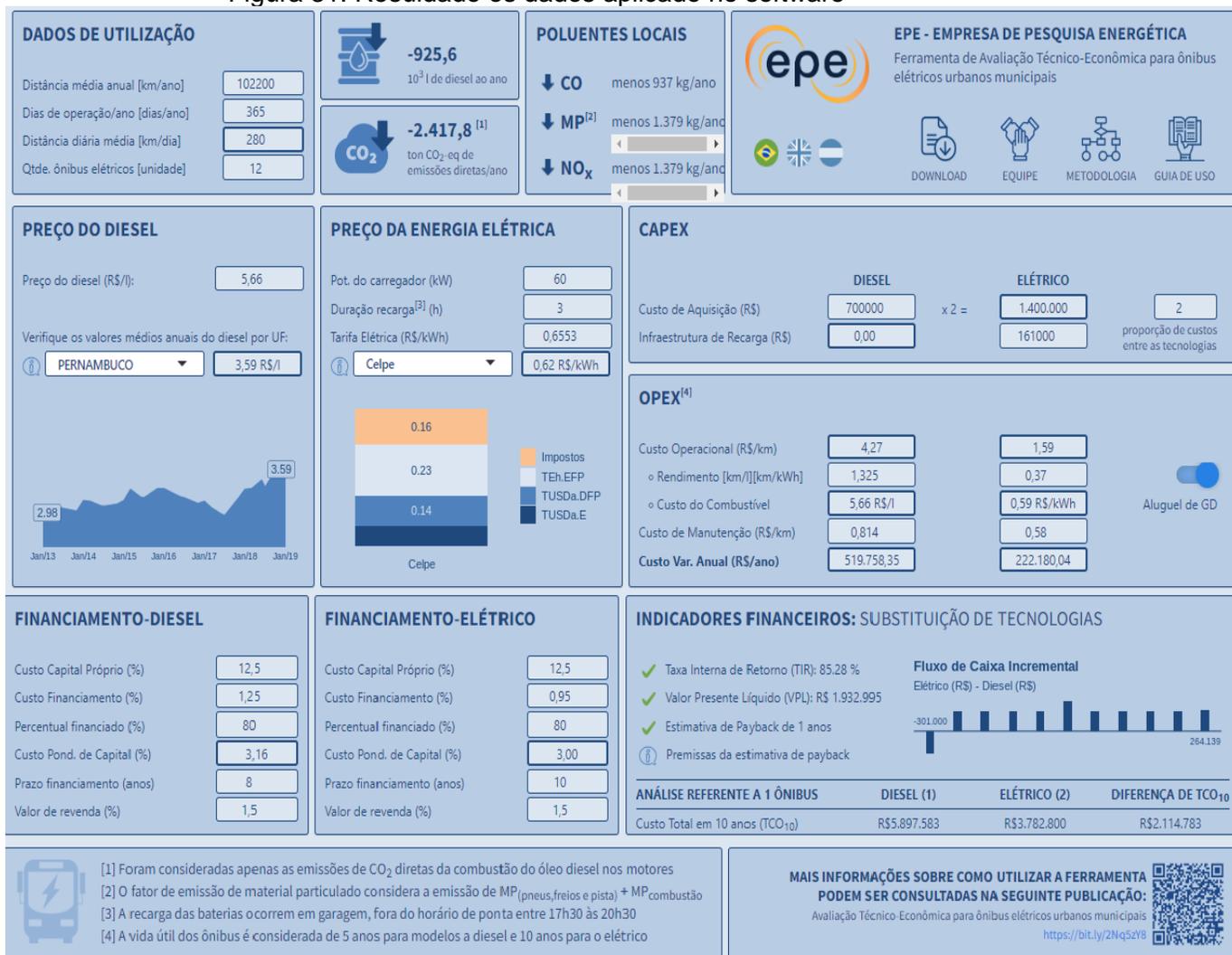
Apartir dos dados colocados observa-se que a emissão de CO₂ para a substituição total da frota de 12 ônibus é de menos 2417,8 toneladas de emissão direta em comparação com a emissão da queima de diesel nos motores, uma redução de 925.600 l de óleo diesel ao ano. A medida que aumenta essa quantidade de veículo proporcionalmente esses valores reduzem os poluentes.

Analisando as despesas de capitais verifica-se que o preço de aquisição do ônibus elétrico é o dobro da ônibus a diesel, além do valor de infraestrutura de recarga dos elétricos. As despesas Operacionais têm um rendimento de combustível 72% maior que os elétricos e o gasto com manutenção dos elétricos é 71% mais viável que os a Diesel

Os indicadores financeiros, observa-se que o valor presente líquido (VPL) foi positivo, no valor de R\$ 1 932 995,00, além da taxa interna de retorno estar acima de cinquenta por cento, alcançando 85,28%. A possibilidade dos ônibus elétricos com coletivos urbanos mostra-se viável. Tendo em vista que a estimativa de payback, tempo de retorno do investimento, baseado no número de anos que decorre até o fluxo de caixa ser igual ao montante de investimento inicial foi de um ano.

No sistema de carregamento o software não utiliza o valor de infraestrutura de recarga dentro do financeiro, com isso o valor será descontado na despesa de fluxo de caixa. Considerando os resultados de vida útil de 10 anos e mesmo descontando o valor do sistema de carregamento, essa tecnologia mostra-se viável para essa linha, que poderá aderir aos ônibus elétricos. Já nos ônibus a diesel não há uma gasto com infraestrutura de abastecimento, pois já coexiste.

Figura 31: Resultado os dados aplicado no software



Autor: EPE,2019

CONCLUSÃO

A implementação dos ônibus elétricos nos sistemas de transportes coletivos urbanos é positiva e encorajadora. Os ônibus elétricos têm o potencial de reduzir significativamente a poluição do ar, além de oferecer uma experiência de transporte mais silenciosa e suave para os passageiros. Mesmo tendo o custo de aquisição mais elevado do que os ônibus movido a diesel, apresentam os custos operacionais mais baixos a longo prazo. Muitos governos e agências como a BNDES estão oferecendo incentivos financeiros e subsídios para facilitar a transição para ônibus elétrico, mais acessível para as empresas de transporte coletivo.

Apesar desses desafios, muitas cidades em todo o mundo já estão implementando ônibus elétricos em seus sistemas de transporte público como no Chile, Bolívia, São Paulo, Brasília, que só tende a avançar. Segundo estudo feito em uma frota na cidade de Recife-PE com base dos indicadores financeiros Valor Presente Bruto (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Custo Total (TCO) e Payback observa-se um percentual de 85,28 % de retorno na avaliação da viabilidade econômica, substituindo total dos 12 veículos da linha, utilizando o software de análise da viabilidade da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Incluindo o valor de operação dos ônibus elétricos que é a principal vantagem financeira e primordial no âmbito ambiental, no qual atualmente está em alerta vermelho.

Ainda sobre os estudos pesquisados nota-se o quanto é válido essa introdução nos sistemas de coletivos Urbanos. Pode-se aplicar em outras frotas os estudos sobre o impacto da diminuição de emissões de gases e acústica no município ou cidade, visando o bem estar da população. Outro caso seria estudar outra fonte de energia renovável como energia fotovoltaica agregando as reduções de carregamento das baterias e métodos de carregamentos utilizando energia eólica e solar como fonte de armazenar energia além da energia elétrica.

Conclui-se com a presente pesquisa que os motores elétricos são viáveis em meio a grande divergência que ainda existe no sistema de transporte público. Como observar-se na região sul e sudeste só tende a aumentar o número de frota e segundo o estudo de caso na cidade de Recife mais rentável, incluindo benefícios ambientais, econômicos e sociais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. A. D. Metodologias de Análise de Riscos APP & HAZOP 2005.

ANEEL (2010). Agência Nacional de Energia Elétrica. Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica. Sumário Executivo (Ótica do Consumidor). Disponível em: <<https://bit.ly/2wu842U>>. Acesso em janeiro de 2022.

ANEEL (2012). Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2OmltBz>>. Acesso em julho de 2022.

ANP,2017. Custos dos serviços de transporte público por ônibus,2017. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2017/8/21/1.-metodo-de-calculo--final-impresso.pdf> > Acesso em Abril de 2023

ANP (2020). Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Preços. Levantamento de Preços e de Margens de Comercialização de Combustíveis. Disponível em: <<https://bit.ly/2WCH0eY>>. Acesso em março de 2022;

BAZANI Adamo. Diário do transporte: Toda frota de 15 ônibus 100% elétrico de projeto piloto estará em operação até março,2018. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2018/12/10/toda-frota-de-15-onibus-100-eletricos-de-projeto-piloto-estara-em-operacao-ate-marco-diz-bruno-covas/>> Acesso em Abril de 2023

BRAVO, Diego Moreno; MEIRELLES, Pablo Siqueira; GIALONARDO, Wallace. Análise dos desafios para a difusão dos veículos elétricos e híbridos no Brasil. Anais do XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva – SIMEA. São Paulo: Blucher Engineering Proceedings, 2014.

CARVALHO, C. H. R. de. PID Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. Boletim regional, urbano e ambiental, 2011.

COSTA, F. E. da. PID PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO CONTÍNUA PARA UMA EMPRESA DE TRANSPORTE COLETIVO. Monografia — Universidade de Brasília, 2018..

CUNHA, Lauro Salles.O livro do automóvel. Seleções do Reader's Digest, 1976. COSTA. Paulo G.Manual Prático do Mecânico. Edição 7. Editora HEMUS, 1972 A bíblia do automóvel, edição eletrônica. 2001-2002.

ICCT. International Council on Clean Transportation. Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo. Tim Dallmann. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/31ofSTV>>. Acesso em fevereiro de 2023.

LOPES, J. PIDESTRATEGIAS DE GERENCIAMENTO DE POTENCIA EM ÔNIBUS DE TRANSPORTE URBANO ELETRICO HÍBRIDO SERIE. Dissertação — Escola de Engenharia de São Carlos, 2008.

MANZOLLI Augusto, Trovão Pedro. A review of electric bus vehicles reserach topics – Methods and trends. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112211>>. Acesso em Janeiro de 2023

MDIC (2018b). Avaliação Internacional de Políticas Públicas para Eletromobilidade em Frotas Urbanas. Disponível em: <<https://bit.ly/2VS8MIC>>. Acesso em dezembro de 2022.

NETO, G. C. L. de Souza Lima; Gabriel Lassery Rocha da Silva; Genezio dos S. A. PID mobilidade elétrica: O onibus elétrico aplicado ao transporte publico no brasil. : Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 41 - 2019 - 2º quadrimestre, 2019.

NOCE, T. Pid estudo do funcionamento de veículos eletricos e Contribuição ao seu aperfeiçoamento. Monografia — Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais, 2009.

PELEGI. Alexandre, Diario do Transporte: BYD já tem 100 ônibus elétrico para entregar no inicio de 2023 e afirma ter capacidade para atender o mercado Paulista, Disponível em:<<https://diariodotransporte.com.br/2022/11/10/byd-ja-tem-100-chassis-de-onibus-eletricos-para-entrega-no-inicio-de-2023-e-afirma-ter-capacidade-para-atender-mercado-da-capital-paulista/>> Acesso em Abril de 2023

PEREIRA, A. de M. Pid sistema de tração de um ônibus elétrico híbrido com pilhas a combustível e baterias. Monografia — universidade federal do rio de janeiro, 2007.

PEREIRA Tauã, 2017. Motor de Indução Trifásica acionado por inversor aplicando controle escalar. Disponível em < https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Partes-constituintes-do-motor-de-inducao-trifasico-Fonte-Adaptado-de-WEG_fig2_331977520 >. Acesso em Junho de 2021

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

SANTOS, C. A. A. V. G. de S. PID NOÇÕES BASICAS DE MOTORES A DIESEL. [S.l.: s.n.], 2010. v. 1ª Edição. Citado 3 vezes nas páginas 4, 5 e 6. VARAN, C. Enciclopédia britânica.

SITES ESPECIALIZADOS

ALUGAGERA. Você sabe qual a diferença entre os motores de Ciclo Otto e os motores de ciclo diesel?,2020. Disponível em: < <https://alugagera.com.br/noticias/diferencas-entre-motores-do-ciclo-otto-e-ciclo-diesel>>

Análise da IEA com base nas submissões dos países, complementada pela ACEA (2022); EAFO (2022); Volumes EV

ALBUQUERQUE Cristina, Tavares Virginia, Siqueira Eduardo, Correa Fernando. Ônibus elétricos: um guia de eletromobilidade para cidades brasileiras. Disponível em: < <https://www.wribrasil.org.br/noticias/como-implementar-onibus-eletricos-um-guia-de-eletromobilidade-para-cidades-brasileiras>>. Acesso em Fevereiro de 2023.

ALÍQUOTAS, Disponível: https://www.sefaz.pe.gov.br/Legislacao/Tributaria/Documents/Legislacao/Tabelas/ALIQOTAS_IC_MS.htm> Acessado em abril 2023.

BNDES. Máquinas e equipamentos Todas as condições para financiar a produção, compra e modernização de máquinas e equipamentos. 2020. Disponível em:< <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/eae0f84e-7d11-4ec4-a5d3-8d4cc9a311a3/>

Cálculo da distancia entre as paradas. Disponível em: < <https://www.adistanciaentre.com.br/viagem-de-av-caxanga-para-av-visc-de-sao-leopoldo-recife-pe/ViagemHistoria/4120586.aspx>> Acesso em março de 2023

Chassis de ônibus 100% elétrico BYD: Transporte público sem poluição. Disponível em :< <https://www.byd.com.br/produtos/onibus/> >. Acesso em Março de 2023

CESAR Julio. Brasil já tem capacidade de produção de ônibus elétricos para transição. Disponível em <<https://insideevs.uol.com.br/news/619950/brasil-producao-onibus-eletricos/>>. Acesso em Março de 2023

EPE (2020). NT Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel. Disponível em:<<https://bit.ly/3gMgcAD>>. Acesso em outubro de 2022.

EPE,2020. Balanço Energético Nacional. 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> >. Acesso em Abril de 2023

EPE, Ferramenta de avaliação técnico-Economico para ônibus elétrico urbanos municipais. Disponível em: <shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/simulador_onibus/Onibusv3/> Acesso em Março de 2023

ESTADÃO. Frotas de ônibus elétricos podem ser ampliadas no Brasil. 2021. Disponível em: <<https://summitmobilidade.estadao.com.br/sustentabilidade/frotas-de-onibus-eletricos-podem-ser-ampliadas-no-brasil/>>

FARIAS Emerson. Principais componentes dos veículos elétricos. Disponível em: <<http://www.cesvibrasil.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/vecomponentes.pdf>> Acesso em março de 2021

FERREIRA Garcia. Como funciona o motor a diesel. 2021 Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/como-funciona-o-motor-a-diesel-e-suas-vantagens>> Folheto_Maq_Equip_130320_spreads.pdf?MOD=AJPERES&CVID=n4es0xv >. Acesso em abril de 2023.

FORD PARA TODOS – Ford une-se a grandes fabricantes de veículos para criar padrão de carga de veículos elétricos. Disponível em:<<http://www.fordparatodos.com.br/mostraTexto.asp?b=s&nr=0&id=4384>>. Acesso em Janeiro de 2022

Guia do transporte. Parâmetros utilizados nas planilhas de custos e tabela de referências de preço. Disponível em:<<http://www.guiadotrc.com.br/Custeio/parametros.asp>> Acesso em Abril de 2023

IBGE. 2022. De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 08 de julho de 2023.

IEA, I. E. A. Global EV Outlook 2021. 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>>

JC ONLINE, Linha CDU/ BOA VIAGEM/ CAXANGÁ deixa de operar com ônibus articulado <<https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/jtransito/noticia/2017/07/12/linha-cduboa-viagemcaxanga-deixa-de-operar-com-onibus-articulados-295093.php>> Acesso em Abril de 2023

LINQUIP Technews (2020). 8Different DC Motor Parts, Structure, Design and Advantages. Disponível em: <<https://www.linquip.com/blog/dc-motor-parts/>>. Acesso em outubro de 2022

MOBILIDADE, A. F. C. O ônibus elétrico e o Brasil. 2020. Disponível em: <<https://www.revistaautobus.com.br/artigo/o-onibus-eletrico-e-o-brasil>>. Acesso em: 21 agosto. 2021.

MOBILIZE Brasil. Ônibus elétrico ganha incentivo para compra de chassi e

bateria,2020. Disponível em < <https://www.mobilize.org.br/noticias/12081/onibus-eletricos-ganham-incentivo-para-compra-de-chassis-e-baterias.html> > Acesso em Abril de 2023

MOOVIT, Itinerario, horário e paradas da linha 2040 CDU/BOA VIAGEM/ CAXANGA Disponível em: <https://moovitapp.com/index/pt-br/transporte_p%C3%BAblico-line-2040-CDU-BOA-VIAGEM-CAXANG%C3%81-Recife-1662-774895-547891-0> Acesso em abril de 2023

NEOCHARGE. Como funciona o motor de um carro elétrico. São Paulo, Neocharge, 2020. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/motor-como-funciona>. Acesso em: 05 mai. 2021.

NEOCHARGE. Como funciona o motor de um carro elétrico,2021. Disponível em: < <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/motor-como-funciona> >

NEOENERGIA, Tarifas, Preços e tributos < <https://clientescorporativos.neoenergiapernambuco.com.br/informacoes/paginas/tarifas-precos-e-tributos.aspx> > Acesso em Abril de 2023

PEREIRA Tauã, Motor de indução trifásico acionado por inversor aplicando controle escalar,2017. Disponível em < https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Partes-constituintes-do-motor-de-inducaotrifasico-Fonte-Adaptado-de-WEG_fig2_331977520 >

PETROBRAS, Preço de aquisição do diesel. Disponível em : <<https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/diesel/pe>>. Acesso em março de 2023

RADAR eBus. *Ônibus Elétricos América Latina*. 2021. Disponível em: <<https://www.ebusradar.org/>>.

Respira Sao Paulo. Ônibus Elétrico – o futuro para o transporte urbano – Quais desafios? Disponível em : < <http://www.respirasaopaulo.com.br/Onibus%20Eletricos.htm> >. Acesso em janeiro de 2022

SPTTrans (2019). Valores das Tarifas Vigentes a partir de 01/01/2020. Disponível em:<<https://bit.ly/327ishU>>. Acesso em fevereiro de 2023.

SOUZA Rafaela, Acordo de Paris, Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/acordo-paris.htm>>

Tendências em veículos pesados elétricos, GlobalEV Outlook 2022<<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-heavy-duty-vehicles>>