

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

ICARO HISSAO ROCHA MANDAI

**POTENCIAL SOCIOAMBIENTAL DO CONVERSOR DE TORQUE (CAIXA DE
MARCHAS) NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

POÇOS DE CALDAS - MG

2024

ICARO HISSAO ROCHA MANDAI

**POTENCIAL SOCIOAMBIENTAL DO CONVERSOR DE TORQUE (CAIXA DE
MARCHAS) NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela, pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Juliano Pamplona da Silva

POÇOS DE CALDAS - MG

2024

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Mandai, Ícaro Hissao Rocha .

Potencial socioambiental do conversor de torque (caixa de marchas) na eficiência energética de veículos elétricos. /

Ícaro Hissao Rocha Mandai. - Poços de Caldas, MG, 2024.

47 f. : il. -

Orientador(a): Daniel Juliano Pamplona da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) -

Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2024.

Bibliografia.

1. E-bike . 2. Carro elétrico; câmbio de marchas. 3. Sustentabilidade de veículos elétricos. 4. Eficiência energética. 5. Escalonamento de marchas; conversor de torque. I. da Silva, Daniel Juliano Pamplona, orient. II. Título.

ICARO HISSAO ROCHA MANDAI

**POTENCIAL SOCIOAMBIENTAL DO CONVERSOR DE TORQUE (CAIXA DE MARCHAS) NA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Recursos Hídricos e meio Ambiente.

Aprovada em: 25 de junho de 2024

Prof. Dr. Daniel Juliano Pamplona da Silva
Presidente da Banca Examinadora
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Fabiano Costa Teixeira
Instituição: PUC Minas

Prof. Dr. Raul Torres Bernardo
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Juliano Pamplona da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 25/06/2024, às 21:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1271699** e o código CRC **94D7DE2A**.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio e incentivo.

Ao Orientador Prof.º Dr.º Daniel Juliano Pamplona da Silva pela parceria e apoio ao longo de todo estudo.

À minha companheira Dr.ª Leticia Oliveira Laier pelo apoio durante todos os desafios deste percurso.

Aos professores e técnicos administrativos integrantes do Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia Ambiental (PPGCEA).

Aos colegas de classe pelo companheirismo e ajuda mútua que tornaram essa trajetória mais enriquecedora.

À Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), por fornecer o ambiente e os recursos necessários para a realização deste trabalho.

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

RESUMO

A indústria automotiva global, busca continuamente atender às normas de emissões de gases poluentes, por meio de tecnologias de diversas engenharias na busca da eficiência energética. Diversas montadoras estão se direcionando à eletrificação da propulsão motriz, 100% elétrica ou combinada, como os modelos híbridos que possuem os 2 tipos de propulsão, por motor elétrico (ME) e motor de combustão interna (MCI). Neste sentido da eficiência energética, este trabalho está dedicado à propulsão elétrica e objetiva o estudo no consumo de carga da bateria que equipa um triciclo elétrico adaptado, confeccionado para levantamento de dados. A motivação parte do fato dos veículos elétricos (VE) não possuírem em grande parte caixa de marchas, pois adotam transmissões mais enxutas com escalonamento de engrenagens semelhante à relação direta 1:1. Com isto foi levantado o questionamento: Se a inclusão de uma caixa de marchas afetaria a eficiência do VE. Contudo, a ideia de interpor um câmbio em um VE de fábrica para mensurar sua eficiência é incabível, mas a confecção de um triciclo elétrico sim. Fatores como facilidade de adaptações, oferta de peças, e os componentes disponíveis na esfera de bicicletas elétricas, viabilizaram a montagem do protótipo para dar início aos primeiros testes. Deu-se início aos testes com escalonamento de marchas de bicicletas, que alteram o compromisso de torque e velocidade na roda, que são inversamente proporcionais, ou seja, na multiplicação da relação de transmissão (RT) prioriza-se a velocidade de giro da roda de tração, mas sacrifica-se o torque. Na desmultiplicação sacrifica-se a velocidade para ganho de torque. O mesmo princípio das marchas de um automóvel. Os termos (multiplicada) e (desmultiplicada) vão se referir a este fenômeno ao longo deste trabalho. Em seguida foi avaliado o comportamento do consumo da bateria com a variação do compromisso de torque e velocidade por meio de um câmbio de marchas originalmente utilizado em bicicletas. A partir destas implementações foi dado início ao planejamento da confecção do triciclo, tipos de testes, consultas na literatura técnica e buscas bibliográficas que fundamentam o objeto deste estudo: Aumento da eficiência do conjunto eletromecânico do triciclo.

Palavras-chave: e-bike; carro elétrico; câmbio de marchas; escalonamento de marchas; conversor de torque; eficiência energética; sustentabilidade de veículos elétricos.

ABSTRACT

The global automotive industry continuously seeks to meet emissions standards for pollutants through various engineering technologies aimed at energy efficiency. Several manufacturers are moving towards the electrification of propulsion, either fully electric or combined, as in hybrid models that feature both types of propulsion: electric motors (EM) and internal combustion engines (ICE). In this context of energy efficiency, this study is dedicated to electric propulsion and aims to investigate the battery consumption of a custom-adapted electric tricycle designed for data collection. The motivation stems from the fact that most electric vehicles (EVs) do not have a gearbox, as they adopt simpler transmissions with gear ratios similar to a direct 1:1 ratio. This raises the question: Would the inclusion of a gearbox affect the efficiency of an EV? While the idea of installing a gearbox in a factory-made EV to measure its efficiency is impractical, constructing an electric tricycle is feasible due to the ease of adaptations, availability of parts, and components from the realm of electric bikes. This facilitated the assembly of a prototype to begin initial tests. Tests began with bicycle gear scaling, which alters the balance between torque and wheel speed, which are inversely proportional. In other words, in gear ratio multiplication (GRM), the rotational speed of the drive wheel is prioritized, but torque is sacrificed. In gear ratio demultiplication, speed is sacrificed to gain torque. The same principle applies to the gears of an automobile. The terms (multiplied) and (demultiplied) will refer to this phenomenon throughout this study. Subsequently, the behavior of battery consumption with varying torque and speed balances was evaluated using a gear system originally used in bicycles. From this implementations the planning of the tricycle construction, types of tests, consultations in technical literature, and bibliographic searches that support the object of this study began: Increasing the efficiency of the electromechanical set of the tricycle.

Keywords: e-bike; electric car; gearbox; gear ratio; torque converter; energy efficiency; electric vehicle sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	SURGIMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	11
3.1.1	História dos veículos elétricos no Brasil	11
3.2	PORQUE VEÍCULOS ELÉTRICOS NÃO TEM MARCHA	12
3.3	CONTRIBUIÇÃO DO CONVERSOR DE TORQUE PARA UM MOTOR ELÉTRICO	14
3.4	PROCESSO DE RECICLAGEM DAS BATERIAS ÍON-LÍTIO	16
3.4.1	Importância da reciclagem	16
3.4.2	Políticas de reciclagem de baterias íon-lítio	17
3.4.3	Tecnologias de reciclagem	18
3.5	TENDÊNCIAS DE APLICABILIDADE DAS BATERIAS ÍON- LÍTIO	22
4	METODOLOGIA	24
4.1	TRICICLO PARA PROTÓTIPO	24
4.2	ADAPTAÇÕES: SISTEMA DE TRANSMISSÃO	24
4.3	BATERIA	28
4.4	REUSO DAS CÉLULAS	30
4.5	CARREGAMENTO	32
4.6	INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	33
4.7	ATIVIDADES REALIZADAS: PERCURSO DE TESTES	34
5	RESULTADOS OBTIDOS	36
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICES	47

1 INTRODUÇÃO

O modelo de transporte com baixa emissão de gases de efeito estufa está sendo adotado pelos adeptos de um futuro mais sustentável, de melhor qualidade de vida e bem-estar socioeconômico para a promoção de energias limpas e eficientes. Em 2020, já não era raro encontrar um veículo elétrico em circulação, com a crescente oferta de modelos e marcas, os preços tornaram-se mais competitivos promovendo o acesso de aquisição de veículos elétricos (VE) ou do inglês *electric vehicles* (EV) para a mobilidade urbana (Ridelensky *et al.*, 2020). De acordo com a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE, 2024), os emplacamentos de VE em 2023 foram de 93.927 unidades, superando todos os anos anteriores da série histórica. Com a atual predominância dos VE e o contínuo avanço tecnológico, cujos benefícios estão sendo atualmente explorados no âmbito da propulsão elétrica, é notável a persistência dos desafios associados à eficiência energética. Tais desafios se alinham em prol da melhoria contínua, da viabilidade de uso, da sustentabilidade e do cumprimento das normas de emissões, como as estabelecidas pelas Resoluções CONAMA nº 90/1990 e nº491/2018, que regulam os limites de emissões de poluentes atmosféricos (Taylor, 2008). Neste sentido, este trabalho visa contribuir para a eficiência energética dos VE mensurando o consumo de bateria do triciclo confeccionado para o projeto.

Um fator limitante dos VE está nas baterias e na tecnologia delas, pois a capacidade de armazenamento de carga elétrica de uma bateria 100% carregada ainda proporciona uma autonomia em km relativamente inferior comparado ao que um automóvel de mesma categoria percorre com 1 tanque cheio de combustível líquido. Somando-se a isto os escassos pontos de recarga e tempo de carregamento são fatores ainda desfavoráveis do VE, comparado ao veículo a combustão, que pode inviabilizar seu uso para grandes deslocamentos. Dentro da esfera da eficiência energética, a baixa autonomia característica dos VE, este estudo visa ampliar a distância percorrida para cada carregamento da bateria por meio do recurso de marchas adicionadas usando um triciclo.

Comumente, os VE disponíveis à venda no mercado, voltados para o uso urbano, não possuem caixa de marchas como nos veículos convencionais movidos a gasolina, e assim mesmo, proporcionam desempenho satisfatório nas diversas situações de trânsito. A principal razão pela qual é dispensado o uso de caixa de marchas num VE está na entrega de torque imediata às rodas pelo primeiro momento de força de rotação do eixo do motor elétrico (ME), sem a necessidade de movimento rotativo prévio como nos motores a combustão (Ribeiro, 2021). Logo, enquanto os motores de combustão interna (MCI) dependem de uma caixa de

marchas, embreagem, e rotação prévia do motor para o deslocamento de toda massa do conjunto, nos VE, são dispensados, com ganhos para um processo produtivo mais enxuto para as marcas, refletindo no preço final do produto. Embora o EV seja beneficiado com torque nestas características, que garante a solicitação no pedal de aceleração em diversas demandas de deslocamento (arrancadas em semáforos, aclives e acelerações), a ausência do câmbio é cobrada em maior corrente elétrica. Para o ME, para tirar da inércia toda a massa do triciclo, são percebidos picos de corrente elétrica da bateria no medidor de corrente elétrica instantâneo, momentos críticos que afetam diretamente na autonomia para cada carga da bateria.

Logo, uma otimização na autonomia de 1 carga, contribuirá para menos ciclos de carregamento em toda vida útil da bateria, o que pode tornar a vida desta bateria mais longa, trazendo ganhos econômicos e ambientais.

2 OBJETIVOS

O intuito deste trabalho foi transformar um veículo (triciclo) a pedal sem marchas em um triciclo elétrico com câmbio, para medir a diferença de consumo em percursos fixos entre cada uma das marchas. Objetivou-se comparar o comportamento das marchas multiplicadas e desmultiplicadas com a marcha única (1:1), que este veículo teria se fosse montado com o tradicional motor de cubo de bicicletas elétricas.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estudar e avaliar a eficiência energética com a interposição de um câmbio de marchas convencional de bicicletas na transmissão do movimento motor/roda, de modo a alterar a relação direta e enxuta próxima de 1:1 inclinando a relação tanto para o modo reduzido (rotação do eixo da roda < rotação do eixo do motor), quanto para o multiplicado (rotação do eixo da roda > rotação do eixo do motor). No total, serão 7 marchas com catracas motora e movida conectadas por corrente de roletes comum de bicicletas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o cumprimento do objetivo geral proposto na seção anterior, os objetivos específicos deste estudo incluem:

- a) registrar o consumo do ME em (Wh) e a corrente consumida em Ampére (A) das baterias em relação à distância percorrida num circuito de pista controlado;
- b) analisar os dados coletados para identificar ganhos ou perdas de eficiência energética com o uso do câmbio de marchas;
- c) avaliar as alterações positivas na autonomia para cada carga de bateria, especialmente em comparação com o modo de transmissão enxuta de 1 marcha descrito acima.

3 CONTEXTO HISTÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SURGIMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os primeiros protótipos de VE surgiram na Europa e Estados Unidos da América no século XIX por volta de 1835, que antecedem até mesmo os motores a gasolina. Em 1884 tem início na produção de VE em Londres com os avanços tecnológicos das baterias, e na Alemanha, o primeiro carro elétrico chegou em 1888. Andreas Flocken adaptou uma pequena carruagem de 2 lugares, conhecida à época de *Doktorwagen*, em um veículo elétrico mostrado na (Figura 1) (Kumar; Alexander, 2021). Entre 1890 e 1910 os VE protagonizaram o transporte, mas foram perdendo espaço para os avanços tecnológicos dos MCI e aumento da capacidade produtiva da Ford, que superou as desvantagens dos VE: baixa autonomia e demanda de tempo para recarregar as baterias (Auto Destaque, 2023; Kumar; Alexander, 2021).

Figura 1 – Veículo Elétrico de Flocken



Fonte: Kumar; Alexander (2021, p. 17).

3.1.1 História do Veículo Elétrico no Brasil

O primeiro EV protótipo da América Latina, foi o Itaipu Elétrico E-150, apresentado em 1974 no Salão do Automóvel pela GURGEL S.A, (Figura 2) marcando o primeiro passo de sustentabilidade automotiva no Brasil, principalmente pelo contexto da época com os embargos da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) que ocasionaram crises de fornecimentos de combustíveis em nível global (Cerqueira; Silva, 2017).

Figura 2 – Itaipu – 150 Salão do Automóvel 1974



Fonte: Adaptado de Schleumer (1975).

Em 1981 a Gurgel Motores S/A dispõe o primeiro VE com produção em série, o Gurgel E400. Um utilitário elétrico com capacidade de carga útil de 400kg que utilizava a base estrutural da Volkswagen (VW) Kombi, propelido por um ME Villares de 11cv acoplado a um câmbio de 4 marchas que será discutido adiante (Bitu, 2021).

O E400 foi reservado inicialmente à apenas algumas empresas privadas e estatais, que permitiria à Gurgel coletar várias informações relativos ao uso como consumo e desgaste, e em seguida abrir ao mercado comum (Carsughi, 1981). Porém, a baixa autonomia (80km) e longo período de recarga (até 10 horas dependendo do quanto descarregou a bateria) lhe causaram baixa aceitação de mercado. Isto, juntamente com a ascensão do Proálcool como alternativa a gasolina, esmaeceu o interesse pelos VEs. (Borba, 2012). Em 1982 encerra-se a produção do modelo com 76 unidades (Bitu, 2021).

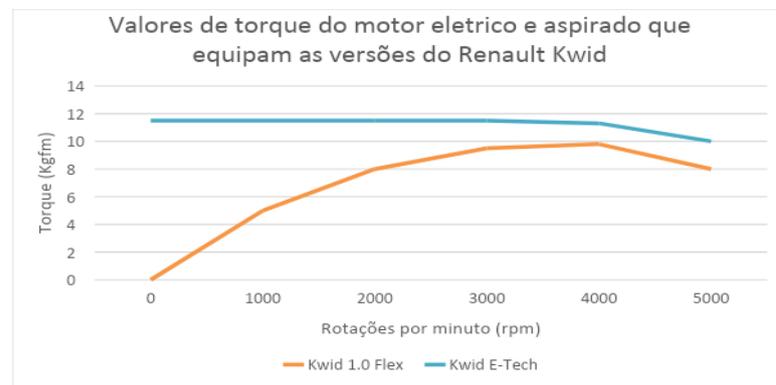
3.2 PORQUE VEÍCULOS ELÉTRICOS NÃO TEM MARCHAS

Os VE de passeio de 2, 3 ou 4 rodas em sua grande maioria não possuem caixa de marchas, isto porque o ME está acoplado diretamente à roda de tração como monociclos, bicicletas e motos, ou estão anexos ao monobloco, engrenados por uma redução única que levam a tração as rodas por semi-eixos, como nos carros compactos ou alguns triciclos. O não uso de câmbio de marchas na maioria dos VE é possível graças ao torque máximo do ME estar praticamente todo disponível a partir do início de sua rotação, permanecendo por uma ampla faixa de rotação até atingir a velocidade máxima, dispensando então um sistema de engrenagens

para variação de velocidade (Ribeiro, 2021). Um ME pode ter uma variação útil de rotação de 0 a 18.000rpm (rotações por minuto), enquanto um MCI em média possui útil de 1000 a 5000rpm, com o torque que varia conforme o regime de rotação (Luzzi, 2022). Esta característica de fornecer todo o torque a zero rpm do ME é costumeiramente chamada de torque instantâneo pela comunidade entusiasta de veículos automotores.

Nos veículos com MCI, é necessário a caixa de marchas para administrar as variações de torque que cada faixa de rotação entrega e aplicá-la conforme a demanda de trabalho, seja pelo controle do pedal de embreagem ou por câmbios automáticos com assistência eletrônica. Os MCI possuem características diversas quanto a disposição de torque e rotação que melhor atende a proposta do veículo, bem como as características do câmbio que melhor combina com determinado MCI, objetivando utilizar todo potencial mecânico no uso prático da máquina (Maran, 2013). A título de exemplo, na Figura 3 estas duas características de torque entre o ME e MCI de aspiração natural por pressão atmosférica, apresentam em perspectiva o comportamento do torque disponível em função da rotação de cada motor, que equipam um mesmo modelo de carro, a saber, o Renault Kwid E-Tech que usa propulsão elétrica e o Kwid que usa um MCI de 3 cilindros que somam 1.0 litros (Renault, 2023). Os dados são do próprio fabricante Renault.

Figura 3 – Características de torque do ME e MCI das versões do modelo Renault Kwid 1.0 Flex e elétrico



Fonte: do autor.

Segundo o fabricante, o modelo elétrico, possui 65 cv a 4000 rpm com torque máximo de 11,5 kgfm disponíveis em ampla faixa de rotação, para o deslocamento dos 977 kg que resultam numa relação peso/potência e peso/torque próximas ao modelo com MCI: 15 kg/cv e 85 kg/kgfm respectivamente, permitindo o modelo atingir até 130km/h com uma única marcha. O fabricante, não disponibiliza os dados da relação de transmissão (RT) desta marcha única,

mas considerando que estes mesmos 130km/h sejam alcançados na potência máxima em 4000rpm do ME e, a distância percorrida em 360° do conjunto roda/pneu do carro (com medidas conhecidas), de forma indireta, estima-se que o Kwid elétrico possua apenas relação final de diferencial como marcha única próxima de 3,5:1 desmultiplicada. Isto é, para cada volta dada na roda de tração o eixo de movimento do ME forneceram 3,5 voltas. Este mesmo VE na configuração de 1 marcha obtém consumo médio urbano de 9,5 km/KWh (Rodriguez, 2024). É possível que a inclusão de um conversor de torque neste modelo, e outros VE semelhantes, aumente a distância percorrida por unidade de energia em favor da sustentabilidade. Tal estratégia de variação de torque nos VE é conhecida com este propósito de redução de consumo (Kitayama *et al.*, 2015).

3.3 CONTRIBUIÇÃO DO CONVERSOR DE TORQUE PARA UM MOTOR ELÉTRICO

Com a ciência destes dados técnicos, de um VE atual exemplificado como o Kwid E-Tech, voltamos, como prometido, ao arcaico modelo GURGEL E400 de 1981 equipado com câmbio de 4 marchas. É possível comparar e entender a importância contributiva de um conversor de torque, para um VE, cruzando os dados técnicos de ambos, o Gurgel que possui um conversor, e o Kwid que não possui.

O E-400 foi equipado com um ME escovado de 10 kW, com modestos 11 cv de potência máxima e 9,7 kgfm de torque aos 3000 rpm, para o deslocamento dos 1576 kg do modelo. Estes atributos que resultavam numa relação peso/potência e peso/torque bem elevados: 121 kg/cv e 162 kg/kgfm respectivamente, isto sem considerar os 400 kg de carga útil. O consumo médio divulgado pelos testes foi de 0,4 kWh/km, equivalente a 2,5 km/kWh, considerado interessante para o contexto da época (Carsughi, 1981). Portanto se o E-400 fosse concebido na configuração enxuta de relação única, ou seja, sem opções desmultiplicadas de marchas, seria difícil imaginá-lo prático no deslocamento de quase 2 toneladas se considerarmos os 400 kg de carga. O ME de concepção antiga, produzido pela Villares, que também equipava empilhadeiras elétricas era subdimensionado para 2 toneladas, mas acoplado ao câmbio VW de 4 marchas, tornava o E-400 minimamente suficiente para uso prático urbano, desconsiderando os pontos fracos de baixa autonomia e alto tempo de recarga (Auto Destaque, 2023).

Atualmente, existe a tendência dos motores de MCI elevar a potência específica, isto é, a manutenção do torque e potência com a diminuição da capacidade volumétrica de um MCI, *Downsizing*, na busca constante da eficiência energética (Taylor, 2008; Silva, 2019). Com inspiração neste conceito, aplica-lo aos ME que equipam veículos de propostas mais inclinadas

ao uso urbano, seria passível de estudos. Um conjunto mais leve de ME e bateria menores (mesmo que menos potentes) acoplados à um conversor de torque, com a manutenção da autonomia, na busca pelo menor consumo e tempo de recarga. Algumas marcas do segmento de luxo elétrico, como exemplos a Tesla e a Porsche, exploram a conversão de torque, mas são exceções. Então, porque não trazer o mesmo conceito para os EVs compacto de passeio? João Gurgel, fundador da GURGEL S.A, há mais de 40 anos implementava para os elétricos um “downsizing acidental”, talvez pelas poucas opções a sua época, se não a única, de anexar um simplório ME de corrente contínua de meros 13 cv à caixa de marchas, e tornar possível movimentar 1976 kg de peso bruto do E-400. O consumo de 2,5 km/kWh do E-400 é elevado se comparado aos 9,5km/kWh do Kwid E-Tech, mas não seria justo, dado que um é utilitário de cargas e outro compacto leve de passeio. Para a data deste trabalho, considerando o preço médio de R\$ 0,90/KWh o E-400 teria um custo por km rodado de R\$ 0,36, com carregamento podendo ser de origem sustentável.

A título de comparação no quesito custo/km rodado, um utilitário moderno, com nota A do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), de peso, e capacidade de carga parecida, possui consumo de R\$0,57/km usando energia fóssil. Trata-se do Fiat Toro Freedom ano 2019, 4x2, cambio AT 6 marchas, com motorização 1.8 Flex: Peso de 1619 kg e consumo urbano na gasolina de 9,5 km/l, conforme INMETRO (2019), adotando o preço médio consultado do último relatório (mar./2024) da Agência Nacional do Petróleo (ANP) para a Região de Minas Gerais no valor de R\$ 5,45 por litro de gasolina comum (ANP, 2022).

No desenvolvimento de um protótipo, caso essa deficiência (motor subdimensionado) surja, a solução mais simples seria substituir o motor por um maior. Isto demandaria um novo pacote de baterias compatível para este novo motor, conseqüentemente aumentaria o peso ao conjunto, além de ter maior custo. Ainda como exemplo, o GURGEL E-400 utilizava baterias de chumbo-ácido, responsáveis por 1/3 do peso total do veículo, mas era se que tinha ao alcance de João Gurgel no final da década de 70 desde o lançamento do protótipo ITAIPU E-150 de 2 lugares. João Gurgel já buscava por melhorias na eficiência energética dos seus elétricos, afim de contornar os pontos fracos dos EV como peso, baixa autonomia e tempo de carregamento. Na reportagem de Alfredo Schleumer da Revista Quatro Rodas de Janeiro de 1975, João Gurgel esclarece: “O Itaipu deve chegar aos 60km/h quando estiver equipado com o controle transistorizado de saída de força das baterias, que está sendo construído nos Estados Unidos, sem ele, o Itaipu gasta a energia rapidamente” (Bitu, 2021, p. 2; Schleumer, 1975). No início dos anos 80, a GURGEL S.A já buscava por baterias com densidade energética superior para o E-400: “Iniciamos os estudos com baterias do tipo tetrapolar, mais leves, duráveis e potentes,

mas já não havia mais interesse do mercado” conta Nilson Roberto Chaves, ex-funcionário da Gurgel, em entrevista à sessão Clássicos da Revista Quatro Rodas, matéria publicada em 03/10/2021 (Bitu, 2021, p. 2).

Se o aumento do tamanho do motor e conseqüente aumento do conjunto de baterias leva ao conseqüente aumento da massa do veículo, inserir um câmbio tem o mesmo efeito. A grande pergunta é: em que magnitude cada uma destas ações aumenta o peso do veículo? Não é absurdo supor que o aumento do banco de baterias é o efeito mais nocivo para o aumento de peso dos veículos elétricos, uma vez que a bateria compõe uma parcela expressiva do peso deste tipo de veículo. Assim sendo, a opção de inserir um câmbio, possibilitando ter um motor e um conjunto de baterias menor é uma estratégia energeticamente viável. E pelo fato de não ser uma tese absurda é passível de investigação.

3.4 PROCESSO DE RECICLAGEM DE BATERIAS ÍON-LÍTIO

3.4.1 Importância da Reciclagem

Os recursos minerais para fabricação de baterias que contém materiais valiosos como lítio, cobalto e níquel, não são infinitos, portanto, a recuperação destes elementos através da reciclagem reduz a necessidade de mineração, minimizando impactos ambientais e econômicos. A alta aplicabilidade das células íon- lítio, devido à sua alta densidade de energia, maior número de ciclos de carregamento, baixa taxa de autodescarga e longa vida útil, são os principais atributos atrativos para equipar em larga escala os VE que competem por eficiência energética (Michellini, 2020). O VE é uma máquina com um determinado tempo de vida útil, restringido essencialmente pela durabilidade da bateria, item que representa uma parcela significativa do valor do veículo. Trata-se de um bem durável com alto custo de aquisição para o consumidor comum, e espera-se, além da vantagem ambiental, a econômica, isto é, que o custo da substituição da bateria seja menor do que todos os custos envolvidos no mesmo tempo e distância percorridos caso fosse um veículo com MCI.

Juntamente com o aumento do uso dessas células, vem também a necessidade de sistemas de reciclagens mais eficientes, que além de evitar o descarte inadequado e a conseqüente contaminação ambiental, a recuperação desses materiais não só contribui para a conservação dos recursos naturais, mas também proporciona benefícios econômicos, reduzindo os custos de produção de novas baterias e criando oportunidades de emprego na indústria de reciclagem.

3.4.2 Políticas de Reciclagem de Células Íon-Lítio

Ao atingir o fim do ciclo de vida da bateria íon-lítio, o ideal, é destinar a bateria para um ponto de coleta, a primeira etapa da logística reversa. As baterias coletadas são destinadas ao processo de reciclagem, evitando que cheguem aos aterros sanitários pelo lixo comum trazendo prejuízos ambientais (Luo *et al.*, 2011; Rautela *et al.*, 2021).

A logística reversa encaminha de forma adequada as baterias usadas para centros de reciclagem. No Brasil, esse sistema é regulado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que exige que fabricantes e importadores se responsabilizem pela coleta e o destino correto das baterias quando atingirem ao fim da vida útil. Os pontos de coleta são instalados em locais acessíveis, (Figura 4) como lojas de eletrônicos, escolas e supermercados, facilitando o retorno das baterias usadas para empresas de reciclagem.

Figura 4 – Ponto de Coleta de pilhas e baterias da UNIFAL - Campus Poços de Caldas – MG



Fonte: do autor.

A norma da PNRS acolhe a Resolução CONAMA nº 401/2008 que estabelece a obrigatoriedade dos fabricantes, ou importadores no Brasil, que comercializam baterias e pilhas.

Art. 6º As pilhas e baterias mencionadas no art. 1º, nacionais e importadas, usadas ou inservíveis, recebidas pelos estabelecimentos comerciais ou em rede de assistência técnica autorizada, deverão ser, em sua totalidade, encaminhadas para destinação ambientalmente adequada, de responsabilidade do fabricante ou importador (CONAMA, 2008, art. 6º).

3.4.3 Tecnologias da Reciclagem

As tecnologias de reciclagem, visam, por meios de baixas emissões de gases, processos mais sustentáveis e que sejam economicamente viáveis. Tais avanços, em sincronia com a logística reversa, fomenta a Economia Circular (EC) que tem como conceito o máximo aproveitamento de materiais, diminuindo a dependência da mineração (Hyvärinen, 2022; Meegoda; Malladi; Zayas, 2022). À medida que a EC se desenvolve num sistema de ciclo fechado, afasta o modelo antigo e tradicional de economia linear, "extrair-produzir-usar-descartar" (Wralsen; O'born, 2023). A EC também promove o aproveitamento da célula íon-lítio para uma segunda vida (*second life*), como parte do processo de reutilização para aplicações menos exigentes (como baterias estacionárias) antes de serem encaminhadas a processos de reciclagem destrutivos, para obtenção dos materiais valiosos (Hyvärinen, 2022).

Como exemplo prático desta estratégia de reuso, a Startup Energy Source, uma empresa que atua no ramo de reciclagem e reparo de baterias de VEs desde 2021, localizada no interior de São Paulo, em São João da Boa Vista, (Figura 5) utiliza da EC. A empresa possui um algoritmo de processo seletivo que separa as melhores células para reuso, e as reprovadas, são direcionadas para reciclagem, que utiliza da hidrometalurgia, processo químico para extração do Lítio, Níquel, Cobalto de Manganês.

Figura 5 – Energy Source, empresa de reciclagem, reuso e reparo de Baterias Íon-Lítio, localizada em São João da Boa Vista – SP



Fonte: do autor.

No desenvolvimento deste trabalho, houve uma etapa de separação e classificação de células, porém de forma manual norteados por alguns parâmetros que estão descritos à frente na metodologia. Chen e Shen (2017) abordam o método de seleção de células boas e ruins, com

o objetivo de reutilizar células que ainda possuem capacidade de utilização. Neste método, o estudo propõe poder classificar em tempo real, as células com base na degradação, utilizando varredura radiográfica por raios X e computação de contraste de imagem digital. Isso visa identificar células que ainda podem ser reutilizadas, aumentando o valor econômico dessas baterias, evitando o desperdício de recursos ao destruir células boas e ruins indiscriminadamente. A propósito, graças a reutilização de células, foi possível a confecção da bateria do triciclo protótipo, descrito mais adiante na metodologia deste trabalho.

A *Startup Energy Source* em parcerias com outras empresas, aplicam esta estratégia de reuso com o aproveitamento de células (que em uma primeira vida já pertenceram à uma bateria de um VE) selecionadas pelo algoritmo, para criação de estações de carregamentos de VEs. Estas estações funcionam como Power-Banks, que permitem ser carregados por energia de fonte limpa por meio de painéis foto voltaicos (Figura 6). Um modo possível de acumular energia durante maior incidência solar e dissipá-la posteriormente no carregamento do VE, evitando a dependência de energia pela rede contribuindo para atenuar picos na demanda (Hyvärinen, 2022).

Figura 6 – Estação de carregamento veicular do tipo Power Bank, que utiliza células Íon-Lítio reaproveitadas de baterias de VEs



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2023).

As células reprovadas passam por um triturador (Figura 7) que direciona os fragmentos para outros tipos de separadores mecânicos antes de chegar à etapa de reciclagem por hidrometalurgia, que envolve o uso de soluções químicas para dissolver os metais das baterias e separá-los (Wang *et al.*, 2022). Esse método é particularmente eficaz para a recuperação de lítio, por permitir a extração dos metais a temperaturas mais baixas, preservando a qualidade

do lítio recuperado, que se traduz em menor consumo de energia, mais coerente com a sustentabilidade, sendo esta energia obtida por fontes renováveis (Vieceli *et al.*, 2021).

Figura 7 – Triturador mecânico de Baterias de Íon-Lítio



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2024).

A próxima etapa da hidrometalurgia é a obtenção do “black-mass” ou massa negra, que contém os principais elementos (Lítio, Cobalto e o Níquel), matéria-prima que dará origem a novas células. A forma como estes elementos são extraídos da solução química, pois estão dissolvidos, é com o filtro-prensa (Figura 8), que utiliza da força hidráulica para forçar o líquido atravessar as camadas de filtros retendo a massa negra, que contém os elementos mais valiosos do processo.

Figura 8 – Filtro-Prensa utilizado na obtenção da massa negra



Fonte: Adaptado de MET-CHEM-INC (2024).

Depois que as baterias são classificadas, trituradas, dissolvidas, filtradas e prensadas, obtém-se três produtos que são acondicionados em “bags” (sacos) (Figura 9): Plásticos, que flutuaram no líquido, retalhos de alumínio e cobre que decantaram, e o produto estrela do

processo, a massa negra que contém o Lítio, Cobalto e o Níquel (Pesaran; Roman; Kincaide, 2023).

Figura 9 – Principais subprodutos da hidrometalurgia: Plásticos – Metais – Massa Negra



Fonte: Adaptado de Wralsen; O'born (2023).

Outro processo de reciclagem é a Pirometalurgia, consiste basicamente na fundição do granulado de baterias Íon-Lítio que foram trituradas. Como é um processo que envolve o uso de altas temperaturas para extrair metais valiosos, implica em um custo de implementação e operação maior, em contrapartida, tem capacidade de processar grandes volumes de baterias e recuperar metais como cobalto, níquel e cobre (Wang *et al.*, 2022). A Pirometalurgia traz desvantagens na recuperação do Lítio e Alumínio que se prendem na escória, devido às altas temperaturas envolvidas. Alguns processos pirometalúrgicos combinam com a hidrometalurgia para atenuar perdas de Lítio. Segue abaixo na Figura 10 o comparativo em perspectiva dos dois processos:

Figura 10 – Perspectiva comparativa de processos de reciclagem por Pirometalurgia e Hidrometalurgia



Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2022).

3.5 TENDÊNCIAS DE APLICABILIDADE DAS BATERIAS ÍON-LÍTIO

As fontes de energia renováveis como eólica e painéis fotovoltaicos têm como ponto sensível a intermitência da produção e um potencial aliado para contornar esta deficiência são as baterias estacionárias *Battery Energy Storage System* (BESS) ou Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica em Baterias (Kunwar *et al.*, 2020). Existe uma demanda crescente à medida que aumenta a participação das fontes de energia renováveis, é a tecnologia que permite o estoque da energia nos momentos de captação de ventos e incidência solar e posteriormente distribui nas horas de conveniência auxiliando na estabilidade e qualidade da eletricidade (Kunwar *et al.*, 2020; Kosai; Takata; Yamasue, 2022).

No Brasil está em operação a primeira BESS interligada em larga escala com a subestação de Energia na cidade de Registro, litoral sul de São Paulo, (Figura 11) implementada ao final de 2022 pela companhia de transmissão de energia ISA - CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista) objetiva amortecer o acréscimo pontual da demanda principalmente no verão, evitando acionamento de geradores a Diesel e conseqüentemente as emissões de gases do efeito estufa, segundo a CTEEP (ISA CTEEP, 2021).

Figura 11 – Banco de baterias modulares montados na subestação de Registro-SP



Fonte: ISA – CTEEP (ISA CTEEP, 2021, p. 44).

O Ministério de Minas e Energia (MME) e a ABSAE (Associação Brasileira de Soluções em Armazenamento de Energia) trabalham na inclusão do armazenamento de energia, destacando seu papel crucial na transição energética do Brasil e promovendo investimentos no setor (Brasil, 2024a).

O Governo Federal, através dos Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), criou a Portaria

Interministerial nº 54 para regular a produção de sistemas de armazenamento de energia elétrica em baterias mostrando o compromisso com a inovação e eficiência (Brasil, 2024b). A portaria define as etapas que devem ser seguidas pelas empresas para a fabricação de baterias de chumbo e íons de lítio, atribuindo pontuações conforme o cumprimento de cada etapa do processo produtivo. Define também que as BESSs são compostas por banco de baterias de Íon-Lítio ou Chumbo-Ácido, Sistema de Monitoramento de Baterias (BMS, *Battery Management System*) que controla carga e descarga de energia, Sistema de Conversão de Potência (PCS, *Power Conversion System*), dispositivo que transforma energia de tensão modo contínuo direct current (DC) das baterias para o modo alternado alternating current (AC) da rede, um Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS, *Energy Management System*), que monitora quantidade de entrada e saída de energia, e por fim componentes adicionais de segurança contra incêndio e para refrigeração do conjunto de equipamentos. Em 2022, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) reforçou o protagonismo do Brasil em fontes renováveis, destacando a importância dessas tecnologias participando por meio de representantes, do Energyyear 2022, onde foi debatido o mercado brasileiro de renováveis (ANEEL, 2022).

Estes são exemplos concretos e recentes, que demonstram um esforço contínuo do governo brasileiro para avançar na transição energética, firmando compromissos de integração e soluções nos planos energéticos nacionais, abrindo espaços para futuros estudos a serem explorados, de cunho energético, ambiental, econômico, político e social.

4 METODOLOGIA

4.1 TRICICLO

O veículo usado para obtenção de dados dos testes realizados é um triciclo de 76 kg (após transformado) para 1 ocupante (condutor), possui um par de rodas aro 20 no eixo traseiro e 1 roda direcional aro 26 no eixo dianteiro. O triciclo na sua forma original vem com sistema de tração acionada por pedais de manivela (pedivela) comum de bicicleta, denominada pinhão coroa e catraca conectadas por corrente (Figura 12). O ME foi inserido neste sistema, com algumas adaptações, em substituição ao trabalho dos pedais (tração humana).

Figura 12 – Triciclo usado de tração humana



Fonte: do autor.

4.2 ADAPTAÇÕES: SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Para conversão do modo de tração humana por elétrico, a transmissão original por coroa, catraca (conjunto de pinhões que possuem diferentes números de dentes que engrena aos elos da corrente) e corrente foi removida para dar lugar ao novo conjunto motriz elétrico, mantendo somente os pedais e pedivela para apoio dos pés. Este conjunto está composto por ME de 1000W, conjunto de 2 catracas sendo uma de 7 velocidades e outra de 8 cada uma, com corrente, câmbio traseiro para catracas, bateria de 48V e 40Ah, suportes confeccionados sob medida, medidores de tensão (V), corrente elétrica (A), energia (Wh) e um GPS automotivo para registro de velocidade (km/h), distância (km) e tempo (h).

O ME em questão é originalmente feito para bicicletas e já integra o eixo da roda predisposto para instalação ao quadro. Na circunferência do motor são fixados os raios que se conectam ao aro do pneu (Figura 13). Nesta montagem, configura-se um exemplo de relação direta de transmissão 1:1, ou seja, 360° do motor equivale o mesmo para a roda.

Figura 13 – ME combinado com o eixo da roda



Fonte: do autor.

Para instalar este motor no triciclo, foram confeccionados suportes próprios para fixação ao quadro, de forma que o motor se apoia para exercer seu movimento rotativo para o deslocamento do triciclo. Ao centro do motor, acopla-se na predisposição com rosca, a catraca de 7 velocidades, isto é, um conjunto de 7 pinhões com diferentes números de dentes escalonados em ordem, análogo a 7 polias fixadas lado a lado com diâmetros distintos. Porém, enquanto numa bicicleta comum esta mesma catraca cumpriria a função de catraca movida (que recebe o movimento) pela ação dos pedais, no triciclo, ela fará o trabalho de catraca motora, (que fornece o movimento) por estar rotacionando junto ao motor. Toda esta montagem está ilustrada na (Figura 14).

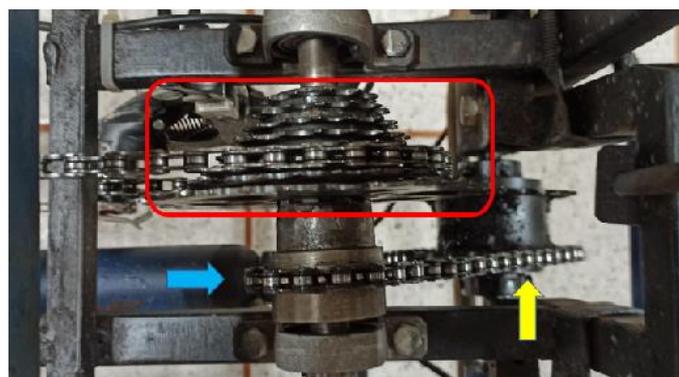
Figura 14 – Catraca 7 velocidades acoplada ao motor



Fonte: do autor.

Nesta configuração, são dispensados os raios por não fazerem parte do modo de transmissão de movimento do triciclo como seria numa bicicleta. Fixada a catraca no motor, o movimento de rotação é transmitido por meio de corrente (tipo roletes) a uma segunda catraca, de 8 velocidades (pinhões), que desempenha função de catraca movida, (destaque retangular em vermelho da Figura 15) fixada por um segundo suporte de eixo com mancais. Por fim, (na mesma Figura 15) para transpor o movimento das catracas ao eixo de tração das rodas, 1 par de pinhões com corrente de transmissão foram dispostos para esta função, sendo o primeiro pinhão de 14 dentes indicado pela seta azul está sincronizado com a catraca movida de 8 pinhões e o segundo pinhão de 24 dentes, indicado pela seta amarela, recebe o movimento por uma segunda corrente até chegar ao eixo das rodas. Logo, o primeiro pinhão se torna motora e o segundo, movido. Este segundo pinhão de 24 dentes possui o mecanismo de diferencial, que possibilita velocidades distintas de giro entre as rodas tratoras em situações de conversão, onde a roda interna da curva gira menos que a externa.

Figura 15 – Retângulo vermelho: Catraca movida acionada por corrente, apoiada por eixo e mancais



Fonte: do autor. Legenda: Seta azul: 1º Pinhão motor de 14 dentes. Seta Amarela: 2º Pinhão movido de 24 dentes.

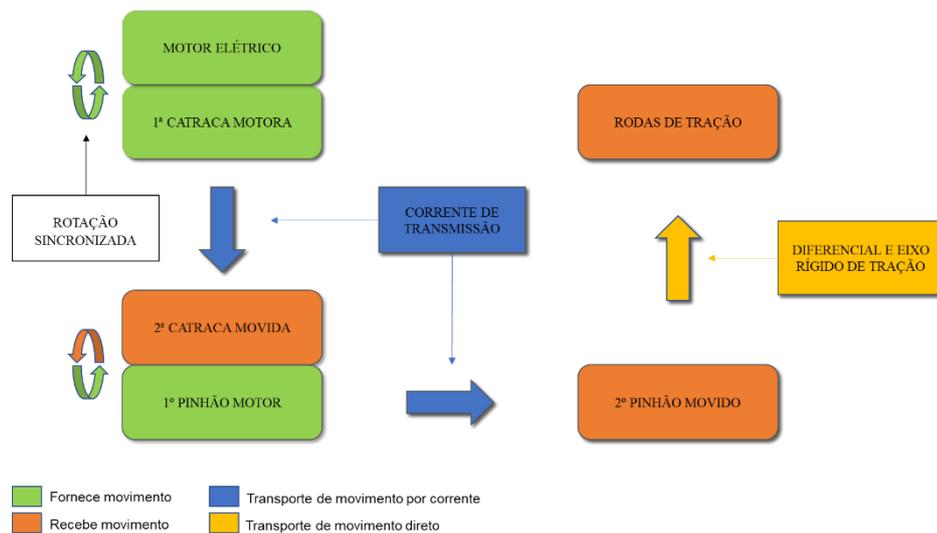
Figura 16 – Perspectiva do conjunto motor e transmissão



Fonte: do autor.

Com a ciência das funções dos dispositivos móveis de transmissão do triciclo, (Figura 16), o fluxo da força motriz que chega às rodas, pode ser melhor visualizado e entendido em perspectiva na (Figura 17).

Figura 17 – Esquema de transmissão do ME às rodas



Fonte: do autor.

Com a 1ª e 2ª catraca contendo 7 e 8 velocidades cada, é possível uma combinação do posicionamento da corrente de 56 posições diferentes, porém para este estudo, foram utilizadas 7 combinações, ou escalonamentos de marchas, que inicia com a 1ª combinação denominada de marcha, de menor velocidade, até a 7ª marcha, de maior velocidade.

Na Tabela 1, estão especificadas por ordem de marcha as 7 combinações de transmissão, mais a relação final do diferencial.

Tabela 1 – RT por ordem de marcha e diferencial

Marcha	Nº de Dentes do Pinhão		RT
	Motora	Movida	
1ª	14	34	2,43:1
2ª	16	26	1,62:1
3ª	18	23	1,27:1
4ª	20	20	1:1
5ª	22	17	0,77:1
6ª	24	15	0,62:1
7ª	34	11	0,32:1
Diferencial	14	24	1,71:1

Fonte: do autor.

A RT é o cociente do nº de dentes do pinhão movido, dividido pelo nº de dentes do pinhão motor (Norton, 2012). Como exemplo, a RT da 1ª marcha é igual a (2,43:1), ou seja, são necessárias 2,43 voltas do pinhão da catraca motora para 1 volta da movida, obtendo assim uma divisão da velocidade com a multiplicação da força. Em testes preliminares desta 1ª marcha observou-se um alívio na carga do motor, observada pela queda da corrente consumida em tempo real indicada nos medidores, obtendo um menor consumo da bateria em relação às marchas superiores, mais detalhado à frente deste trabalho. Com esta divisão alteramos o compromisso entre força e velocidade que chegam às rodas e podem priorizar o consumo da bateria, caso o maior torque na roda seja prioridade.

4.3 BATERIA

A montagem da bateria confeccionada para o triciclo elétrico demandou maior atenção em seu processo construtivo, principalmente pelo aspecto da segurança por se tratar de um acumulador de energia com 48V e 40Ah (1,92 kWh) agregada ao triciclo (Figura 18). Antes, este mesmo motor era suprido por uma bateria de mesma tensão, mas com capacidade de carga de 11,6Ah (0,557 kWh) para o deslocamento da bicicleta e ciclista, suficientes para a realização do trabalho pois havia a possibilidade de fornecer força simultânea pelo ciclista através dos pedais, reduzindo a carga do motor. Com a exclusão deste aporte de energia mecânica no triciclo, além do maior peso comparado a bicicleta, todo o trabalho de deslocamento estaria para o ME. Portanto, uma ampliação da capacidade de carga da bateria para 40Ah foi adotada

como compensação. O principal componente da bateria são as células de íons de lítio 18650 (Li-Ion) reaproveitadas majoritariamente de baterias de notebook (Figura 19). Este código numérico está baseado nas medidas de uma célula: 18 refere-se ao diâmetro em milímetros e 65 ao comprimento na mesma escala. Cada unidade possui tensão nominal de 3,7V com variadas capacidades de armazenamento, medida em mAh. Um exemplo desta especificação técnica é a célula NCR 18650 Panasonic que possui 1925 mAh (Panasonic Battery Group, 2024). A adoção deste tipo de célula foi motivada principalmente pela razão econômica de custo por carga armazenada (Michellini, 2020), seguida pela facilidade de aquisição das células extraídas de baterias usadas de notebook ou ferramentas elétricas que atingiram o fim da vida útil. Outro importante fator, é a razão do peso da bateria por capacidade de armazenamento de carga, inferior nas baterias de chumbo-ácido.

Figura 18 – Vista Superior da bateria na etapa final de montagem



Fonte: do autor.

Figura 19 – Células de Íon-Lítio extraídas de baterias de notebook



Fonte: do autor.

4.4 REUSO DAS CÉLULAS LI-ION

Dentro das baterias as células lítio em sua grande maioria estão instaladas em circuito em série, paralelo ou misto, a depender da tensão ou potência para qual foi desenvolvida e atender a demanda do equipamento. O processo seletivo das células lítio para a montagem da bateria do triciclo foram divididos em algumas etapas:

1. Foram agrupadas diversas baterias que utilizam células lítio descartadas por terem atingido o fim da vida útil e/ou com defeitos de baixo desempenho.
2. Desmontagem das baterias para acesso às células, retirá-las do circuito série ou paralelo, para assim obtê-las por unidade célula.
3. Inspeção visual: o primeiro quesito de seleção, foi apresentar aparência normal de integridade da célula. Unidades com sinais de vazamento, pontos de oxidação, amassadas ou estufadas, foram excluídas.
4. Separação por capacidade de carga mAh e desempenho da célula testados pelo LiitoKala (Figura 20), equipamento de teste sobre a vida útil da célula. Células que apresentavam capacidade de carga abaixo de 2000mAh foram excluídas.

Figura 20 – LiitoKala Engineer LII-500



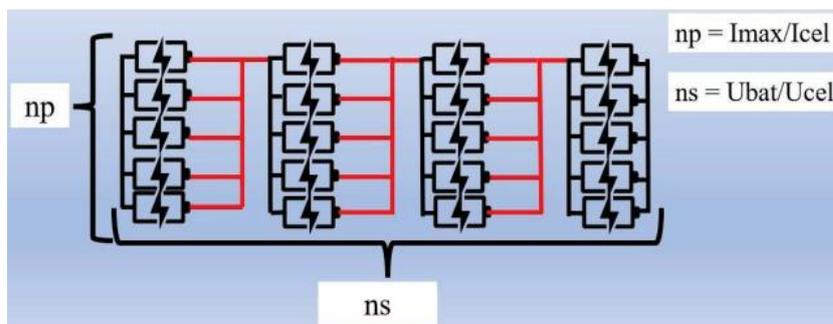
Fonte: do autor.

O LiitoKala Smart Charger Engineer LII-500 foi essencial na seleção das melhores células lítio para compor a bateria do triciclo. Basicamente este aparelho eletrônico realiza testes rápidos de carregamento, descarregamento, medindo vários parâmetros ao longo destes processos para diagnóstico do desempenho de funcionamento de cada célula. O fabricante não informa o parâmetro ideal de comparação das medidas, mas foi possível comparar mutuamente as células pré-selecionadas e notar que, quanto menor a resistência dinâmica (variação conforme a carga elétrica) da célula, melhor a qualidade. Ao final dos testes iniciou-se o

agrupamento das células em pacotes de células, que estão conectadas em circuito misto, série e paralelo. Logo, temos um número de células conectadas em série (n_s), que determinam a tensão (U), e um número de células conectadas em paralelo (n_p) que determinam a corrente (I_{max}) do pacote. A título de exemplo, na Figura 21 apresentamos uma bateria sob a nomenclatura 4S5P. Nela cada célula possui, 3,7V de tensão e 2000mAh de capacidade (capacidade mínima adotada em nossa seleção) de carga. Desta forma, no pacote, temos 14,8V de tensão e 10000mAh de capacidade de carga nominal.

No triciclo, temos 1 conjunto de 20 células conectadas em paralelo (arranjadas em forma de cubo conforme Figura 22) e 13 destes conjuntos conectados em série, totalizando 260 células, resultando uma configuração 13S20P, onde 13 se refere ao número de células conectadas em circuito série e 20 o número em paralelo (Figura 23). Note que a Figura 23 é a Figura 18 com acabamento e proteção necessária para os testes realizados.

Figura 21 – Esquema de montagem de conjunto de células



Fonte: Baziotti (2022, p. 17).

A célula tipo 18650 possui um valor ideal de corrente e tensão de trabalho informado pelo fabricante. Tais valores com as características da unidade consumidora norteiam o dimensionamento de células série e paralelo.

Definida a configuração série/paralelo, foi dada atenção à temperatura de trabalho da bateria. Sabendo que parte da energia era transformada em calor durante o consumo da bateria do triciclo, e que o triciclo não possui um sistema de arrefecimento próprio, como nos carros elétricos modernos, foram instalados 3 termopares em regiões distintas da bateria como: central, intermediária e periférica. Notou-se que a região de células centrais mantinha-se mais aquecida por não ter contato direto com o ar externo, como as células da região periférica, principalmente com o triciclo em movimento. Embora estes dados não sejam o foco deste estudo, eles serviram para realizar um arranjo na distribuição das células, que consistiu em alocar células de maior qualidade ao centro da bateria como forma preventiva de atenuar possíveis interferências

causadas por esta diferença de temperatura e que pudesse afetar negativamente o desempenho da bateria.

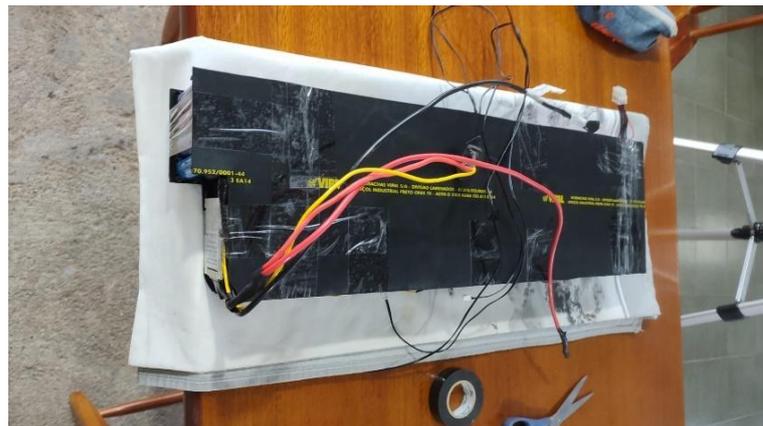
Com esta distribuição de células estabelecida, a próxima etapa da montagem foi a junção dos packs, que totaliza 48V na disposição em série e 40Ah na disposição paralelo, concluindo a montagem da bateria. (Figura 22).

Figura 22 – Pack 4S5P



Fonte: do autor.

Figura 23 – Bateria 48V 40Ah



Fonte: do autor.

4.5 CARREGAMENTO

Duas fontes ajustáveis de 0 a 30V DC 3A foram conectadas em série e ajustadas para uma tensão de carregamento, por meio de um multímetro profissional. (Figura 24).

A bateria é contemplada com uma placa eletrônica BMS, controlador de carga dimensionado. Este dispositivo divide a tensão vinda da fonte entre as células ou packs em série, distribuindo a carga de forma homogênea, sem exceder o limite de carga das células. A

saída de tensão, para o ME, também é controlada pelo BMS, protegendo a bateria de eventual excesso de corrente ou curto-circuito.

Figura 24 – Fontes de carregamento e multímetro



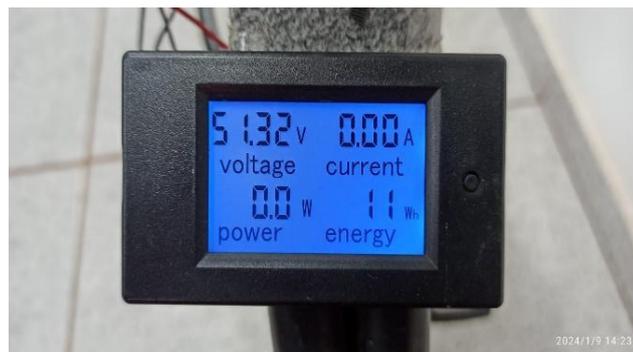
Fonte: do autor.

A tensão de carga de 52,6V equalizada entre as duas fontes foi suficiente para obtenção de um fluxo de corrente seguro que respeitasse a faixa ideal (35,1V a 54,6V) recomendada pelo fabricante das células.

4.6 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

O triciclo conta com instrumentos de medições instantâneas de tensão da bateria, corrente (amperímetro), potência (wattímetro) e energia (Wh) combinadas em um display (Figura 25). Para medições de deslocamento, tempo em movimento e velocidades foi usado um GPS automotivo (Figura 26).

Figura 25 – Display medidor combinado



Fonte: do autor.

Figura 26 – GPS automotivo

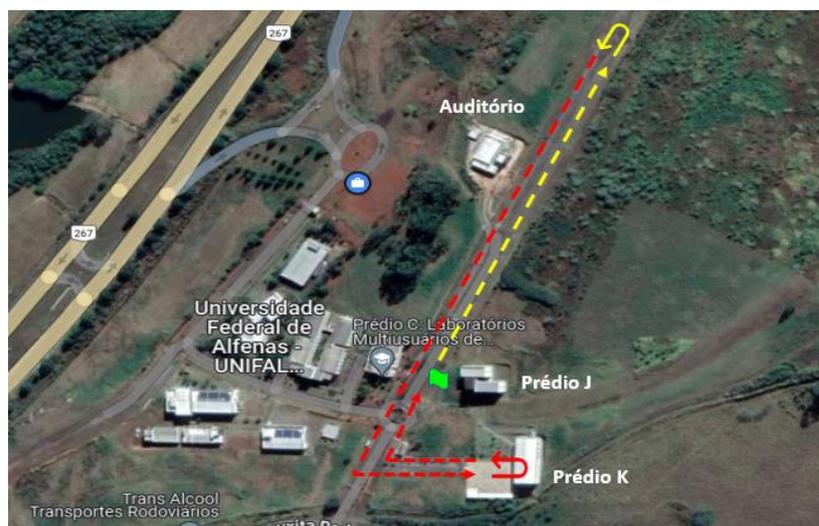


Fonte: do autor.

4.7 ATIVIDADES REALIZADAS: PERCURSO DE TESTES

Os testes de desempenho do triciclo foram realizados em um ambiente controlado, dentro das intermediações da Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas – MG, em horário regular entre 18 e 19 horas, com baixa movimentação de veículos e pedestres para evitar interferências por paradas não programadas. O circuito determinado possui 1,2 km (Figura 27) composto por algumas variações como aclives, declives, redutores de velocidade, curvas, rotatórias e retas que permite desenvolver velocidades variadas típicas de vias urbanas.

Figura 27 – Circuito de Testes



Fonte: Adaptado de Google Maps (2024).

Cada volta do percurso inicia-se na avenida entre os prédios C e J (bandeira verde) seguindo a linha pontilhada amarela em aclive, retornando em declive e reta no pontilhado vermelho, adentrando o estacionamento do prédio K, finalizando no ponto de início. Para cada

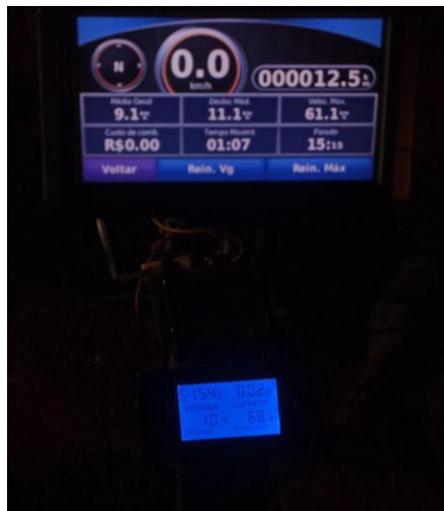
dia de teste, foram definidas 10 voltas do percurso para cada marcha, partindo sempre com a bateria carregada e o mesmo condutor. No total foram 12 km por marcha totalizando 84 km.

5 RESULTADOS OBTIDOS

O primeiro teste feito em 1ª marcha, percorridas 10 voltas (12 km) indicados no GPS, ofereceu o melhor compromisso em termos de eficiência energética, registrando o menor consumo de (68 ± 1) Wh (Figura 28 e 29). A 2ª marcha no mesmo teste (Figura 29) obteve 143 Wh. Por ser menos desmultiplicada (rotação do eixo de saída menor do que o eixo de entrada) do que a 1ª marcha, proporcionou velocidade 40% maior (Apêndice A). O acréscimo de velocidade implica na redução do torque na roda (multiplicação da velocidade gera desmultiplicação do torque na roda). Apesar de haver sacrifício do torque na 2ª marcha, a relação dos pinhões motora e movida ainda se configura desmultiplicada, e fornece ao condutor a percepção de força ainda satisfatória ao acionar a manopla de aceleração, ante as variações do percurso. O adicional de velocidade desta marcha reduziu o tempo do teste em 27%, mas com um acréscimo de 110% no consumo, destacando uma relação não linear entre consumo e velocidade como mostra adiante o gráfico da Figura 29.

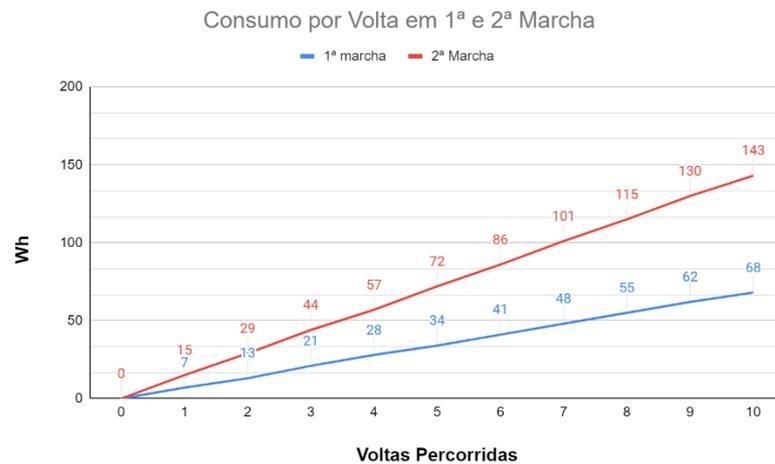
Portanto a influência do conversor de torque no consumo da bateria para a realização de um mesmo trabalho de deslocamento, revela que a desmultiplicação da rotação do eixo de tração a favor da multiplicação da força (torque na roda), proporcionou uma economia de carga da bateria relevante.

Figura 28 – Resultado do primeiro teste em 1ª marcha



Fonte: do autor.

Figura 29 – Consumo por Volta em 1ª e 2ª Marcha



Fonte: do autor.

O consumo total das demais marchas está em perspectiva na (Figura 30), onde as marchas (eixo horizontal) estão representadas no formato de relação da divisão do número de dentes do pinhão movido pelo número de dentes do pinhão motor, isto é, os valores do eixo horizontal representam a quantidade de voltas do eixo motor (de entrada), sempre em relação à 1, uma volta do eixo movido (de saída). Neste tipo de representação é possível visualizar a influência do escalonamento das marchas no consumo. O grupo de relação de marchas desmultiplicadas (1ª a 3ª) tende favorecer a eficiência energética, enquanto o grupo das marchas multiplicadas (5ª a 7ª) com relações inferiores a 1, permite ampliação da velocidade média, mas com um consumo por unidade de distância mais alto.

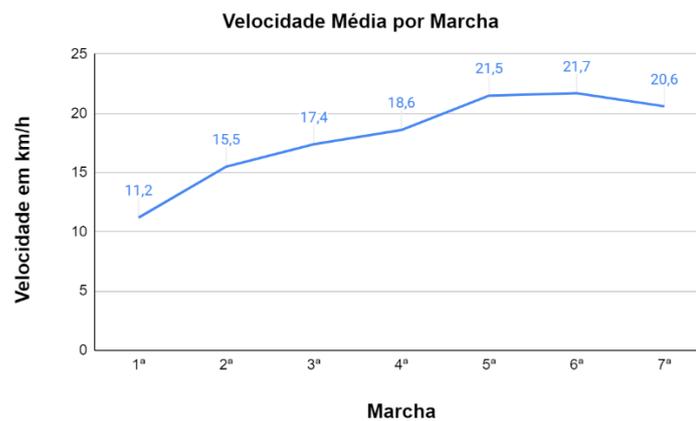
Figura 30 – Consumo total de 7 relações de marchas para o percurso de 10 voltas por cada marcha



Fonte: do autor.

Embora este trabalho esteja voltado para o consumo da bateria, a velocidade média proporcionada por cada marcha nos testes foi considerada (Figura 31) para aferir a leitura quantitativa da eficiência energética do projeto. Dividindo as médias de velocidade de cada escalonamento de marcha pelo consumo, foi possível identificar quais marchas oferecem a melhor eficiência em termos de velocidade alcançada por unidade de energia consumida, (km/h/Watt-hora) (Figura 32). Ao usar essa medida, estamos avaliando não apenas a distância percorrida com uma quantidade específica de energia, mas sim a taxa na qual o veículo está convertendo essa energia em movimento.

Figura 31 – Velocidade média por Marcha



Fonte: do autor.

Figura 32 – Velocidade por Unidade de Energia por Relação de Marcha



Fonte: do autor.

Os valores de eficiência distintos observados na Figura 32 apresentam linhas de tendência também distintas para cada par ou trio de marcha, então, segue a seguinte análise:

- 1ª para 2ª: Redução de 32% da eficiência e aumento de 38,4% da velocidade média.

- 2ª para 3ª: Aumento de 4,6% da eficiência e aumento de 12,2% da velocidade média.
- 3ª para 4ª: Redução de 13,3% da eficiência e aumento de 6,9% da velocidade média.
- 4ª para 5ª: A 5ª marcha podemos considerar uma estagnação da eficiência, com os erros de medição dos instrumentos digitais, e as variações humanas na condução do triciclo. Mesmo com o empate da eficiência, houve torque na roda suficiente para o acréscimo de velocidade média de 15,6%.
- 5ª para 6ª: A eficiência relativa da 6ª marcha manteve praticamente a mesma estagnação da relação da 4ª e 5ª marcha, com um acréscimo teórico de velocidade média de menos de 1% (21,5 km/h para 21,7 km/h) revelando o limite da capacidade do ME, cujo torque que chega às rodas nesta relação de marcha, não supera o conjunto de arrastos do triciclo para o aumento da velocidade. Outro indicativo desse limite foi o aumento discreto do consumo médio em 2,8% (215 para 221 Wh).
- 7ª: Nesta marcha observamos o declínio de 26,5% da eficiência energética com a pior marca de 0,072 km/h para cada unidade de energia, queda de 5% da velocidade média e aumento do consumo médio de 30% em relação a marcha anterior.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes demonstraram a tendência de maior eficiência energética para marchas desmultiplicadas, pois desenvolvem velocidades médias maiores por unidade de energia (Wh). A 1ª marcha destacou-se com a melhor marca de eficiência quando cada watt-hora produziu uma unidade de velocidade média de 0,164km/h. Apesar de ser a marcha mais lenta, que proporciona ao triciclo a velocidade máxima de 6,5 km/h, inferior até mesmo para a média obtida em 10 voltas do percurso, 11,2 km/h, este adicional se justifica pelos trechos em declive que superaram os 6,5 km/h, situação do qual o ME junto com a catraca de pinhões tipo motora está parado (0 rpm).

Ao analisar a variação da eficiência relativa por marcha, observamos que as diferentes relações de transmissão resultaram em eficiências distintas em relação a quantidade de energia consumida para uma determinada velocidade média. As marchas desmultiplicadas apresentam eficiências mais altas em velocidades mais baixas, enquanto as marchas multiplicadas podem se mostrar mais eficientes para velocidades mais altas, quando a velocidade e potência desenvolvida forem prioridade.

A eficiência energética pode variar dependendo das condições de uso, como topografia, carga transportada e modo de condução, logo, as opções de diferentes relações de marchas embarcadas num EV destacam a importância de considerar os *trade-off* (relação de perdas e ganhos entre velocidade, torque e consumo) envolvidos na escolha de marcha conforme a demanda a que o EV será submetido. Por exemplo, o grupo de marchas multiplicadas como 6ª e 7ª, não foram exploradas em seu potencial máximo de aceleração e velocidade pelas características do percurso que não favorecem maiores velocidades superiores às médias.

Portanto, neste contexto, para as marchas multiplicadas de 5ª e 6ª em outros testes, foram obtidas velocidades médias 50% abaixo da máxima conquistada. Especificamente a 6ª marcha em trecho de longa reta, obteve a marca de 42km/h, ante os 21,7km/h da média. Essa análise conjunta sugere que, em declives mais longos, as marchas multiplicadas do triciclo permitem atingir mais rapidamente, velocidades próximas da máxima, com maior acúmulo de energia cinética comparado a trechos planos. No entanto, novos testes quantitativos seriam necessários para quantificar a eficiência energética de marchas multiplicadas em percursos de testes específicos e revelar *trade-offs* que contribuem para a eficiência. Em resumo, a análise da eficiência em condições variadas de uso também destaca a importância de trocar as marchas com o triciclo em movimento, conforme as características do terreno ou carga para otimizar o consumo de energia e maximizar o desempenho do triciclo elétrico em diferentes situações

operacionais. Embora a comutação de marchas durante o funcionamento do triciclo seja possível, é importante ressaltar que se trata de um protótipo ainda em fase de ajustes.

O câmbio, originalmente destinado a bicicletas, demonstrou, nos testes preliminares, uma falta de precisão e agilidade nas trocas quando adaptado ao triciclo. Com as melhorias planejadas para o sistema de transmissão do protótipo triciclo, espera-se que estudos futuros possam explorar a viabilidade e a eficácia da comutação de marchas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **ANEEL reforça protagonismo do Brasil em fontes renováveis no Energyyear 2022**. Brasília, DF: ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-reforca-protagonismo-do-brasil-em-fontes-renovaveis-no-energyyear-2022>. Acesso em: 31 maio 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Levantamento de preços de combustíveis (últimas semanas pesquisadas)**. Brasília, DF: ANP, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos-de-combustiveis-ultimas-semanas-pesquisadas>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. **94 mil eletrificados: 2023 bate todas as previsões**. São Paulo, SP: ABVE, 2024. Disponível em: <http://www.abve.org.br/2023-supera-todas-as-previsoes-94-mil-eletrificados/>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- AUTO DESTAQUE. Veículos elétricos: o que se deve levar em consideração antes de adquirir um? **Diário do Pará**, Belém, PA, fev. 2023. Disponível em: <https://www.autodestaque.net.br/veiculos-eletricos-o-que-se-deve-levar-em-consideracao-antes-de-adquirir-um/>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- BAZIOTTI, Thiago de Almeida. **Reaproveitamento de células 18650 oriundas de baterias de notebook para aplicação em sistema fotovoltaico off-grid residencial: teste, estudo de caso e viabilidade econômica**. 2023. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023. Disponível em: <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/2338>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- BITU, Felipe. Gurgel Itaipu E-400: A história do primeiro carro elétrico brasileiro. **Quatro Rodas**, São Paulo, SP, out. 2021. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/gurgel-itaipu-e400-a-historia-do-primeiro-carro-eletrico-brasileiro>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- BORBA, Bruno Soares Moreira Cesar. **Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético brasileiro**. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/BrunoSoaresMoreiraCesarBorba.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Portaria interministerial MDIC/MCTI nº 54, de 03.05.2024. Estabelece o Processo Produtivo Básico - PPB para Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica em Baterias - (Battery Energy Storage System-BESS), industrializado no País. **Diário Oficial de União**, Brasília, DF, 14 maio, 2024a. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias_interministeriais/Portaria_Interministerial_MDIC_MCTI_n_54_de_03052024.html Acesso em: 30 maio 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **MME debate perspectivas e desafios para as baterias no Sistema Interligado Nacional**. Brasília, DF: MME, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-debate-perspectivas-e-desafios-para-as-baterias-no-sistema-interligado-nacional->. Acesso em 17 jul. 2024.

CARSUGHI, Claudio. Sem fumaça, sem ruído: assim anda o Itaipu. **Revista Quatro Rodas**, [s.l.], v. 251, n. 21, out. 1981. Disponível em: <https://www.gurgel800.com.br/publicacoes/quatorrodas/251/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

CERQUEIRA, Jhennifer; SILVA, Fernanda Souza. Impactos da crise do petróleo na economia brasileira. **Revista Mundo Tecnológico**, São Mateus, ES, v. 11, n. 13, set. 2017. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/08/impactos-da-crise-do-petroleo-na-economia-brasileira.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2024.

CHEN, Hao; SHEN, Julia. A degradation-based sorting method for lithium-ion battery reuse. **PLOS ONE**, [s.l.], v. 12, n. 10, Sept. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185922>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0185922>. Acesso em: 12 ago. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008. Dispõe sobre o controle ambiental de pilhas e baterias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 nov. 2008. Disponível em: <https://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res08/res40108.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2024.

GOOGLE MAPS. **Visualização aérea de -21.8190874, -46.6607919**. [s. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-21.8190874,-46.6607919,876m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>. Acesso em: 07 ago. 2024.

HYVÄRINEN, Tatu. **Investigating the reverse supply chains of li-ion batteries in Finland**. 2022. 35 f. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Universidade de Oulu, Oulu, MC, Estados Unidos, 2022. Disponível em: <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/19543/nbnfioulu-202204051492.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 jul. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Programa brasileiro de etiquetagem: Fiat Toro Freedom 1.8 16V na comparação relativa da categoria**. 2019. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/CONSUMIDOR/pbe/veiculos_leves_2019.pdf. Acesso em: 23 mar. 2024.

ISA CTEEP. **Relatório anual de sustentabilidade**. [s. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.isactEEP.com.br/Arquivos/Download/relatorio-anual-isactEEP-2021.pdf>. Acesso em: 31 maio 2024.

KITAYAMA, Satoshi *et al.* Torque control strategy and optimization for fuel consumption and emission reduction in parallel hybrid electric vehicles. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, [s.l.], v. 52, p. 595-611, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00158-015-1254-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00158-015-1254-8>. Acesso em: 12 ago. 2024.

KOSAI, Shoki; TAKATA, Ukyo; YAMASUE, Eiji. Global resource circularity for lithium-ion batteries up to 2050: traction and stationary use. **Mining**, [s.l.], v. 2, p. 449-462, feb. 2022. DOI: 10.3390/mining2030024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-6489/2/3/24>. Acesso em: 12 ago. 2024.

KUMAR, Ashok; ALEXANDER, Albert. **Power converters for electric vehicles**. [s. l.]: CRC, 2021. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003110286/power-converters-electric-vehicles-ashok-kumar-albert-alexander>. Acesso em: 17 de jul. 2024.

KUNWAR, Dol Raj *et al.* Relieving grid by adding PV and bess for economical charging of EV in the charging station. **American Journal of Computer Science and Technology**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 7-17, Oct. 2020. DOI: 10.11648/j.ajcst.20200301.12. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342895964_Relieving_Grid_by_Adding_PV_and_BESS_for_Economical_Charging_of_EV_in_the_Charging_Station. Acesso em: 12 ago. 2024.

LUO, Caihong *et al.* Heavy metal recovery combined with H2 production from artificial acid mine drainage using the sulfate-reducing bacteria process. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 102, n. 5, p. 4606-4611, Sept. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389414000740>. Acesso em: 12 ago. 2024.

LUZZI, João Paulo. Carros elétricos e seus sistemas. **Autonext**, [s. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://blog.autonext.com.br/tecnologia/como-funcionam-os-carros-eletricos/#:~:text=Motor%20de%20indu%C3%A7%C3%A3o%20dos%20carros,impacto%20nos%20passageiros%20%C3%A9%20incompat%C3%A1vel>. Acesso em: 06 mar. 2024.

MARAN, Melsi. **Diagnósticos e regulagens de motores de combustão interna, área automotiva**. São Paulo, SP: SENAI-SP, 2013. 188 p.

MEEGODA, Jay; MALLADI, Sarvagna; ZAYAS, Isabel. End-of-life management of electric vehicle Lithium-Ion batteries in the United States. **Clean Technologies**, [s.l.], v. 4, n. 4, p. 1162-1174, Sept. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040071>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365398136_End-of-Life_Management_of_Electric_Vehicle_Lithium-Ion_Batteries_in_the_United_States. Acesso em: 12 ago. 2024.

MET-CHEM. **1200mm new met-chem filter press – 30 to 150 cu. ft.** [s. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://metchem.com/product/30-to-150-cu-ft-new-met-chem-filter-press/>. Acesso em: 28 maio 2024.

MICHELINI, Aldo. **Baterias recarregáveis para equipamentos portáteis**. 1. ed. São Paulo, SP: STA. 2017. 200 p.

NORTON, Robert. **Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines**. 5nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012. 924 p.

PANASONIC BATTERY GROUP. **NCR18650A Datasheet**. [s. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/597042/PANASONICBATTERY/NCR18650A/1538/1/NCR18650A.html>. Acesso em: 03 mar. 2024.

PESARAN, Ahmad; ROMAN, Lauren; KINCAIDE, John. **Electric vehicle lithium-ion battery life cycle management**. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2023. 54 p. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/84520.pdf>. Acesso em: 27 maio 2024.

RAUTELA, Radhika; RANI, Jyoti; RASANE, Prasad. A comprehensive review on the recycling of spent lithium-ion batteries and beyond. **Materials Advances**, [s. l.], v. 2, n. 6, p. 1894-1922, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130535>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622001779>. Acesso em: 12 ago. 2024.

RENAULT. **Kwid**: manual do usuário do veículo. São Paulo, SP: CDN Group Renault, 2023. Disponível em: <https://cdn.group.renault.com/ren/br/renault-new-cars/editorial/2023/catalogos/dezembro/kwid/manual-kwid-XBB-P-3.pdf.asset.pdf/09d69f057a.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

RIBEIRO, Rodrigo. Por que carro elétrico não tem câmbio? **Auto Esporte**, [s. l.], abr. 2021. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/servicos/noticia/2021/03/por-que-carro-eletrico-nao-tem-cambio.ghtmlm>. Acesso em: 06 mar. 2024.

RIDELNSKY, Jeanine do Carmo Florença *et al.* Patinetes elétricas, solução ou problema? **Unisanta BioScience**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 79-86, dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/index.php/bio/article/view/2218/1778>. Acesso em: 17 jul. 2024.

RODRIGUEZ, Henrique. Como é o Renault Kwid E-Tech, carro elétrico mais barato do Brasil. **Revista Quatro Rodas**, [s. l.], mar. 2024. Disponível em: https://quatorrodas.abril.com.br/testes/como-e-o-renault-kwid-e-tech-carro-eletrico-mais-barato-do-brasil#goog_rewarded. Acesso em: 10 mar. 2024.

SCHLEUMER, Alfredo. Itaipu: O silêncio e a economia do carro elétrico brasileiro. **Revista Quatro Rodas**, [s. l.], v. 174, n. 15, jun. 1975. Disponível em: <https://www.gurgelbrasil.com/4R-01.1975-ITAIPU-pronto.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SILVA, Leomi de Souza. **Análise do efeito da turboalimentação e estratégia downsizing em motores de combustão interna: aspectos operacionais e ambientais**. 2019. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, ago. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39703>. Acesso em: 30 jul. 2024.

TAYLOR, Alex. Science review of internal combustion engines. **Energy Policy**, [s. l.], v. 36, n. 12, p. 4657-4667, Aug. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421508005016>. Acesso em: 12 ago. 2024.

VIECELI, Nathália *et al.* Hydrometallurgical recycling of EV lithium-ion batteries: effects of incineration on the leaching efficiency of metals using sulfuric acid. **Waste Management**, [s.l.], v. 125, p. 192–203, May 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21001082>. Acesso em: 12 ago. 2024.

WANG, Xiao-Tong *et al.* Prospects for managing end-of-life lithium-ion batteries: Present and future. **Interdisciplinary Materials**, [s.l.], v.1, p. 417-433, Mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/idm2.12041>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/idm2.12041>. Acesso em: 12 ago. 2024.

WRALSEN, Benedikte; O'BORN, Reyn. Use of life cycle assessment to evaluate circular economy business models in the case of Li-ion battery remanufacturing. **The International Journal of Lifw Cycle Assessment**, [s. l.], v. 28, p. 554-565, Sept. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02154-0>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369266607_Use_of_life_cycle_assessment_to_evaluate_circular_economy_business_models_in_the_case_of_Li-ion_battery_remanufacturing. Acesso em: 12 ago. 2024.

APÊNDICE A - Velocidade média e consumo por ordem de marchas

Marcha	Rt	Wh	km/h	10 voltas min.
1	2,43:1	68	11,1	67'00''
2	1,62:1	143	15,5	48'02''
3	1,27:1	154	17,4	42'11''
4	1:1	189	18,6	39'54''
5	0,77:1	215	21,5	34'01''
6	0,62:1	221	21,7	34'26''
7	0,32:1	287	20,6	36'12''

Fonte: do autor.