

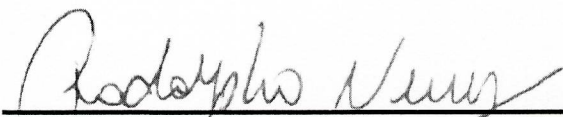
LUCAS ANANIAS OLIVEIRA

**VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO
DA FROTA DE ÔNIBUS DE MOBILIDADE URBANA MUNICIPAL
A COMBUSTÃO POR ÔNIBUS ELÉTRICOS COM FOCO NO
MERCADO DO CRÉDITO DE CARBONO**

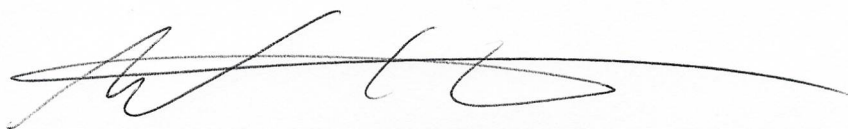
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 11 de dezembro de 2023.

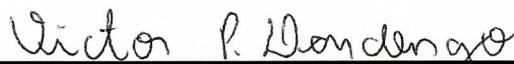
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodolpho Vilela Alves Neves – Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. André Gomes Tôrres – Membro
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. Victor Pellanda Dardengo – Membro
Universidade Federal de Viçosa

Viabilidade Técnico e Econômica da Substituição da Frota de Ônibus de Mobilidade Urbana Municipal a Combustão por Ônibus Elétricos com Foco no Mercado do Crédito de Carbono

Lucas Ananias Oliveira¹, Rodolpho Vilela Alves Neves²

¹Engenharia Elétrica, UFV, Brasil

²Engenharia Elétrica, UFV, Brasil

Autor Correspondente: Lucas Ananias Oliveira (e-mail: lucas.ananias@ufv.br).

ABSTRACT For the commitments made by countries to reduce greenhouse gas (GHG) emissions in the atmosphere to be fulfilled, it is necessary to look for ways to do so. One of the major contributors to GHG emissions are fossil fuel vehicles and a growing alternative to them are electric vehicles. In Europe electric vehicles are already well present, both passenger vehicles and urban mobility are increasingly electrified. The present work aims to analyze the implementation of electric buses in a medium-sized city in Minas Gerais. To this end, a technical study was carried out with the objective of analyzing whether electric buses suprem the demand for routes in the city, and an economic feasibility analysis considering different scenarios to define whether it is worth investing in technology. In addition, the carbon credit market is expanding all over the world, so an analysis was made with the financial gains that electric buses could return from this market.

INDEX TERMS Mobilidade Urbana, Ônibus Elétrico, Ônibus a Combustão, Viabilidade Técnica, Viabilidade Econômica, Crédito de Carbono

I. INTRODUÇÃO

A utilização de ônibus elétricos já é uma realidade em países como a França. A implementação da tecnologia ao redor do mundo muito se dá devido aos objetivos coletivos entre os países, tratado pelo Acordo de Paris, com a meta de reduzir as emissões de dióxido de carbono na atmosfera [1]. Os veículos à combustão foram responsáveis pela maior parcela de emissão de dióxido de carbono no Brasil em 2021 [2]. Portanto, investir na eletrificação do transporte coletivo pode ser um excelente ponto para o Brasil cumprir os objetivos estabelecidos pelo Acordo de Paris em 2015.

Contudo, a tecnologia de ônibus elétricos é algo bem recente em todo o mundo, sendo uma estratégia global vista pelas lideranças para caminhar rumo aos objetivos do Acordo de Paris [3]. Desde então, subsídios são cedidos ao incentivo do uso dessa nova tecnologia. No Brasil tem apenas 376 ônibus elétricos em operação do total de 323.902 ônibus municipais e metropolitanos, que se concentram em cidades como São Paulo, Vitória, Curitiba, Salvador e Goiânia [4]. Como toda nova

tecnologia, isso implica em preços elevados para fazer a transição de frotas. Apesar disso, 50% do preço atual de um ônibus elétrico é devido à bateria [5] mas, felizmente, o preço da fabricação das baterias reduziram em 80% entre 2013 e 2021 segundo [6]. Além disso, a expectativa de alguns fabricantes é que o preço dos ônibus elétricos reduza em aproximadamente 20% até 2025 [7]. Dados que motivam a fazer um estudo de viabilidade financeira para a substituição da frota.

Acrescenta-se como ponto positivo para a migração na direção de tecnologias que utilizam energias renováveis o mercado do crédito de carbono. Esse é um mercado no qual a cada tonelada de dióxido de carbono que uma empresa deixa de emitir, em relação ao seu limite pré-estabelecido, ela recebe um crédito de carbono. Posteriormente, esse crédito pode ser vendido àquela empresa que emitir acima do teto para compensar as emissões de forma geral [8]. No Brasil, apesar de ainda não possuir uma regulamentação para este mercado, tem potencial para gerar receitas de até US\$ 100 bilhões

anuais de acordo com a Câmara de Comércio Internacional [9].

De acordo com [10], o número de ônibus no Brasil quase dobrou nos últimos 15 anos e o setor de transportes foi responsável por mais de 70% do consumo energético final de derivados do petróleo. O setor de transportes rodoviários, movido a óleo diesel, representa cerca de 43,65% do consumo de transportes a partir de análises feitas em [11]. Os impactos de tamanha frota implicam não somente no aumento de temperatura como consequências negativas, mas, também, em problemas pulmonares e até mesmo mortes.

Além da vantagem da redução de dióxidos de carbono emitidos e, por consequência, aumento da qualidade de saúde da população, os ônibus elétricos também têm como vantagem a redução de ruídos dos motores. Um conforto que pode parecer banal, mas que agrega qualidade e experiência ofertada ao passageiro do serviço de transporte público, melhora a qualidade para o motorista do veículo que trabalha o dia inteiro no ônibus e também reduz o alto ruído externo que contribui para a preservação da não poluição sonora dos locais de rotas onde o transporte circula [12].

Sabendo que é uma tecnologia que tende a se tornar cada vez mais comum e uma realidade que parece se tornar até obrigatória em um futuro próximo, cidades no Brasil já começam a fazer a transição, tendo como maior destaque São Paulo que pela Lei do Clima irá substituir 20% da frota até 2024 [13]. Sabendo desse potencial mercado brasileiro, de acordo com [14], as empresas BYD, Eletra, WEG, Scania, Mercedes-Benz, Moura, Caio, Marcopolo estão aptas a produzir mais de 2 mil unidades por ano. Dessa forma, podemos também fazer uma análise técnica buscando um modelo que se equipara ao ônibus a combustão e atende todas demandas exigidas.

Portanto, o presente trabalho terá como objetivo geral analisar os principais obstáculos na substituição da frota de ônibus movidos a diesel por ônibus elétricos em um município brasileiro.

Com base no objetivo geral os objetivos específicos serão verificar dados técnicos dos modelos a diesel e elétricos para validar ou não a substituição, analisar indicadores financeiros de investimento para saber se o projeto de troca é viável ou não, avaliar a viabilidade econômica por meio de diferentes cenários considerando flutuações das principais variáveis e estimar possíveis ganhos financeiros com o mercado do crédito de carbono. Para tanto, dados reais serão levantados junto a uma empresa de transporte coletivo que opera com ônibus a diesel, à fabricantes de carrocerias e chassis de ônibus a diesel e elétricos. Posteriormente, mediante uma ferramenta disponibilizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), chamada Ferramenta Para Avaliação de Viabilidade de Ônibus Elétrico encontrada em [15] os dados serão inseridos para retornarem indicadores

financeiros para avaliar a viabilidade econômica do projeto.

II. METODOLOGIA

O estudo de viabilidade econômica na substituição da frota de ônibus a combustão por elétricos pode ser feito utilizando a ferramenta para avaliação de viabilidade de ônibus elétrico disponibilizada pela EPE. Tal ferramenta baseia-se em uma modelagem *bottom-up* paramétrica na qual o usuário insere os dados de quanto se usa do transporte, o custo de cada tecnologia (combustão x elétrico) e como seria pago cada tecnologia. Como retorno, a ferramenta informa sobre o quanto de poluentes deixam de ser emitidos e entrega também os resultados da viabilidade econômica por meio de indicadores financeiros como a Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* (tempo de retorno do investimento), Valor Presente Líquido (VPL) e *Total Cost of Ownership* (TCO) [15].

Os indicadores financeiros supracitados são os mais comuns de serem usados ao fazer uma análise para checar a rentabilidade de um investimento financeiro. O primeiro a ser apresentado é o VPL, calculado através da equação (1) segundo o arquivo de notas técnicas em anexo à ferramenta de avaliação.

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+k)^j} \quad (1)$$

Em que VPL é o valor presente líquido; FC_j o fluxo líquido de caixa no instante j , K a taxa de desconto aplicável aos fluxos de caixa no período j e N o número de períodos. Esse indicador é considerado por muitos especialistas como o critério mais utilizado na hora da decisão por considerar o valor do dinheiro no tempo, ou seja, traz para hoje os fluxos de caixa futuros. Se o VPL for positivo é válido fazer o investimento, pois esse valor representa o mesmo que se você o recebesse hoje para executar a aplicação. Caso contrário, o investimento deve ser descartado, pois o valor negativo encontrado seria o mesmo que pagar aquele valor hoje para realizar o investimento [16].

Já o *payback* é tido como o tempo para recuperar o investimento financeiro feito. Seu cálculo é feito de forma em que se divide o investimento inicial pela economia ou retorno financeiro resultado, dessa forma obtém-se o tempo do *payback*. Pode ser realizado dessa forma simples ou da forma descontada em que se considera o valor do dinheiro no tempo como se fosse aplicado a um investimento, dessa forma primeiro traz o fluxo ao valor presente para depois calcular o *payback*. Apesar de simples, o *payback* sozinho não deve ser considerado um parâmetro importante por poder apresentar falhas graves como ter um retorno rápido, mas os fluxos de caixa futuro serem negativos. Deve-se tê-lo mais como um parâmetro para observar se teria o *payback* em um período pré-estabelecido, no caso a ser estudado a renovação da frota em um tempo determinado [16].

A TIR, como apresentada nas notas técnicas da ferramenta de avaliação, é a variável k no cálculo do VPL. Ou seja, dependendo apenas dos fluxos de caixa, é a taxa que torna o VPL nulo caso seja igual à taxa de atratividade. Como regra, caso a TIR seja maior que o custo de capital próprio deve-se aceitar o investimento, caso seja menor deve-se rejeitar o investimento.

Por fim, o TCO apresentado também nas notas técnicas da ferramenta de avaliação, é a soma dos custos para adquirir, operar e manter os veículos e a infraestrutura de abastecimento em determinado período. No caso da ferramenta, o tempo base são 10 anos. Também deve-se ter cuidado ao analisar esse parâmetro sozinho por não utilizar o fluxo de caixa no tempo. O ideal é que se analise as quatro variáveis conjuntamente.

Para a discussão proposta será feito um estudo com base em uma empresa de transporte coletivo real em uma cidade mineira com porte populacional de aproximadamente 100 mil habitantes. O nome da empresa, assim como da cidade, será mantido em sigilo devido ao contrato de confidencialidade assinado. Primeiramente serão analisados de forma técnica os veículos escolhidos para verificar se o ônibus elétrico suporta as demandas exigidas na mobilidade urbana da cidade, para tanto alguns dados serão comparados. Na sequência será realizado o estudo da viabilidade econômica visando validar ou não o investimento financeiro. Em seguida, diferentes cenários serão colocados em prática para verificar o impacto econômico com a variação do preço do diesel ou da energia elétrica. Por fim, será analisado o retorno financeiro com o mercado do crédito de carbono.

a. PARÂMETROS INICIAIS - A FROTA

Por meio de reuniões presenciais e trocas de e-mails conseguiu-se com uma empresa dados referentes a sua frota de operação no ano de 2022 em uma cidade mineira com população de 100 mil habitantes. Os dados recebidos são apresentados, de forma compacta, na Tabela I em que mostra a quantidade de veículos, a distância média percorrida por veículo em um ano e diariamente considerando 365 dias, e o consumo médio de combustível por veículo.

Tabela I – Dados da frota que serão analisadas

Quantidade veículos	Distância média percorrida	Distância média percorrida diariamente	Consumo médio de combustível
28	56605 km	155,08 km	3,066 km/l

Para o estudo de caso será considerado uma substituição completa da frota de veículos, tanto para uma renovação com novos modelos a combustão e também por uma renovação passando a modelos elétricos.

A empresa do estudo em questão informou que já fez um orçamento para a substituição da frota por ônibus a

combustão, portanto o modelo a ser utilizado será esse que a empresa já planeja adquirir. Com base nos documentos disponibilizados temos que o modelo do chassi orçado é o OF1619 da Mercedes-Benz e a carroceria modelo Torino OF 1619 Euro VI 11250 da Marcopolo.

Já para os ônibus elétricos diversas tentativas de contatos foram realizadas com empresas de chassis e carrocerias, porém pouco retorno foi obtido. Dessa forma não houve um leque muito grande para escolhas e comparações, portanto utilizaremos como modelo o chassi D9A da BYD em que foram fornecidos os dados necessários para o estudo. Contudo, informações sobre a carroceria não foram conseguidos, mas a BYD informou uma estimativa de valor.

Na Tabela II mostra-se um comparativo técnico entre os modelos de chassi à combustão e elétricos supracitados e na Tabela III os dados entre os modelos de carrocerias. Os dados foram obtidos através dos documentos disponibilizados pela empresa em estudo, contatos via e-mail com as montadoras e fichas técnicas disponíveis nos sites.

Tabela II - Dados de chassis entre as tecnologias dos ônibus que serão comparadas

Chassi	Combustão – OF1619	Elétrico – D9A
Carga Máxima	16.000 kg	19.500 kg
Dimensões	11,115 m x 2,478 m	12,120 m x 2,260 m
Velocidade máxima	110 km/h	70 km/h
Potência máxima	185 cv (136kW) a 2.200 rpm	2 x 150 kW (2 x 201 cv)
Torque máximo	700 nm (71,4 mkgf) de 1.200 a 1.600 rpm	2 x 550 nm (2 x 56 kgf.m)
Capacidade do tanque de combustível	300 l	-
Capacidade da bateria	-	344 kWh
Potência máxima de carregamento	-	DC até 160 kW (2 x 80 kW)
Tensão de carregamento	-	380 V
Autonomia	-	250 km*
Consumo médio	3,066 km/l **	0,7267 km/kWh***
Valor de manutenção	R\$0,31/km****	R\$0,23/km
Valor do chassi	R\$333.368,50	R\$1.980.000,00
Valor do carregador DC	-	R\$180.000

* A autonomia pode variar conforme as condições de uso, tráfego e velocidade, mas 250 km é uma estimativa dada pela fabricante.

** A fabricante não fornece consumo médio de combustível por variar muito segundo as condições citadas em *, então utilizou-se a média vista na Tabela I.

*** Para o valor encontrado dividiu-se a autonomia pela capacidade da bateria.

**** A fabricante não conseguiu informar o valor, também pelo fato de que a maioria dos clientes possui a própria manutenção nas suas empresas.

Então para a estimativa utilizou-se que segundo [17] gasto de manutenção para ônibus elétrico é cerca de 25% menor que os de ônibus a combustão.

Tabela III - Dados de carrocerias entre as tecnologias dos ônibus que serão comparadas

Carroceria	Combustão - Torino OF 1619 Euro VI 11250 da Marcopolo	Elétrico
Valor	R\$330.000,00	R\$450.000,00*
Poltronas	33	***

* Conforme dito anteriormente, nenhuma fabricante forneceu o valor de carroceria para ônibus elétrico. Porém, a BYD (fabricante do chassi) deu essa estimativa de valor.

** Como não temos o modelo de carroceria então não podemos precisar a quantidade de poltronas, contudo a BYD informou que pouco se diferem as carrocerias dos elétricos para combustão.

Fazendo a análise técnica verificou-se se os ônibus elétricos conseguem suprir as demandas da mobilidade urbana na cidade estudada. No aspecto dimensão do chassi e peso máximo suportado os dois modelos são bem semelhantes conforme Tabela II. Juntando essa informação com a repassada pela BYD, na qual as carrocerias de ambos os modelos quase não têm diferença, podemos inferir que o ônibus elétrico consegue transportar a mesma quantidade de passageiros que o ônibus a combustão.

Quanto a potência dos motores, percebe-se pela Tabela II que o ônibus elétrico tem uma potência máxima e torque até maiores que o ônibus a combustão. Porém, para velocidade máxima urbana, ele apresenta uma diferença negativa significativa, fazendo no máximo 70 km/h enquanto a combustão faz 110 km/h. Entretanto, isso não é um problema visto que somente em vias urbanas de trânsito rápido são permitidas uma velocidade acima de 70 km/h e na cidade em estudo não existe esse tipo de via e, também, a empresa tem um limite de velocidade máxima permitida que não excede os 70 km/h.

Em relação à autonomia, mesmo que os ônibus a combustão não tenham autonomia para concluir o trajeto diário, em questão de minutos, ele é completamente reabastecido, enquanto para o ônibus elétrico vimos que o tempo necessário é de aproximadamente 4 horas, com um único carregador, e 2 horas conectando dois carregadores. Contudo, segundo a fabricante, o modelo do ônibus elétrico escolhido tem autonomia média de 250 km e a média dos veículos estudados percorrem cerca de 155,08 km por dia. Além disso, o veículo com a maior média diária tem 246,15 km percorridos. Dessa forma, o ônibus elétrico consegue suprir a demanda das rotas sem ter que parar para recarregar durante o dia.

Assim temos que os ônibus elétricos são capazes de suprir todas as demandas técnicas que a operação da cidade em questão necessita.

b. FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICO

Para a análise de viabilidade será utilizada a ferramenta elaborada pela EPE na qual a metodologia aplicada na ferramenta pode ser observada nas Figuras 1a e sua respectiva legenda na Figura 1b.

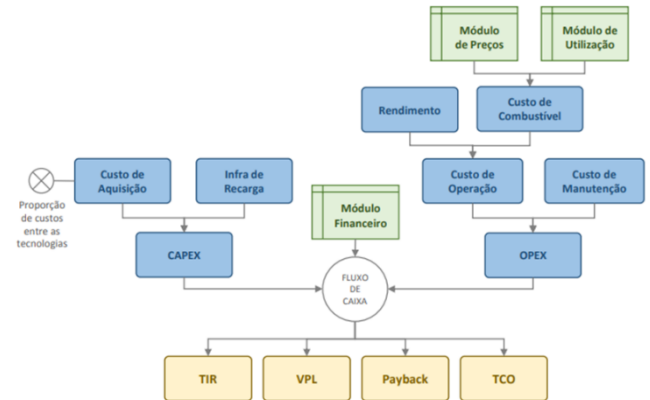


Figura 1a - Metodologia EPE

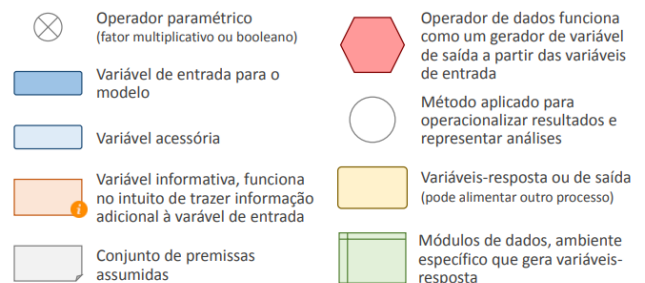


Figura 1b - Legenda da metodologia EPE

Nas Figuras 2, 3 e 4 temos os desdobramentos dos blocos dos módulos de utilização, de preços e financeiros observados na Figura 1a.

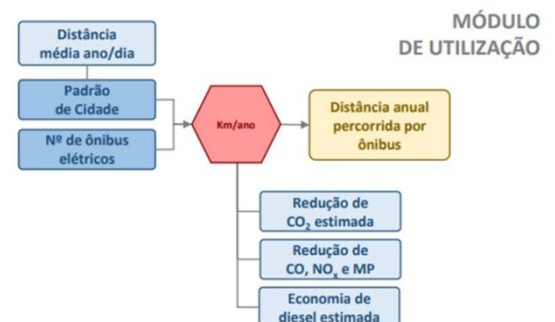


Figura 2 - Módulo de utilização ferramenta EPE

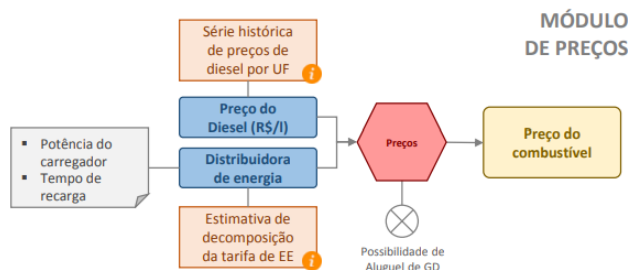


Figura 3 - Módulo de preços ferramenta EPE

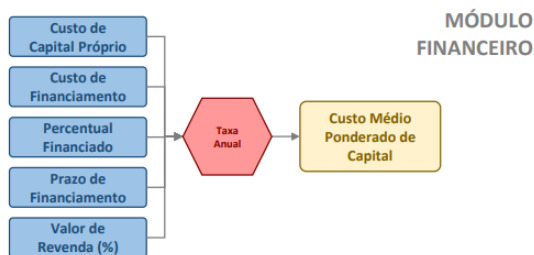


Figura 4 - Módulo financeiro ferramenta EPE

O bloco do módulo de utilização diz respeito às variáveis referentes a frota como quantidade de veículos, distância percorrida anual e dias de operação no ano. Os valores que serão utilizados na simulação já foram calculados anteriormente. Esse módulo retorna a redução de poluentes na atmosfera como CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio) e MP (material particulado). As emissões de CO₂ consideradas são apenas aquelas diretamente da combustão do óleo diesel nos motores. O fator de emissão do material particulado considera a emissão do MP dos pneus, freios, pista e combustão.

O bloco do módulo de preços tem como entradas os preços do diesel, energia elétrica, potência do carregador e tempo de carregamento das baterias. A própria ferramenta disponibiliza estimativas de valores do diesel e energia elétrica, porém serão utilizados aqueles previamente calculados.

O bloco do módulo financeiro diz respeito aos financiamentos para aquisição dos veículos e tem como entradas o custo de capital próprio, custo de financiamentos, percentual financiado, prazo de financiamentos e valor de revenda. No caso será considerado um custo de capital próprio de 12,75% a.a. sendo referente à taxa SELIC em outubro de 2023, esse é um valor de referência para efeitos comparativos do retorno de investimento com a substituição de frota e se deixasse o dinheiro aplicado. É com esse valor referencial que será obtida a TIR. As demais variáveis serão consideradas zero, a simulação será feita como uma compra à vista. Os valores de revenda também são muito imprecisos, então também será desconsiderado.

Para as variáveis de entrada que correspondem ao bloco CAPEX (CAPital EXpenditure), chamado de investimento sendo as despesas de capital para manter ou fazer aquisições

para expandir o escopo das operações de uma empresa, temos o custo de aquisição de cada veículo e também da infraestrutura de recarga. Somando o preço dos chassis e carrocerias conforme as Tabelas II e III, temos o valor de aquisição de R\$663.368,50 para o ônibus a combustão e de R\$2.430.000,00 para o ônibus elétrico com o carregador custando mais R\$180.000,00. Entretanto, o valor do carregador será considerado apenas R\$90.000,00, pois não seria necessário comprar um carregador para cada ônibus.

Para as variáveis de entrada que correspondem ao bloco OPEX (OPERational EXpenditure), chamado de custo ou despesas sendo as despesas operacionais rotineiras de uma empresa, temos os custos de manutenção, rendimento e custo de combustível. Os custos de manutenção e rendimento já foram demonstrados na Tabela II. Os custos de combustíveis, no caso óleo diesel S10 para o veículo a combustão e energia elétrica para o veículo elétrico serão detalhados abaixo.

A empresa em estudo informou que pelo volume de combustível comprado eles pagam um valor abaixo do mercado, tendo pago em média R\$5,5378/l no óleo diesel S10 ao longo de 2022. Em um levantamento feito pelo histórico de preços de revenda de combustível disponíveis pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) verificou-se que ao longo de 2022 o valor médio de revenda do óleo diesel S10 em Minas Gerais foi de R\$6,66/l [18]. Dessa forma podemos estimar que a empresa tem um desconto de aproximado 17% no valor de revenda praticado do óleo diesel S10. Para o período de 01/10/2023 a 07/10/2023 em Minas Gerais, o valor médio da venda do diesel ficou em R\$6,17/l, segundo dados disponíveis na plataforma da Petrobras [19]. Considerando o desconto de 17% temos que a empresa pagaria cerca de R\$5,12/l e esse será o valor adotado no estudo.

O valor total gasto com o óleo diesel S10 para a frota em um mês seria dado pela equação (2).

$$Custo = \frac{Frota \times Preço \times Distância \times 30}{Consumo} \quad (2)$$

Em que Frota é a quantidade de ônibus; Preço é o valor do combustível; Distância é a distância média percorrida por ônibus no mês e Consumo é o consumo médio de combustível por ônibus. Fazendo os cálculos chegamos a um valor gasto com combustível no mês de R\$217.536,88.

Quanto ao custo da energia elétrica a empresa estudada trabalha com geração própria de energia, porém, com o aumento da demanda com ônibus elétrico será estudado o caso de contratação de energia e não o cenário de ampliação da usina fotovoltaica que possuem. Para isso, não serão considerados possíveis gastos com infraestruturas ou mesmo subestação que poderiam inviabilizar o investimento.

Devido a potência demandada, seria necessário a empresa contratar uma modalidade tarifária de média tensão, no caso o subgrupo A4 de 2,3 kV a 25 kV seria o suficiente. Consoante a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), essa é uma modalidade tarifária binômia na qual o

cliente paga pela demanda de potência contratada e também pelo consumo de energia elétrica [20]. Sendo a demanda de potência um valor fixo pago mensalmente, independentemente do uso ou não, e o consumo se paga de acordo com a quantidade de energia consumida. Escolheu-se a modalidade horária verde, na qual o valor de demanda contratada não depende do horário de uso, mas o consumo de energia elétrica, sim, tendo valores diferentes para o consumo no horário de ponta e fora. Caso a demanda utilizada ultrapasse a contratada, paga-se uma tarifa de valor maior. O consumo de energia será considerado no horário fora de ponta, o horário de ponta são 3 horas consecutivas do dia definidas pela concessionária. De acordo com a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), concessionária que atende a cidade em estudo, para o subgrupo A4 na modalidade verde os valores das tarifas antes dos impostos são de R\$19,19/kW para a demanda e R\$0,41368/kWh para o consumo que pode ser encontrado em [21].

Para o cálculo das tarifas de demanda e de consumo com os impostos será utilizada a equação (3), segundo [22]. Os valores de PIS e COFINS foram obtidos pelo valor mais recente obtido na tabela que pode ser encontrada em [23] que são referentes ao mês de maio de 2023. Para o PIS foi aplicada uma taxa de 0,89% e para o COFINS 4,10%. O valor do ICMS foi limitado em 18% segundo a Lei Complementar n.º194 de 2022 [24].

$$Preço\ final = \frac{\frac{Valor\ da\ tarifa}{1-(PIS+COFINS)}}{1-ICMS} \quad (3)$$

Dessa forma, após fazer os cálculos, temos que o valor da tarifa de demanda é R\$22,67/kW e a de consumo é R\$0,52/kWh.

Para o cálculo do custo com energia elétrica em um mês para abastecer a frota, precisamos calcular primeiramente a demanda de potência necessária para os carregadores elétricos. Supondo um carregamento simultâneo dos 28 ônibus com os carregadores de 80 kW, seriam necessários contratar uma demanda de potência de 2240 kW. Mas sabemos que a capacidade da bateria é de 344 kWh, então seriam necessárias cerca de 4h18 para uma carga completa da bateria utilizando apenas 1 carregador, ou 2h09 utilizando 2 carregadores conforme permitido pelo manual. Visto pelo aplicativo dos horários das linhas dos ônibus, observa-se que a maioria fica mais de 8 horas na garagem. Dessa forma, conservadoramente, podemos adotar que os ônibus serão carregados em 2 blocos de 14 ônibus por vez. Assim, precisamos de apenas 14 carregadores, abaixando o custo de compra total dos mesmos e também da demanda contratada. Dessa forma temos que a demanda contratada necessária seria de 1120 kW.

Então, para os gastos com energia elétrica no mês seriam dados pelas equações (4) e (5).

$$Custo\ de\ demanda = Potência \times Tarifa\ da\ demanda \quad (4)$$

$$Custo\ do\ consumo = Potência \times Frota \times Tempo \times Tarifa \times 30 \quad (5)$$

Em que Potência é a potência dos carregadores; Tempo é a quantidade de horas de carregamento para cada ônibus e Tarifa é o valor da tarifa do consumo de energia elétrica.

Para o tempo de recarga da bateria calcularemos com base na média da distância percorrida de cada veículo e consumo média da bateria por quilômetro, dada pela equação (6).

$$Tempo\ de\ recarga = \frac{Distância\ média\ percorrida}{Consumo\ médio\ bateria \times Potência\ Carregador} \quad (6)$$

Fazendo os cálculos chegamos a 2,67 h de tempo de recarga. Utilizando as equações 4 e 5 temos que o custo de demanda é de R\$25.390,40 e de consumo é de R\$93.300,48.

Somando os gastos teríamos um custo total mensal de R\$118.690,88 com energia elétrica. No entanto, a ferramenta de avaliação não possui um campo para o custo da demanda, dessa forma será necessária uma adaptação para embutir o valor que será dado conforme a equação (7).

$$\frac{Demanda}{kWh} = \frac{Custo\ de\ demanda}{Energia\ consumida} \quad (7)$$

Fazendo os cálculos chegamos a R\$0,14/kWh de demanda. Somando esse valor de demanda/kWh encontrado com a tarifa do consumo teremos que o custo por kWh com energia elétrica será de R\$0,66.

Com todas as informações preenchidas, a ferramenta retornará a TIR, o VPL, o *payback* e o TCO para a análise da viabilidade financeira da troca.

c. CENÁRIOS DE ESTUDO

Como os preços dos combustíveis, bem como da energia elétrica sofrem constantes variações, é prudente analisar diferentes cenários de estudos. Dessa forma consideraremos cenários em que há variações de 5%, 10% e 15% para cada tipo de energia isoladamente e em conjunto. Os valores de referências a serem utilizados para cada cenário estão na Tabela IV.

Tabela IV - Cenários estudados considerando variações no combustível e energia

Energia	Diesel	Elétrica
Cenário 1 – Sem aumento	R\$5,12/l	R\$0,66/kWh
Cenário 2 – 5% aumento Diesel	R\$5,38/l	R\$0,66/kWh
Cenário 3 – 5% aumento Elétrica	R\$5,12/l	R\$0,69/kWh
Cenário 4 – 10% aumento Diesel	R\$5,63/l	R\$0,66/kWh
Cenário 5 – 10% aumento Elétrica	R\$5,12/l	R\$0,73/kWh
Cenário 6 – 15% aumento Diesel	R\$5,89/l	R\$0,66/kWh
Cenário 7 – 15% aumento Elétrica	R\$5,12/l	R\$0,76/kWh
Cenário 8 – 5% aumento ambas	R\$5,38/l	R\$0,69/kWh
Cenário 9 – 10% aumento ambas	R\$5,63/l	R\$0,73/kWh
Cenário 10 – 15% aumento ambas	R\$5,89/l	R\$0,76/kWh

d. RETORNO FINANCEIRO COM O MERCADO DO CRÉDITO DE CARBONO

Para o retorno financeiro estimado pegaremos a quantidade da redução do dióxido de carbono que a ferramenta EPE retorna como resultado e calcularemos o valor que poderia ser feito com a venda dos créditos de carbono. Como citado, o Brasil ainda não possui esse mercado regulado. Dessa forma, utilizaremos como base o valor de venda disponível pela plataforma Investing na qual o valor da *commoditie* de 1 crédito de carbono (CFI2Z3) variou de 66,26 € a 98,43 € nas últimas 52 semanas [25]. Utilizaremos o valor médio de 82,34 €, e os valores extremos, com a cotação do euro no presente momento de R\$5,33. Então o valor de venda para um crédito de carbono, que corresponde a uma tonelada de CO₂ será de R\$438,87 para o valor médio e R\$353,17 e R\$524,63 para os extremos.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão mostrados os resultados da viabilidade econômica nos diferentes cenários apresentados, do valor que pode ser obtido com o mercado do crédito de carbono e, por fim, será feita uma análise que mostra a partir de quais valores o investimento se torna viável ou inviável.

a. VIABILIDADE ECONÔMICA

Em primeiro momento serão demonstrados os resultados obtidos no cenário 1 do estudo, aquele no qual a simulação foi realizada com os valores atuais do preço do óleo diesel S10 e da tarifa de energia elétrica. Os parâmetros na ferramenta de avaliação foram preenchidos com valores conforme demonstrados na metodologia. Os indicadores financeiros obtidos com esse cenário são mostrados na Tabela V.

Tabela V - Resultados para o cenário dos custos atuais do combustível e da energia

Cenário	TIR	VPL	Payback	TCO 10 anos
Sem aumento	- 8,66%	- R\$1.229.363	> 10 anos	- R\$1.378.107

Nesse cenário, com os dados apresentados, nota-se que os 4 indicadores financeiros demonstram que o investimento não é viável. A Tabela V demonstra o comparativo referente a 1 ônibus no período de 10 anos de uso, sendo que o modelo considera uma vida útil de 5 anos para o modelo a diesel e 10 anos para o ônibus elétrico.

O primeiro indicador financeiro é a TIR que parametrizamos como referência uma taxa de 12,75% a.a.. Para o investimento ser viável seria necessário que esse indicador fosse igual ou superior a nossa referência, mas na simulação demonstra que com a substituição da tecnologia essa taxa ficaria em - 8,66%.

O segundo indicador financeiro é o VPL que teve como resultado - R\$1.229.363, mas para um investimento ser viável é necessário que esse valor, seja maior do que zero.

O terceiro indicador financeiro é o *payback*, a ferramenta trabalha com a simulação no tempo de 10 anos e vemos que, nesse cenário, o tempo de *payback* é superior a 10 anos tornando o investimento inviável.

O quarto indicador financeiro é o TCO e mostra que ao longo de 10 anos teríamos um gasto de R\$1.378.107 a mais com ônibus elétrico em relação ao de combustão ao somar as despesas de aquisição e operação das tecnologias.

Na Tabela VI são demonstrados os resultados dos indicadores financeiros nos outros cenários considerados. Nas Figuras 5, 6 e 7 são demonstrados os gráficos referentes à Tabela VI para melhor visualização de como os indicadores se comportam com as mudanças dos preços do diesel e eletricidade.

Tabela VI - Resultados dos diferentes cenários estudados

Cenário	TIR	VPL	Payback	TCO 10 anos
Sem aumento	- 8,66%	- R\$1.229.363	> 10 anos	- R\$1.378.107
Aumento de 5% no diesel	- 7,95%	- R\$ 1.203.053	> 10 anos	- R\$1.330.106
Aumento de 5% na eletricidade	- 9,02%	- R\$ 1.242.170	> 10 anos	- R\$1.401.475
Aumento de 10% no diesel	- 7,29%	- R\$ 1.177.756	> 10 anos	- R\$1.283.950
Aumento de 10% na eletricidade	- 9,51%	- R\$ 1.259.247	> 10 anos	- R\$1.432.632
Aumento de 15% no diesel	- 6,63%	- R\$ 1.151.447	> 10 anos	- R\$1.235.949
Aumento de 15% na eletricidade	- 9,88%	- R\$ 1.272.055	> 10 anos	- R\$1.456.000
Aumento de 5% em ambos	- 8,29%	- R\$ 1.215.861	> 10 anos	- R\$1.353.474
Aumento de 10% em ambos	- 8,07%	- R\$ 1.207.641	> 10 anos	- R\$1.338.475
Aumento de 15% em ambos	- 7,72%	- R\$ 1.194.139	> 10 anos	- R\$1.313.842

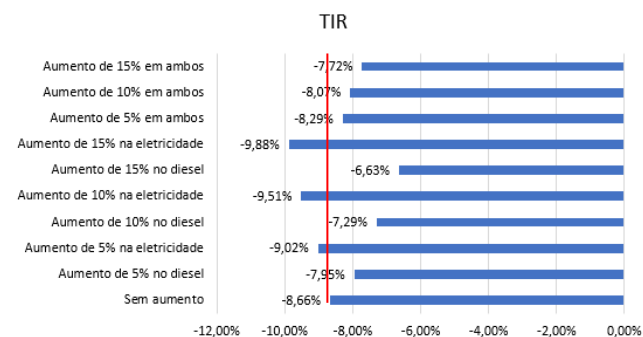


Figura 5 - TIR em diferentes cenários

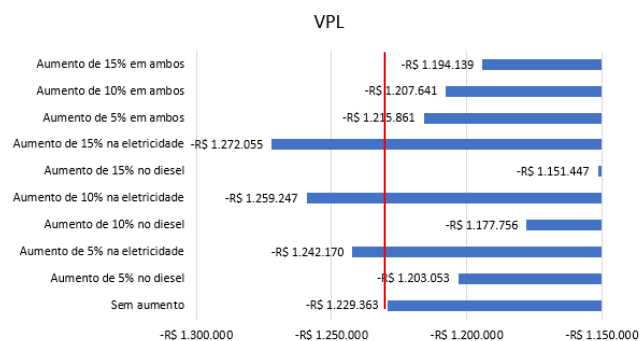


Figura 6 - VPL em diferentes cenários

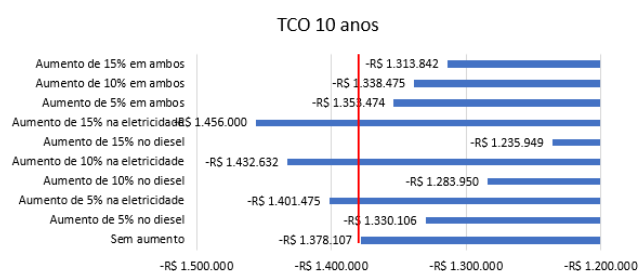


Figura 7 - TCO 10 anos em diferentes cenários

Nota-se que todos os indicadores financeiros demonstram que o investimento é inviável para quaisquer dos cenários analisados. Porém, observa-se que, conforme o preço do diesel aumenta e a energia elétrica permanece o mesmo, o projeto aproxima-se um pouco mais da viabilidade, apesar de ainda ficar longe. Mesmo naquele cenário no qual o diesel e a energia elétrica aumentam com o mesmo fator percentual, percebe-se que o investimento também se aproxima da viabilidade. Somente nos cenários no qual a energia elétrica aumenta mais percentualmente que o diesel, o investimento se afasta ainda mais da viabilidade.

Apesar de não ser mostrado diretamente no gráfico, e não ter sido estudado diretamente os cenários de redução dos valores, pois a tendência natural é de inflação dos preços, o cenário inverso é verdadeiro. Caso o diesel reduza mais ou igual percentualmente em relação à eletricidade, os índices econômicos se afastam da viabilidade. Somente se a energia elétrica reduzir mais percentualmente que o diesel, que o estudo se aproxima da viabilidade.

b. MERCADO DO CRÉDITO DE CARBONO

Além dos resultados dos indicadores financeiros, a plataforma também retorna a diminuição de gases emitidos na atmosfera com a substituição das tecnologias. Na Figura 8 podemos ver esses dados.



Figura 8 - Resultado da redução de poluentes

Os valores demonstrados na Figura 8 correspondem ao total dos 28 ônibus da frota no período de 1 ano. Podemos observar há uma redução de 523 kg de CO, 770 kg de MP e NO_x. Quanto ao CO₂ são deixadas de emitir 1.350,4 toneladas anualmente. Na Tabela VII verifica-se os valores que podem ser injetados com a venda dos créditos de carbono, e quanto esse valor representa em relação ao consumo total de energia elétrica para operar os ônibus.

Tabela VII - Valores injetados no caixa com a venda dos créditos de carbono

Valor crédito de carbono	Valor anual	Valor mensal	Percentual referente ao gasto com eletricidade
R\$353,17	R\$476.920,77	R\$39.743,40	33,5%
R\$438,87	R\$592.650,05	R\$49.387,50	41,6%
R\$524,63	R\$708.460,35	R\$59.038,36	49,7%

c. VALORES PARA VIABILIZAR O PROJETO

Como em todos os cenários analisados o investimento demonstrou-se inviável, algumas simulações foram realizadas para encontrar quais valores determinadas variáveis têm que atingir para que o projeto se torne viável. As variáveis alteradas para testes foram aquelas referentes aos preços das energias, diesel e eletricidade, e referentes ao preço de aquisição dos veículos, à combustão e elétrico. Os demais parâmetros foram mantidos. Ainda se ressalta que somente uma variável foi alterada por vez, mantendo todas as outras com os valores de base sendo R\$5,12/l o preço do diesel, R\$0,66/kWh o preço da energia elétrica, R\$663.368,50 o custo de aquisição do ônibus a combustão e R\$2.430.000,00 para o ônibus elétrico. Além disso, foi simulado um ponto de equilíbrio alterando as quatro variáveis com o mesmo valor percentual. Os valores obtidos para o projeto ser minimamente viável e os indicadores financeiros respectivos se encontram na Tabela VIII.

Tabela VIII - Resultados para que o investimento se torne viável de acordo com cada indicador financeiro

	TIR	VPL	Payback	TCO 10 anos
Diesel a R\$17,27/l	12,75%	R\$86,00	9 anos	R\$865.046
Preço da energia a R\$0,00/kWh	- 2,12%	- R\$947.592	> 10 anos	R\$864.012

Aquisição do ônibus a combustão por R\$1.465.000	12,93%	R\$8.235	9 anos	- R\$580.448
Aquisição do ônibus elétrica por R\$1.194.062	12,92%	R\$4.502	9 anos	- R\$144.243
Ponto de equilíbrio	13,99%	R\$46.394	8 anos	-R9.989

Com o diesel a R\$17,27/l, representando um aumento de 237%, teríamos todos os indicadores financeiros demonstrando a viabilidade de substituir as tecnologias. Para esclarecimento, esse seria o valor pago com o desconto calculado de 17%, o preço de revenda do diesel teria de atingir R\$20,81/l. Caso a tarifa de energia elétrica fosse gratuita, ainda teríamos um cenário inviável como podemos observar pelos indicadores da TIR, VPL e *Payback*. Nesse caso podemos entender que mesmo com geração própria de energia elétrica o investimento ainda não valeria a pena, isso sem contar os demais custos que teriam com o projeto de instalar a geração própria e também as tarifas mínimas mensais que devem ser pagas mesmo após a implementação da autogeração de energia elétrica.

Caso o ônibus a combustão atinja o patamar do valor de R\$1.465.000, representando um aumento de 121%, o projeto se tornaria viável, como visto em 3 dos 4 indicadores financeiros. Por outro lado, caso o ônibus elétrico tenha uma queda no valor e chegue a R\$1.194.062, representando uma queda de 51% do valor, o projeto também se tornaria viável nos mesmos 3 indicadores financeiros. O TCO em 10 anos pode ser desconsiderado se analisarmos que o valor de um ano do crédito de carbono supriria essa diferença de valores.

Para o ponto de equilíbrio elevou-se em 29% o preço do diesel e do ônibus a combustão chegando a R\$6,66/l (com desconto de 17%) e R\$862.417, respectivamente. E reduziu-se em 29% o preço da eletricidade e do ônibus elétrico, chegando a R\$0,46/kWh e R\$1.698.961, respectivamente.

Um cálculo que podemos fazer é de qual o valor cada ônibus elétrico geraria em 10 anos com o mercado do crédito de carbono e, na sequência, embutir esse valor como um abatimento no valor da aquisição do ônibus elétrico. Aqui será feito um cálculo raso pelo fato desse valor ser gerado ao longo de 10 anos e a simulação ser feita com a compra à vista. Dado o valor anual de R\$592.650,05 gerado com o mercado do crédito de carbono, considerando o valor médio, somando os 28 veículos da frota, então temos que cada veículo geraria anualmente R\$21.166,07. Ao longo dos 10 anos, que é o período de estudos, cada ônibus geraria R\$211.660,73.

Então, se o valor máximo viável de aquisição do ônibus elétrico calculado foi de R\$1.194.062 ainda podemos adicionar esse valor gerado com eles pelo crédito de carbono ao longo de 10 anos, o que elevaria para um valor máximo viável de R\$1.405.722, valor esse que representa uma queda de 42% no valor de aquisição do ônibus elétrico para que se

torne viável o investimento. Fazendo o mesmo cálculo para os valores extremos do mercado do crédito de carbono, temos que também seria viável se o ônibus elétrico chegasse a R\$1.364.391 (queda de 44%) para o valor mínimo e R\$1.447.083 (queda de 40%) para o valor máximo.

IV. CONCLUSÃO

O mercado de veículos elétricos se faz cada vez mais presente e necessário ao redor do mundo devido aos gases de efeito estufa que os veículos a combustão emitem. Apesar de no Brasil esse mercado ainda estar nos seus passos iniciais, ter visto durante meu intercâmbio na Europa que os veículos elétricos já é uma realidade consolidada me fez despertar a curiosidade de ter realizado esse estudo.

No presente estudo verificou-se que a implementação dos ônibus elétricos ainda não é viável na cidade em estudo. Porém, podemos verificar que são muitas as variáveis que compõe o resultado. Então, as variações de preços em diversos fatores podem fazer com que em breve seja viável a substituição das tecnologias. O preço das baterias tem caído ano a ano, valor esse que corresponde a um grande percentual dos veículos elétricos. A demanda tem aumentado, o que pode fazer com que uma produção em série mais volumosa também faça o preço dos elétricos reduzirem. Além disso, temos que, historicamente, o preço da tarifa de energia elétrica tem mais estabilidade comparado com o preço do diesel. Também tem o fator que com a aquisição de uma quantidade maior de veículos a empresa pode obter um preço melhor de compra dos veículos, a empresa estudada faz parte de um grande grupo então essa é uma possibilidade a ser analisada.

Além disso, no momento, ainda há poucos dados sobre o desempenho do ônibus elétricos que operam no Brasil, o que poderia dar uma precisão melhor sobre a autonomia, desempenho e custos de manutenção desses veículos. Ainda assim, o ideal é considerar uma cidade de relevo e população semelhante à da cidade em estudo para ter uma correlação melhor dos dados, assim como feito para o ônibus a combustão nesse trabalho que foram utilizados dados do consumo médio real da cidade em estudo.

Por fim, apesar de não ser viável no momento, é um investimento que tem que acompanhar ano a ano a evolução, pois, mais cedo ou mais tarde, essa transição energética terá que ocorrer para que as agendas de compromissos ambientais sejam cumpridas. Com isso poderão surgir incentivos fiscais para a aquisição de ônibus elétricos, o mercado do crédito de carbono no Brasil tende a ser regulamentado nos próximos anos e os preços das tecnologias estão em constantes mudanças.

Deixo como sugestão de trabalhos futuros a coleta de dados do consumo médio e preço de manutenção de ônibus elétricos que operam no Brasil há pelo menos 12 meses, uma análise histórica e projeção futura dos preços da energia elétrica e diesel, o mesmo estudo de análise do histórico de preço e projeção para a aquisição de ônibus elétricos e a

combustão. Com tudo isso, seria possível traçar uma projeção, considerando todas variáveis simultaneamente, para a partir de qual ano começará a se tornar viável a substituição da frota.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] CEBDS, “O que é o Acordo de Paris?,” 05 dezembro 2019. [Online]. Available: <https://cebds.org/noticia/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.ZGxtJnbMLDc>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [2] Empresa de Pesquisa Energética, “BEN Relatório Síntese 2022,” 2022. [Online]. Available: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [3] ESTADÃO CONTEÚDO, “Revolução dos ônibus elétricos chega à Europa,” 02 setembro 2018. [Online]. Available: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/09/revolucao-dos-onibus-eletricos-chega-europa.html>. [Acesso em 23 novembro 2023].
- [4] A. Martins, ““Eletromobilidade é um caminho sem volta e agora mercado nacional vem com força”, diz presidente da Eletra,” NetZero, 20 junho 2023. [Online]. Available: <https://netzero.projetodraft.com/eletromobilidade-e-um-caminho-sem-volta-e-o-mercado-nacional-agora-vem-com-forca-diz-presidente-da-eletra/>. [Acesso em 23 novembro 2023].
- [5] M. Brito, “Vendidos por quase R\$ 2 milhões, ônibus elétricos buscam formas de amenizar custo para abrir caminho no Brasil,” 14 fevereiro 2022. [Online]. Available: <https://umsoplaneta.globo.com/energia/noticia/2022/02/14/vendidos-por-quase-r-2-milhoes-onibus-eletricos-buscam-formas-de-amenizar-custo-para-abrir-caminho-no-brasil.ghtml>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [6] BloombergNEF, “Battery Pack Prices Fall to an Average of \$132/kWh, But Rising Commodity Prices Start to Bite,” 30 novembro 2021. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [7] E. Siqueira, G. Petzhold e C. Albuquerque, “Mercado indica aumento na oferta de ônibus elétricos para atender transição de frota no Brasil,” 18 dezembro 2020. [Online]. Available: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/mercado-indica-aumento-na-oferta-de-onibus-eletricos-para-atender-transicao-de-frota-no>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [8] AMCHAM, “MERCADO DE CARBONO: O QUE É, COMO FUNCIONA E QUAL O CONTEXTO DO BRASIL?,” 01 agosto 2023. [Online]. Available: <https://www.amcham.com.br/noticias/sustentabilidade/mercado-de-carbono-o-que-e-como-funciona-e-qual-o-contexto-do-brasil>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [9] E-Investidor, “Mercado de carbono: como funciona e qual a sua importância,” 12 novembro 2022. [Online]. Available: <https://einvestidor.estadao.com.br/educacao-financeira/mercado-de-carbono-como-funciona/>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [10] IBGE, “<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?ano=2022&tipo=grafico>,” 2022. [Online]. Available: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?ano=2022&tipo=grafico>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [11] Empresa de Pesquisa Energética, “BEN Interativo,” 2022. [Online]. Available: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [12] Estadão Summit Mobilidade, “Quais cidades já têm ônibus elétricos no Brasil?,” 18 maio 2020. [Online]. Available: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/quais-cidades-ja-tem-onibus-eletricos-no-brasil/>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [13] C. Araujo, A. B. Rebouças e A. Cieplinski, “Benefícios da entrada exclusiva de ônibus,” novembro 2022. [Online]. Available: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/11/Beneficios-ZEBRA-A4-v3.pdf>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [14] J. Cesar, “Brasil já tem capacidade de produção de ônibus elétricos para a transição,” 03 novembro 2022. [Online]. Available: <https://insideeuv.uol.com.br/news/619950/brasil-producao-onibus-eletricos/>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [15] Empresa de Pesquisa Energética, “Ferramenta de Avaliação Técnico-Econômica para ônibus,” outubro 2023. [Online]. Available: https://dashboard.epe.gov.br/apps/simulador_onibus/Onibusv3/. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [16] Y. D. d. Fonseca e A. L. Bruni, “TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA,” 2003.
- [17] Empresa de Pesquisa Energética, “AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE ÔNIBUS ELÉTRICO NO BRASIL,” setembro 2020. [Online]. Available: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-480/topico-527/NT%20SEE-SDB%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnico-Econ%C3%B4mica%20de%20C%C3%94nibus%20El%C3%A9trico%20no%20Brasil.pdf>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [18] Agência Nacional do Petróleo, “Preços de combustíveis, derivados de petróleo e diesel,” 06 outubro 2023. [Online]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiMGM0NDhhMTUtMjQwZi00N2RlTk1M2UtYjYkZTlkNm1YzE5fiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTUyNGI0Mi1iN2VmLTUyNGFmY2FkYzkyMjYj9j>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [19] PETROBRAS, “Como são formados os Preços,” outubro 2023. [Online]. Available: <https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/diesel/mg>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [20] Agência Nacional de Energia Elétrica, “Modalidades Tarifárias,” 11 março 2022. [Online]. Available: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [21] CEMIG, “VALORES DE TARIFAS E SERVIÇOS,” 2023. [Online]. Available: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [22] EDP, “Como o valor do total a pagar na conta de luz é calculado?,” 2023. [Online]. Available: [https://www.edp.com.br/icms-pis-e-cofins/#:~:text=O%20PIS%20e%20a%20COFINS,%20C00%25%20\(COFINS\)..](https://www.edp.com.br/icms-pis-e-cofins/#:~:text=O%20PIS%20e%20a%20COFINS,%20C00%25%20(COFINS)..) [Acesso em 25 outubro 2023].
- [23] CEMIG, “Tarifas de Fornecimento,” 2023. [Online]. Available: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/02/PASEP_COFINS_Internet.xls. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [24] Ministério de Minas e Energia, “MME publica o impacto potencial da redução dos tributos nas futuras dos consumidores de energia elétrica,” 12 julho 2022. [Online]. Available: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-publica-o-impacto-potencial-da-reducao-dos-tributos-nas-faturas-dos-consumidores-de-energia-eletrica#:~:text=Essa%20medida%20estabeleceu%20um%20teto,depende%20de%20regulamenta%C3%A7%C3%A3o%20pelos%20estad>. [Acesso em 25 outubro 2023].
- [25] Investing, “Crédito Carbono Futuros - Dez 23 (CFI2Z3),” outubro 2023. [Online]. Available: <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>. [Acesso em 25 outubro 2023].