



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3º Andar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

Edital Nº 4/2022

**Título do projeto:** Análise Magnética de Motores de Indução para Tração Elétrica.

**Palavras-chave do projeto:** Motor de Indução, Método dos Elementos Finitos.

**Área do conhecimento do projeto:** Dispositivos

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
1.1	Histórico dos Veículos Elétricos . . . . .	4
1.1.1	Primeira Fase (1890-1929) . . . . .	4
1.1.2	Segunda Fase (1930-1989) . . . . .	6
1.1.3	3ª Fase (1990-Atualmente) . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Cronograma de atividades</b>	<b>9</b>

# 1 Introdução

O automóvel, a décadas, desempenha um papel muito importante nas grandes cidades do mundo todo, oferecendo mobilidade com grande praticidade e estimulando o crescimento econômico e novas tecnologias na indústria. Porém, existe a necessidade de uma reinvenção do automóvel, pois o mesmo, como é atualmente, causa diversos problemas nas grandes cidades, como congestionamentos, acidentes, e o excessivo consumo de recursos não renováveis. Para resolver grande parte destes problemas, são necessárias radicais mudanças no modelo de automóvel atual (Burns, 2010). O uso do conceito de Internet da Mobilidade, que permite o compartilhamento de informações de GPS e sensores entre veículos e entre motoristas, aliado a sistemas inteligentes e autônomos pode reduzir a quantidade e a gravidade de colisões. Também será necessária uma mudança de design, os veículos devem ser menores e mais leves, portanto, diminuindo o consumo de combustível e o espaço ocupado nas grandes cidades. Além disso, a mudança mais importante neste novo modelo de veículo é a tração elétrica, que utiliza como combustível a eletricidade ou o Hidrogênio, portanto não emitindo gases poluentes próximo a grandes concentrações populacionais (Noce, 2009). A tração elétrica e híbrida não é uma tecnologia nova, porém recentemente passou a ter maior viabilidade devido ao aumento na capacidade de armazenamento de baterias a partir do uso de baterias de Lítio e ao crescente estudo do uso de células de combustível de Hidrogênio nos últimos anos, o que permitiu uma boa autonomia para o uso de automóveis em cidades e rodovias (Magalhães, 2020).

Os veículos elétricos historicamente já foram fortes concorrentes dos veículos a combustão, o período entre o final do século XIX e o início do século XX foi de grande indefinição tecnológica quanto ao modelo dominante do automóvel, principalmente em relação a sua propulsão, tendo como concorrentes entre si a propulsão elétrica, a vapor e de combustão interna. Em 1900, nos Estados Unidos foram registrados 1681 veículos movidos a vapor, 936 de motores de combustão interna e 1575 elétricos. Em 1903, na cidade de Nova York, 53% dos veículos registrados eram movidos a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos (Baran, 2010), porém nove anos depois a frota de automóveis movidos a gasolina na cidade passou a ser trinta vezes maior que a de carros elétricos (Struben e Stermann, 2006). Essa maior difusão dos veículos de combustão interna se deu por algumas razões. Era necessária uma infraestrutura para reabastecer os veículos, sendo a instalação de postos de gasolina mais viável que a instalação de eletropostos, que necessitam estar conectados à rede elétrica, que era muito limitada nos Estados Unidos nessa época (Barassa, 2015). E com o desenvolvimento de rodovias interligando diversas cidades dos Estados Unidos, era necessário que os veículos tivessem uma maior autonomia, onde os veículos movidos a gasolina levavam vantagem. Também houve descobertas de petróleo

no Texas, o que reduziu o preço da gasolina, e a invenção da partida elétrica eliminou a necessidade de manivela para dar partida nos veículos a gasolina. Além disso, com a produção em série desenvolvida por Henry Ford, o preço final dos veículos de combustão interna se tornou a metade do preço final de veículos elétricos (Baran, 2010). Após a chamada era de ouro dos veículos elétricos, que ocorreu entre 1895 e 1905 (Anderson, 2010), os veículos elétricos passaram a ter uma participação diminuta no mercado. No entanto, em todos os momentos em que ocorreram crises energéticas do petróleo e crises ambientais, os veículos elétricos voltavam a ter um breve momento de visibilidade, porém ainda com volume de produção ínfimo. A história dos veículos elétricos mudou de rumo, quando após seu lançamento no Japão, em 1999, o Toyota Prius foi introduzido no mercado Norte Americano, onde foi um sucesso de vendas. Desde então, o volume de vendas de veículos elétricos e híbridos teve um rápido crescimento nos Estados Unidos, possuindo incentivos por parte do governo com o objetivo de aumentar a segurança energética do país, diminuindo a dependência do petróleo, que é majoritariamente importada de países politicamente instáveis (Baran, 2010).

## **1.1 Histórico dos Veículos Elétricos**

De acordo com (Anderson, 2010), a história dos veículos elétricos pode ser dividida em três fases: A primeira fase, de 1890 a 1929, quando ainda havia experimentação e uma indefinição tecnológica quanto ao modelo dominante de veículo, e as diferentes formas de propulsão, elétrica, combustão interna e vapor competiam fortemente entre si. A segunda fase, de 1930 a 1989, em que os veículos passaram a ter uma participação muito pequena no mercado, mas com breve visibilidade em momentos de crises energéticas e ambientais. E a terceira fase, de 1990 até os dias de hoje, com o reaparecimento dos veículos elétricos e híbridos no mercado, havendo um grande crescimento na frota global nos últimos anos.

### **1.1.1 Primeira Fase (1890-1929)**

Os veículos elétricos surgiram após a invenção das máquinas elétricas, que são máquinas que funcionam como conversor eletromecânico, de energia elétrica para energia mecânica, chamados de motores elétricos, ou o inverso, que convertem energia mecânica para energia elétrica, chamados de geradores elétricos. Os princípios do funcionamento de uma máquina elétrica foram demonstrados por Michael Faraday em 1821 (Barassa, 2015). Seis anos depois, o primeiro motor elétrico foi construído pelo húngaro Ányos Jedlik, que em 1828 foi utilizado como propulsão para um pequeno carro (Correia, 2018). Em 1835, o americano Thomas Davenport construiu um motor elétrico para propulsionar uma pequena locomotiva, e em 1851, Charles Grafton Page atingiu uma velocidade de

30 km/h com uma locomotiva de 10 toneladas (Correia, 2018). Porém, tais máquinas elétricas ainda possuíam uma baixa eficiência por serem ainda primitivas, e assim como as baterias, não possuíam uma praticidade para que fossem viáveis. Os veículos elétricos passaram a ser viáveis após uma série de melhorias realizadas, sendo as principais a excitação eletromagnética alimentada pela bateria (1851), o rotor sólido de ferro (1856), que aumentaram o campo de excitação, o anel de armadura (1860), e a construção do dínamo, pelo Belgíco Zénobe Gramme em 1869 (Guarnieri, 2012). Tais melhorias foram realizadas com o objetivo de geração de energia, pois até 1867 não havia sido anunciado ainda o princípio da reversibilidade, que determina que motores podem trabalhar como geradores e vice-versa, sendo a diferença o sentido do fluxo de energia. Porém, os motores de corrente contínua foram avançando juntamente com os geradores, e com as melhorias das células recarregáveis de Chumbo-Ácido realizadas em 1881 por Camille Alphonse Faure (Guarnieri, 2012), o veículo elétrico estava pronto para avançar para sua era de ouro.

Figura 1: Recarga de Veículo Elétrico em 1912.



Fonte: Museu de Brooklands (2020)

A era de ouro dos veículos elétricos aconteceu de 1885 a 1905, quando houve uma dominância no mercado sobre os veículos de combustão interna e movidos a vapor, pois o mesmo era silencioso, não vibrava, não emitia odores, era mais confiável e mais fácil de dirigir. Porém, havia cada vez mais a necessidade de que os veículos possuíssem uma maior autonomia, o que era muito limitada para os veículos elétricos, e é um desafio até os dias de hoje, pela necessidade do avanço tecnológico das baterias. Um modelo que permite um melhor aproveitamento da tração elétrica para aumentar a autonomia é o modelo de veículos híbridos, que associa o uso do motor elétrico e de combustão interna. De acordo com Barassa, o primeiro veículo elétrico híbrido foi construído por Ferdinand Porsche, em 1889.

Mesmo com o avanço das tecnologias dos veículos elétricos, a era de experimentação presente nessa primeira fase da história dos veículos elétricos chegou ao fim, e acabou

Figura 2: Thomas Edison apresentando o modelo Detroit Electric.



Fonte: Detroit Electric (2020)

por prevalecer a forma de propulsão de motores de combustão interna, sendo consolidado um modelo de automóvel. Contando com o apoio da indústria petrolífera, que já possuía um grande controle político e econômico naquele momento, os veículos a combustão interna foram tendo seus problemas solucionados, custos cada vez menores e o preço de seu combustível se tornou mais barato que o abastecimento dos veículos elétricos, que não tiveram seu problema de baixa autonomia contornado (Barassa, 2015). A partir deste momento, os veículos elétricos perderam sua participação no mercado, que foi completamente dominado por veículos a combustão interna.

### 1.1.2 Segunda Fase (1930-1989)

A segunda fase da história dos veículos elétricos foi marcada por interesses pontuais e esporádicos no desenvolvimento dessa tecnologia. Tais interesses se deram com o intuito de oferecer uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo que, durante a Segunda Guerra Mundial foram priorizados para o uso militar e, posteriormente durante a Crise do Petróleo, sofreram aumento de preço e escassez. Durante a Segunda Guerra Mundial, havia um racionamento de gasolina na Europa, que foi direcionada para uso militar. Buscando fontes alternativas de energia, a Peugeot construiu seu primeiro veículo elétrico em 1941, o Peugeot VLV (Véhicule Léger de Ville - Veículo Leve Urbano), que utilizava um motor de 1 kW, possuindo autonomia de 70 à 80 km, e chegando 35 km/h (Cesar, 2020), ilustrado na figura 3. Logo após a 2ª Guerra Mundial, com a escassez de gasolina, o governo japonês criou um programa de incentivo para a produção de veículos elétricos.

A partir disso, a fabricante de aviões Tachikawa Aircraft Company em 1947 criou o veículo elétrico Tama (figura 4), que possuía um motor de 3,3 kW, autonomia de 65 km e velocidade máxima de 35 km/h (Enoshita, 2017).

Com o início da Crise do Petróleo de 1973, foi criado em 1975 o Programa Nacional do Alcool no Brasil, para diminuir a dependência externa de combustíveis automotivos,

Figura 3: Peugeot VLV.



Fonte: Cesar, 2020.

Figura 4: Veículo Tama.



Fonte: Enoshita, 2017.

incentivando a produção de veículos movidos a álcool. Porém, a fabricante nacional de automóveis Gurgel decidiu inovar e lançou no mesmo ano o Gurgel Itaipu (figura 5), o primeiro carro elétrico nacional. O veículo possuía 3 kW de potência, uma autonomia de 50 km e velocidade máxima de 60 km/h (Schaun, 2021).

Figura 5: Veículo Gurgel Itaipu E150.



Fonte: Schaun, 2021.

### 1.1.3 3ª Fase (1990-Atualmente)

A terceira fase da história dos veículos elétricos é marcada pela volta dos veículos elétricos e híbridos ao mercado e seu constante crescimento até os dias de hoje. Em 1990, no Estado da Califórnia nos EUA, foi implementada as primeiras normas regulatórias de emissão zero, definindo um cronograma com cotas de vendas de veículos de zero emissão de poluentes, mas que foi postergado devido a pressão de montadoras e companhias de petróleo. Em 1992, durante a conferência Rio-92 foi criada a Agenda 21, que mostrou a necessidade de reduzir o consumo de energia de origem fóssil, e de realizar uma transição para o uso de fontes renováveis de energia (Baran, 2010).

Apesar de postergado, o California Air Resources Board (CARB) serviu de impulso para a criação do General Motors EV1 (figura 6), considerado o primeiro veículo elétrico de produção em massa da era moderna, sendo produzidos 1117 unidades entre 1996 e 1999. O EV1 possuía um motor elétrico de 101 kW, tinha autonomia de até 257 km e chegava a 128 km/h (Oréfice, 2019). Em 2002 a GM pediu que todos os compradores do EV1 devolvessem seus veículos para que fossem destruídos, algo que foi considerado polêmico na época, sendo a GM acusada de sabotar o desenvolvimento de veículos elétricos.

Figura 6: Veículo GM EV1.



Fonte: Oréfice, 2019.

Em 1997 a Toyota lançou a primeira geração do Prius, modelo híbrido que foi um ponto de partida para a difusão de veículos híbridos no mundo. O modelo possuía um motor elétrico de 33 kW aliado a um motor de combustão interna de 1.5L (NAccari, 2021). O Prius teve grande sucesso no mercado americano, e após seu lançamento outras montadoras passaram a oferecer seus modelos híbridos, como o Audi Duo, Honda Insight, Honda Civic Híbrido, e o Ford Escape Híbrido (Baran, 2010).



## 2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho se concentra em uma análise eletromagnética de uma máquina de indução assíncrona com rotor gaiola de esquilo em regime permanente com foco em utilização em tração veicular.

## 3 Metodologia

Para atingir o objetivo anteriormente descrito utiliza-se a seguinte metodologia:

- Elaboração da geometria da máquina em 2D através de software CAD a partir de um protótipo existente de 3 kW;
- Etapa de Pré-Processamento: Importação da geometria através de software FEMM de elementos finitos, atribuição dos materiais e definição das condições de fronteira;
- Etapa de Processamento: Simulação computacional magnético-estática da geometria;
- Etapa de Pós-Processamento: Obtenção dos mapas de fluxo e de densidades, e extração da forma de onda da indução de entreferro em arquivo .txt;
- Análise harmônica a partir da Transformada Discreta de Fourier (FFT) em software MatLab;

## 4 Cronograma de atividades

Etapa	Mês											
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02
Estudo de veículos elétricos	x	x	x									
Teoria de máquinas de indução		x	x	x								
Elaboração da geometria			x	x								
Pré-Processamento				x	x							
Processamento				x	x	x						
Pós-Processamento					x	x	x					
Análise harmônica						x	x	x				
Conclusões								x	x	x		
Revisão									x	x	x	x