



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E GESTÃO**  
**DE POLÍTICAS PÚBLICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ECONÔMICA DE FINANÇAS PÚBLICAS**

**ANDERSON MOURA E SOUSA**

**IMPACTOS FISCAIS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA:**  
**A base tributária estadual e os veículos elétricos.**

**BRASÍLIA**

**2021**

ANDERSON MOURA E SOUSA

**IMPACTOS FISCAIS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA: A base tributária estadual e os veículos elétricos.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade de Brasília (UnB) como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

**Orientador:** Prof. Dr. José Carneiro da Cunha

BRASÍLIA

2021

**ANDERSON MOURA E SOUSA**

**IMPACTOS FISCAIS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA:**

**A base tributária estadual e os veículos elétricos.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade de Brasília (UnB) como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

**Aprovação:** Brasília-DF, 25 de fevereiro de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Dr. José Carneiro da Cunha Oliveira Neto  
ORIENTADOR

---

Professor Dr. Roberto de Goes Ellery Júnior  
EXAMINADOR EXTERNO

---

Professor Dr. Antonio Nascimento Junior  
EXAMINADOR INTERNO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, nosso Senhor, pelo dom da vida e pela oportunidade diária de adquirir e novos conhecimentos e experiências.

Agradeço aos meus genitores: Genedi Moura e Silva e Francisco Eribaldo de Sousa por terem me apoiado em todos os meus projetos e empreendimentos pessoais e profissionais ao longo da minha jornada, sobretudo, onde com muito esforço abdicaram de conforto e de muitas outras decisões para garantir que seus filhos pudessem obter a melhor educação possível.

Agradeço a minha filha, a pequena Luísa Moura, que por força da pequena idade, se esforçava para entender que o papai estava se dedicando a algo importante.

Agradeço ao Professor Dr. José Carneiro da Cunha, que além da direção e ensinamentos em sua orientação, teve fundamental participação em todas as etapas deste trabalho.

Agradeço também aos meus companheiros de mestrado acadêmico na Universidade de Brasília-UnB e de vida profissional no Governo do Distrito Federal, que em tantos momentos contribuíram com aprendizados que incrementaram não só a minha vida acadêmica, mas também, a minha carreira profissional.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

SOUSA, Anderson Moura e. IMPACTOS FISCAIS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA: A base tributária estadual e os veículos elétricos. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica de Finança Públicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

A presente dissertação teve como objetivo a análise dos impactos fiscais, em termos de arrecadação potencial de ICMS, do processo substituição energética no mercado de veículos. Para isso, foi estimado um modelo de regressão linear entre a frota de veículos e a população, utilizado como base para a projeção da frota até o ano de 2060. A partir dos resultados encontrados foi adicionada uma dinâmica de substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos, com a adoção de hipóteses de disponibilidade de mercado construídas a partir dos anúncios de planejamento de produção das principais montadoras. Os resultados encontrados indicam um forte comprometimento da base de incidência a partir do ano de 2040, com a total extinção da fonte tributária até o final dessa década. Um efeito em especial torna-se preocupante, visto que até o ano de 2039 há crescimento consistente da base de arrecadação, mesmo durante o crescimento e amadurecimento estimado do mercado de carros elétricos, fato que pode gerar no gestor tributário a falsa sensação de ausência de problemas. No entanto, pelo somatório dos efeitos de redução da frota, função da futura contração populacional, e da depreciação dos veículos movidos por combustão interna, há uma rápida deterioração da base a partir de 2040. A inexistência de debates até o momento sobre a questão, que deve ser analisada sobre a ótica da lenta evolução fiscal do país, deve ser assumida como sério fator de risco, sendo o presente estudo uma tentativa de se evidenciar a seriedade da questão.

**Palavras-chave:** Veículos Elétricos. Substituição de veículos. Impactos na base tributária.

## ABSTRACT

SOUSA, Anderson Moura e. TAX IMPACTS OF TECHNOLOGICAL EVOLUTION: A state tax base and electric vehicles. Dissertation (Master's degree in Economic Management of Public Finance) - University of Brasilia, Brasília, 2021.

This work aims analyze the tax impacts, in terms of potential collection of ICMS, of the energy replacement process on the vehicle market. For that, a linear regression model was estimated between the vehicle fleet and the population, used as basis for fleet projection by the year 2060. From the results found, a dynamic of replacement of internal combustion vehicles by electric vehicles was added, with the adoption of market availability hypotheses built from the production planning announcements of the main automakers. The results found indicate a strong impairment of the incidence base from 2040 on, with total extinction of the tax source at the end of the decade. A particular effect become worrying, since until the year 2039 there will be a consistent growth of the collection base, even during the estimated growth and maturation of the electric car market, fact that can generate the false feeling of absence of problems in the tax manager. However, due to the sum of the effects of population reduction and fleet depreciation of vehicles powered by internal combustion, there is a fast deterioration of the tax base from 2040 onwards. The absence of discussions so far on the issue, which must be analyzed on the slow optics of fiscal evolution in Brazil, must be taken as a serious risk of fiscal crisis. The present work is an attempt to show the seriousness of the issue.

**Keywords:** Electric Vehicles. Vehicle replacement. Impacts on the tax base.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1.	Justificativa	14
1.1.	Problema De Pesquisa	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1.	Veículos Com Motor a Combustão Interna	16
	Combustíveis Tradicionais dos Veículos a Combustão	19
2.1.1.	Diesel	21
2.1.2.	Gasolina	23
2.1.3.	Etanol	24
	Vantagens e Desvantagens dos Veículos a Combustão	28
2.2.	Veículos Elétricos	29
2.2.1.	Veículos Elétricos a Bateria	42
2.2.2.	Veículos Elétricos Híbridos	45
2.2.3.	Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos	48
2.3.	Histórico Da Tributação De Combustíveis No Brasil	51
2.3.1.	Estrutura Tributária Atual dos Combustíveis Automotivos	61
	Descrição dos Tributos Incidentes Sobre os Combustíveis Automotivos	64
	Substituição Tributária	72

3.	METODOLOGIA	74
3.1.	Origem dos Dados	75
3.2.	Modelo de Regressão e Projeção	75
3.3.	Projeção do ICMS e da Substituição	76
3.4.	Curva de Substituição	77
3.5.	Índice Potencial de Arrecadação de ICMS	79
4.	ANÁLISE E RESULTADOS	79
5.	CONCLUSÃO	83
6.	BIBLIOGRAFIA	84



## 1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos da existência do ser humano, observam-se a existência de demandas constantes da humanidade por fontes de energia objetivando a transformação e o manejo da natureza, a exemplo da descoberta do fogo, resultado da queima de material orgânico, especialmente da madeira, utilizada para o preparo dos alimentos, iluminação e aquecimento (DIAMOND, 2016).

Ao longo dos anos e a evolução natural dos processos de manipulação energética antrópicos, desde a utilização da força de tração animal necessária à charrua e à movimentação da produção, fundamental ao aumento da produtividade por hectare plantado, bem como à rápida evolução tecnológica que tem resultado no aumento da procura de novas fontes e tipos de energia especialmente no campo da geração de energia mecânica.

Segundo Braudel (2009), ocorreram pelo menos duas transições no processo de geração de energia mecânica ao longo da história: o uso de roda d'água e o uso de carvão. No primeiro, a roda d'água possibilitou a conversão da energia potencial contida nos cursos d'água em energia mecânica utilizada em teares e outros dispositivos industriais, como limitação exigia a proximidade de mananciais. Já os fornos a carvão que, transferindo calor para reservatórios de água, os convertem em vapor, guiados por dutos e convertidos em energia mecânica, em sistemas suficientemente pequenos e potentes para equipar locomotivas e fábricas. Posteriormente, o vapor também passou a ser distribuído em sistemas públicos de aquecimento de edifícios.

Numa época em que a indústria exigia carvão, a iluminação pública e privada era uma consumidora voraz de óleo de baleia. A combinação dessas duas principais fontes de energia tem levado a níveis expressivos de poluição, sendo Londres conhecida por sua constante nuvem de poluição, gerada pela queima de carvão, e pela caça predatória de baleias que ameaçava muitas espécies em uma relação tão inusitada com a sociedade da época, que foi apresentada nos trabalhos com Moby Dick.

No final do século XVIII, o petróleo e seus derivados começaram a substituir o carvão, a madeira e o óleo de baleia como fontes de energia primária. Além disso, devido à sua composição química, que proporciona uma significativa capacidade energética por unidade de massa, a origem dos motores de combustão interna é muito mais eficiente do que as antigas caldeiras. Uma nova revolução energética ocorreu no século XIX: o domínio da eletricidade. Nesse período, foram construídas as primeiras hidrelétricas e, após a invenção do gerador de corrente alternada, a energia foi transportada por longas distâncias. Conforme apresentado por Hobsbawm (2006), o impacto econômico e de desenvolvimento combinado da introdução de petróleo e eletricidade teria sido relevante.

Inicialmente, os veículos eram movidos a vapor, eletricidade ou gasolina. O desenvolvimento da indústria do petróleo significou que os veículos movidos a gasolina dominaram o mercado. "Quase cem anos depois de serem derrotados por modelos movidos a motor de combustão, os veículos elétricos ressurgiram no cenário automotivo global." (BNDES, 2017).

No entanto, a crescente preocupação com a saúde dos moradores de grandes centros ao redor do mundo, a necessidade de reduzir as emissões de dióxido de carbono e a evolução tecnológica dos meios de acumulação e conversão de energia elétrica em movimento têm aumentado o interesse pela propulsão elétrica, a utilização de veículos que antes utilizavam mecanismos de combustão e que geram alto nível de poluição ambiental.

Atualmente, devido à consciência ecológica dos danos causados ao meio ambiente pela combustão do óleo por veículos com motores de combustão interna, é crescente o interesse pelo uso de veículos elétricos. Soma-se a isso o problema do uso generalizado de combustíveis fósseis, fontes de energia não renováveis. A pressão para que os países adotem práticas mais sustentáveis e com menor impacto ambiental, bem como um programa ambiental voltado para isso, impõem à indústria em geral a necessidade de adoção de novas tecnologias alternativas às tradicionais. (MELLO, MARX & SOUZA, 2013).

Segundo Freyssenet (2011), o mundo pode em breve vivenciar uma nova revolução automotiva, e parece que dois processos levaram a essa revolução. O primeiro surge da contradição entre a exploração de petróleo cada vez mais cara, os recursos limitados e a crescente demanda por petróleo nos países emergentes. Esse fato contribui para o aumento dos custos do petróleo e deve tornar as fontes alternativas de energia competitivas. A segunda decorre do novo potencial de motores alternativos que requerem menos energia de combustíveis fósseis. Isso pode levar a uma transformação tanto no uso do carro, na mobilidade e na produção de veículos.

Uma das condições da revolução é a existência de uma crise, e o sistema de transporte de automóveis a gasolina está em crise há vários anos. Os recursos de petróleo bruto estão se tornando cada vez mais difíceis de explorar e sua qualidade está diminuindo. Mesmo com fontes potenciais que ainda não foram exploradas, o pico do petróleo está muito próximo. (FREYSSNET, 2011).

Ao mesmo tempo, há um aumento no custo do uso do carro, uma diminuição relativa na lucratividade da indústria automotiva e uma diminuição no valor do uso do carro devido ao congestionamento, dificuldades em encontrar vagas de estacionamento e altos custos de estacionamento privado, poluição, altos custos com possíveis sinistros e taxas governamentais, juntamente com o advento do compartilhamento de carros - carsharing<sup>1</sup> e carona solidária - carpooling<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Carsharing é um serviço de caronas que se tornou uma solução para acessar carros sem comprar. Funciona de forma semelhante ao aluguel de automóveis tradicional, mas difere do aluguel diário pela facilidade de uso e flexibilidade (OMNICAR, 2020). O cliente assina um contrato de longo prazo com a empresa de car-sharing, que lhe permite utilizar o automóvel da empresa sem a intervenção do agente da empresa porque o automóvel se encontra em vários locais da cidade. Os usuários pagam pelo uso sem se preocupar com impostos, seguros, máquinas, depreciação, etc.

<sup>2</sup> Carpooling ou “carona solidária” consiste em um grupo de pessoas que dirige diariamente no mesmo trajeto de casa para o trabalho ou com seus filhos para a escola, enquanto o motorista do dia dirige de graça. Os

Além disso, inovações em outros setores industriais hoje têm permitido resolver muitos problemas relacionados ao uso de soluções alternativas no setor automotivo. Alguns exemplos são o desenvolvimento de baterias mais eficientes e fontes alternativas de energia para geração de energia.

Neste cenário, uma das possibilidades da segunda revolução automotiva pode ser a implantação de veículos elétricos, apesar das incertezas e deficiências. No início do século 20, quando se apostou num automóvel com motor de combustão interna, não foi a escolha mais simples, mas sim a escolha mais complexa tecnicamente, duvidosa, cara, poluidora e criticada. (BARDOU, 1982; MOM, 2004, FREISSENET, 2011).

Aparentemente, a razão desse paradoxo era que, naquela época, o petróleo era a única energia fácil de armazenar, relativamente compacta, transportável e capaz de ser distribuída em todas as regiões a um preço aceitável (MBALLA, 1998, FREISSENET, 2011), e Energia é energia. A eletricidade não é distribuída em todas as regiões. Essa foi a razão pela qual os carros elétricos foram realmente punidos na época, não os obstáculos técnicos que também existiam nos carros em chamas. Portanto, estamos empenhados em resolver os problemas dos veículos com motor de combustão interna naquela época. Hoje em dia existe a infraestrutura da rede de distribuição, e a situação com os veículos elétricos é diferente.

Em resposta a esta situação competitiva, sob a pressão do governo e da agenda ambiental internacional, as empresas fabricantes de automóveis e fornecedores de peças têm direcionado seus trabalhos de pesquisa e desenvolvimento para maior eficiência de design e produção, menos poluição e impacto negativo no meio ambiente. Carros menores. arredores. (Mello, Marx Souza,

---

custos com combustível e outras despesas são divididos entre as despesas envolvidas. De modo geral, todos os participantes possuem carro e o usam alternadamente, o que economiza despesas com viagens e ajuda a reduzir o congestionamento do tráfego, a poluição do ar e as emissões de gases de efeito estufa.

2013).

No centro desse debate, vislumbra-se a redução no uso de combustíveis fósseis, pois os combustíveis fósseis são os responsáveis pela liberação de poluentes na atmosfera. Dentro da gama de possibilidades tecnológicas que a indústria automotiva pode escolher, os veículos elétricos com diversas configurações técnicas - baterias, veículos híbridos e células a combustível - podem atender a essa nova demanda.

A indústria automotiva global está passando por um período de reestruturação, no qual tecnologias alternativas que substituam as tecnologias tradicionais devem ser consideradas para melhorar a eficiência energética dos veículos e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de poluentes. Nesse caso, diante dessa nova demanda, os veículos elétricos são vistos como uma das alternativas possíveis. (EDGAR BARASSA, 2015).

Paralelamente a esse panorama, uma série de políticas públicas e instrumentos regulatórios foram implementados, políticas e instrumentos regulatórios que estabeleceram padrões de emissão para veículos comerciais, ao mesmo tempo em que uma nova categoria de consumidores opta por adquirir veículos de forma "amigável". arredores. (FREYSSENET, 2011).

Nesta revolução que se aproxima na indústria automotiva e nos princípios técnicos adotados em carros de passageiros, as opiniões sobre se os carros elétricos parecem ser uma boa alternativa aos carros tradicionais com motores de combustão interna são contraditórias. Além da viabilidade técnica (muitos trabalhos e melhorias devem ser realizados nos próximos anos), também se levantam questões sobre a viabilidade econômica desses novos modelos movidos a energia elétrica.

Embora já exista uma infraestrutura completa de uso e manutenção de veículos a combustão, para os elétricos, a base ainda deve ser implantada e aperfeiçoada para que se possa usar a tecnologia. Como acontece com qualquer inovação, uma certa quantidade de investimento e um custo de uso inicial mais alto fazem parte disso. No entanto, a nova tecnologia deve ser

analisada antes de sua implementação, seus impactos e benefícios para a sociedade e o meio ambiente e sua viabilidade econômica.

### **1.1. Justificativa**

A indústria automotiva global está passando por um período de reestruturação, no qual tecnologias alternativas que substituam as tecnologias tradicionais devem ser consideradas para melhorar a eficiência energética dos veículos e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de poluentes. Nesse caso, diante dessa nova demanda, os veículos elétricos são vistos como uma das alternativas possíveis. (EDGAR BARASSA, 2015).

Paralelamente a esse panorama, uma série de políticas públicas e instrumentos regulatórios foram implementados, políticas e instrumentos regulatórios que estabeleceram padrões de emissão para veículos comerciais, ao mesmo tempo em que uma nova categoria de consumidores opta por adquirir veículos de forma "amigável". arredores. (FREYSSENET, 2011).

Nessa revolução iminente na indústria automotiva e nos princípios técnicos adotados pelos automóveis de passageiros, a viabilidade de substituir os carros em chamas por elétricos está cada vez mais alta, e com certeza irá melhorar nos próximos anos. Parte da receita está diretamente relacionada à tributação de diversos insumos automotivos (especialmente combustíveis) e, portanto, não tem impacto apenas nos mercados automotivo e de energia, mas também no governo.

Portanto, é importante ressaltar que, em um futuro próximo, ocorrerão mudanças que afetarão definitivamente a base de arrecadação dos entes federados, que, caso não sejam devidamente seguidas, podem trazer externalidades para as contas públicas, resultando em queda da receita. Portanto, o uso do orçamento está limitado à mencionada entidade nacional brasileira.

### **1.1. Problema De Pesquisa**

O objetivo desta tese é analisar o impacto da substituição de infraestrutura no uso e manutenção de veículos elétricos em veículos tradicionais em chamas e seu impacto na sociedade,

especialmente na base tributária do governo. Acidentes com combustível para automóveis e o impacto dessa substituição nas contas públicas.

Os impostos sobre o combustível automotivo respondem por grande parte do preço final ao consumidor, especialmente no Brasil. Portanto, é importante estudar a tributação porque a tributação tem uma grande influência no mercado analisado. O aumento da tributação eleva o preço final ao consumidor, levando a um novo equilíbrio (oferta e demanda) no mercado de combustíveis automotivos.

Ademais, como a carga tributária não é a mesma sobre todos os combustíveis, isto afeta decisivamente a competitividade entre eles. Se no passado esse fato interferiu na escolha do consumidor e nas perspectivas do mercado de combustíveis automotivos, e com o advento dos veículos bicombustível e flex, a carga tributária passará a ser um elemento básico na definição de competitividade inter-combustíveis

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Após quase um século de desenvolvimento, centenas de modelos de automóveis movidos a motores de combustão interna prevaleceram no mercado automotivo, substituindo outros modelos de propulsão. Com o desenvolvimento natural da tecnologia, os carros elétricos reapareceram na indústria automotiva mundial. “Esse esporte deve ser responsável pela substituição dos motores de combustão interna por motores elétricos de grande parte da frota nas próximas décadas”. (BNDES, 2017).

É possível prever que no longo prazo, a totalidade dos veículos predominantes no mercado mundial futuro seja elétrico – puro ou ao menos híbrido. Esta previsão é baseada em anúncios recentes e desenvolvimentos publicados que indicam o fortalecimento dessas novas realidades. Porém, ao contrário das ações já realizadas por outros países, no Brasil, por falta de incentivos governamentais e de infraestrutura inicial, não sendo trivial prever movimentos de incremento

dessa tecnologia no curto prazo. Porém, não restam dúvidas que o mercado internacional está se movendo nesse sentido, e, ainda que tardiamente, o Brasil terá de caminhar também no sentido de produzir veículos mais eficientes e sustentáveis, e essa substituição trará inúmeras repercussões, especialmente sobre o meio ambiente, sobre o mercado de veículos, o mercado de combustíveis e para o Governo, haja vista, as alterações da base tributária ocasionada pelo incremento tecnológico.

No entanto, antes de discutir os aspectos econômicos e sociais dessas mudanças, vamos primeiro apresentar dois tipos de veículos concorrentes: veículos com motores de combustão interna (MCI) e veículos elétricos (VE), e explicar suas características, vantagens e possíveis desvantagens. Ato contínuo, faremos uma exposição de iniciativas e ações em curso no país frente aos veículos elétricos.

## **2.1. Veículos Com Motor a Combustão Interna**

Em meados de 1886, o alemão Nikolaus August Otto (1832-1891) foi formado em engenharia mecânica e inventou o primeiro motor de combustão interna (MCI) do tipo quatro tempos. O motor usado hoje. Karl Friedrich Michael Benz (Karl Friedrich Michael Benz) foi o inventor do primeiro carro movido por um motor de combustão interna.

Outras contribuições importantes e avanços tecnológicos incluem outros grandes engenheiros, como Gottlieb Daimler, o engenheiro mecânico francês Alphonse Beau de Rochas (1815-1893), o empresário francês Armand Peugeot (1849-1915), o engenheiro industrial francês Louis Renault (1877- 1944). No entanto, as melhorias do sistema para motores de combustão interna só apareceram nos Estados Unidos no início do século XX. (MOWERY; ROSENBERG, 2005).

Um motor de combustão interna é uma máquina baseada nos princípios da termodinâmica, na qual ocorre a compressão e expansão de um fluido gasoso que gera força e movimento.



(TILLMANN, 2013). Esta máquina converte energia de reações químicas em energia mecânica. O processo de conversão dessa energia é realizado por meio de um ciclo termodinâmico, que envolve admissão (sucção), compressão, expansão (combustão) e escape (exaustão). Até hoje, esse tipo de motor é usado na maioria dos veículos movidos a combustível.

Para todos os efeitos, um motor de combustão interna é considerado um motor de combustão interna que usa seu próprio gás de combustão como fluido de trabalho. Na verdade, são esses gases que realizam os processos de compressão, aumento de temperatura (combustão), expansão e exaustão final. Os motores de combustão interna também são popularmente chamados de motores a explosão. Embora esse nome seja muito comum, não é tecnicamente correto, pois não é uma explosão de gás que ocorre na câmara de combustão.

No funcionamento desses motores, o que move o pistão é o aumento da pressão no interior da câmara de combustão causado pela combustão (a combustão é controlada pela frente da chama). A explosão é uma detonação dos gases (queima descontrolada sem frente de chama definida), que deve ser evitada nos motores de combustão interna a fim de proporcionar maior durabilidade dos mesmos e menores taxas de emissões de poluentes atmosféricos.

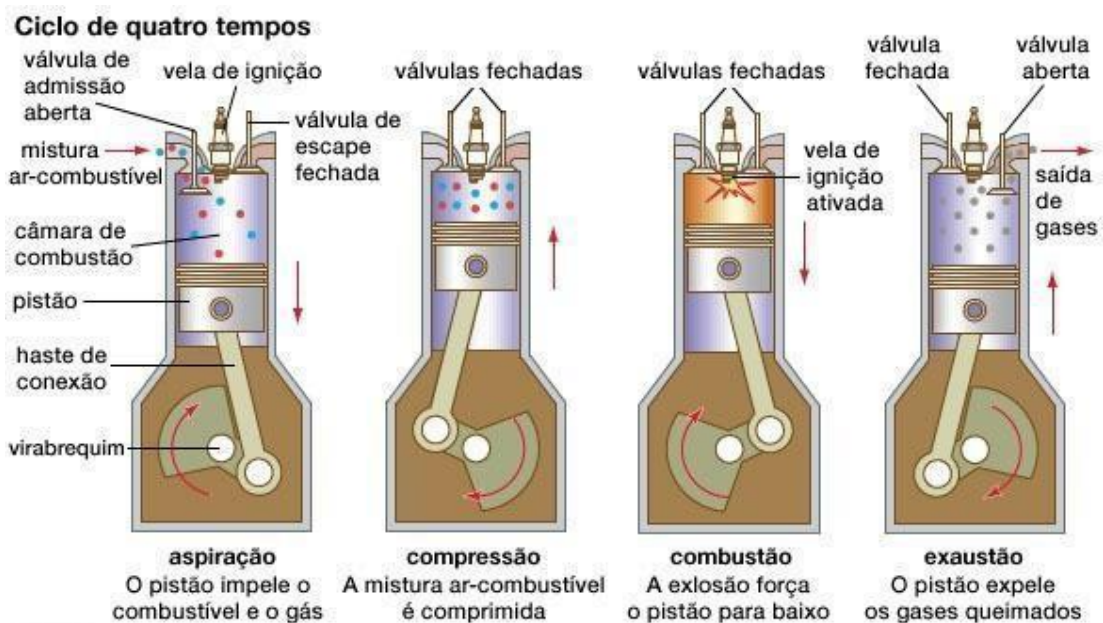
É importante ressaltar que os motores de combustão interna possuem diferentes tipos de ciclos termodinâmicos, como o ciclo principal: Otto e diesel. Eles têm suas próprias características, mas têm o mesmo modo básico de operação - eles queimam combustível para converter energia química em energia mecânica, o que faz o carro andar. Como todos se baseiam na queima de combustível, eles liberam poluentes na atmosfera, e a maioria dos modelos usa fontes de energia não renováveis.

Para esses dois tipos principais de motores, distinguimos os motores viáveis de acordo com a entrada da mistura ar-combustível (ciclo Otto) e, em seguida, usamos a faísca para queimar a mistura para promover a combustão e apenas inalar o ar e, em seguida, injetar o combustível imediatamente após a compressão. O alto calor e a alta pressão gerados pela compressão do ar de

admissão favorecem o ciclo combustão diesel.

O motor baseado no ciclo Otto é um motor de combustão interna com ignição por centelha, utilizando gasolina, gás natural ou álcool como combustível. O combustível mais usado no mundo hoje é a gasolina. (MUNDO EDUCAÇÃO, 2017). Um motor convencional a gasolina é um motor de combustão interna com ciclo de quatro tempos no qual, após a ignição por centelha elétrica por uma vela, uma mistura de ar movida a combustível entra em um cilindro e é comprimida por um pistão ou pistão. (TILLMANN, 2013). Conforme mostrado na Figura 1.

FIGURA 1 – Ciclo de Quatro Tempos – Ciclo de Otto



Fonte: Encyclopaedia Britannica, Inc (2010).

No processo aventado na figura acima, a energia química da reação química de combustão (3º tempo) é convertida em energia mecânica, que por sua vez move as rodas do carro. A energia inicial usada para gerar faíscas para queimar combustível vem da bateria do carro. Os motores de ciclo Otto são os mais utilizados em automóveis de passageiros e motocicletas em todo o mundo.

Os motores de ciclo diesel são motores de combustão interna com ignição por compressão que utilizam diesel, biodiesel e suas misturas. Um motor a diesel é um motor de combustão interna

em que o ar que entra no cilindro é comprimido por um ou mais pistões e, devido à compressão, a temperatura chega a 500 a 700°C. Uma vez que o combustível é injetado ou atomizado, a mistura entra em ignição espontaneamente devido ao calor gerado pela compressão do ar. (TILLMANN, 2013).

Os motores que movimentam veículos pesados como caminhões, trens e navios costumam ser baseados no ciclo diesel, o que não significa que este seja o combustível utilizado, mas envolve apenas o ciclo térmico em que essas máquinas operam.

Também vale a pena mencionar que o veículo do tipo flex-fuel utiliza um motor de combustão interna do tipo ciclo Otto e pode lidar com vários combustíveis misturados no mesmo tanque. Os veículos motorizados flexíveis mais comuns são os veículos motorizados que permitem o uso de gasolina e álcool. Nestes motores, o veículo detectará de forma inteligente a mistura principal de combustível e ajustará a injeção de acordo com a mistura para funcionar. Atualmente, o motor é popular apenas em automóveis e veículos comerciais leves, e seu objetivo é escolher o combustível de forma flexível, especialmente para reduzir as emissões de CO<sup>2</sup> - dióxido de carbono.

### **Combustíveis Tradicionais dos Veículos a Combustão**

Tradicionalmente, as frotas brasileiras usam três combustíveis: diesel, gasolina e álcool. No Brasil, de acordo com a regulamentação, os motores ciclo diesel não podem ser instalados em automóveis de passageiros, portanto, os automóveis só são abastecidos com gasolina, álcool e gás natural nos últimos anos. O diesel é usado em caminhões e ônibus, e também em veículos comerciais leves (vans e vans) há vários anos.

De acordo com a Avaliação do Mercado de Combustíveis de 2019 da ANP (2019), as vendas internas de combustíveis no ano de 2018 no Brasil ficaram em 55.558 mil m<sup>3</sup> de diesel, 38.352 mil m<sup>3</sup> de gasolina C (27.997 mil m<sup>3</sup> de gasolina A + 10.355 mil m<sup>3</sup> de álcool anidro) e

19.385 mil m<sup>3</sup> de etanol hidratado (totalizando 29.740 mil m<sup>3</sup> de etanol). Estes dados, bem como o aumento ou redução no consumo de outros combustíveis podem ser visto na Quadro 1.

Em análise ao quadro demonstrativo, temos que de 2015 a 2017, houve aumento nas vendas de gasolina C, que teve passou por redução em 2018. A venda de etanol e a venda de GLP (gás liquefeito de petróleo) restaram estáveis e verifica-se que o Óleo Combustível foi o tipo de combustível que teve a maior redução, na ordem de 31,58%, na variação de 2018/2017, conforme o Quadro 1.

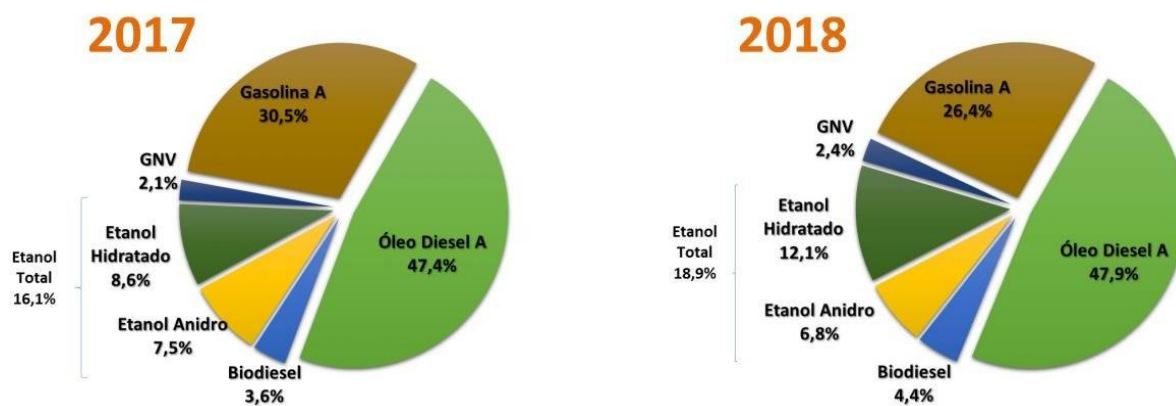
QUADRO 1 – Vendas Internas

Combustível	mil m <sup>3</sup>								Variação (%) 2018/2017
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
<b>Diesel</b>	<b>52.263</b>	<b>55.9</b>	<b>58.572</b>	<b>60.031</b>	<b>57.211</b>	<b>54.278</b>	<b>54.772</b>	<b>55.558</b>	<b>1,44%</b>
Diesel A	49.683	53.138	55.643	56.621	53.206	50.479	50.47	50.167	-0,60%
Biodiesel	2.58	2.762	2.929	3.41	4.005	3.799	4.302	5.391	25,31%
<b>Gasolina C</b>	<b>35.491</b>	<b>39.698</b>	<b>41.365</b>	<b>44.364</b>	<b>41.138</b>	<b>43.019</b>	<b>44.151</b>	<b>38.352</b>	<b>-13,13%</b>
Gasolina A	27.1	31.758	31.679	33.273	30.204	31.404	32.23	27.997	-13,13%
Etanol Anidro	8.391	7.94	9.686	11.091	10.934	11.615	11.921	10.355	-13,14%
Etanol Hidratado	10.899	9.85	11.755	12.994	17.863	14.586	13.642	19.385	42,10%
<b>Etanol Total</b>	<b>19.29</b>	<b>17.79</b>	<b>21.441</b>	<b>24.085</b>	<b>28.797</b>	<b>26.201</b>	<b>25.563</b>	<b>29.74</b>	<b>16,34%</b>
Ciclo Otto Total	46.39	49.548	53.12	57.358	59.001	57.605	57.793	57.737	-0,10%
GLP	12.868	12.926	13.276	13.41	13.249	13.398	13.389	13.257	-0,99%
Óleo Combustível	3.672	3.934	4.99	6.195	4.932	3.333	3.385	2.316	-31,58%
QAV	6.955	7.292	7.225	7.47	7.355	6.765	6.637	7.144	7,64%
GAV	70	76	77	76	64	57	51	48	-5,88%
<b>TOTAL</b>	<b>122.218</b>	<b>129.676</b>	<b>137.26</b>	<b>144.54</b>	<b>141.812</b>	<b>135.436</b>	<b>136.027</b>	<b>136.06</b>	<b>0,02%</b>

Fonte: Adaptado da ANP (2019).

Na Figura 2 podemos ver a matriz automotiva nacional para 2017 e 2018, onde o diesel ocupa o primeiro lugar no consumo, seguido pela gasolina e pelo etanol.

FIGURA 2 – Matriz Veicular Nacional



Fonte: Sistema SIMP/ANP. Dados declaratórios informados pelos agentes à ANP.

Destaca-se a ampliação da participação dos Biocombustíveis em detrimento dos derivados, com destaque para o aumento do Etanol Hidratado e do Biodiesel.

QUADRO 2 – Variação de Vendas de Combustível – 2018/2017

COMBUSTÍVEL	VARIAÇÃO
Óleo Diesel A	1,02%
Biodiesel	24,80%
<b>Etanol Anidro</b>	<b>-13,49%</b>
Etanol Hidratado	41,52%
GNV	11,80%
<b>Gasolina</b>	<b>-13,49%</b>

A seguir, discutiremos cada um dos principais combustíveis usados nos motores de combustão interna no Brasil: gasolina, etanol e diesel.

### 2.1.1. Diesel

O diesel é um composto formado principalmente por hidrocarbonetos e, em baixas concentrações, é formado por enxofre, nitrogênio e oxigênio. O diesel é derivado do petróleo e é altamente tóxico e inflamável. É utilizado para motores com combustão interna, como caminhões, ônibus, picapes e veículos off-road. No Brasil, o combustível contém alta concentração de enxofre,

muito prejudicial à saúde dos moradores. A versão limpa (S-10) tem menor teor de enxofre e menos poluição. Mesmo assim, o governo proibiu seu uso em automóveis de passageiros desde 1976 (DUNLOP, 2017)

O diesel pode ser classificado nos seguintes tipos de acordo com sua aplicação: Metrópole com teor máximo de enxofre de 0,05% e interno com teor máximo de enxofre de 0,2%. (DE SOUZA, 2017). O diesel nas grandes cidades é utilizado na frota de maior circulação (capital), e essas áreas precisam de um melhor controle das emissões. Possui baixo índice de enxofre e pode minimizar os poluentes produzidos pela combustão. Em outras partes do país, o diesel utilizado tem maior teor de enxofre.

O diesel é o combustível mais usado no Brasil. O atual modelo de energia brasileiro é baseado principalmente no transporte rodoviário e veículos com motor diesel, em detrimento do transporte ferroviário, terrestre ou costeiro. Isso torna o diesel muito importante como fonte de energia no país.

Os motores a diesel de hoje são mais robustos, potentes, duráveis e confiáveis do que os motores a gasolina, e também usam o combustível de forma mais eficiente, de acordo com o Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis dos Estados Unidos. (OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY, 2003). Como o diesel tem uma cadeia de hidrocarbonetos maior, ele tem um valor calorífico mais alto (mais calor é gerado durante a combustão). Isso torna os veículos movidos a combustível mais econômicos e consomem menos combustível por quilômetro. Portanto, os motores a diesel são mais eficientes do que os motores a gasolina.

Por outro lado, o combustível mais importante é o combustível mais poluente, e o principal gás de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), tem as maiores emissões. No processo de combustão, o gás e as partículas emitidas pelo motor diesel podem prejudicar a qualidade do ar. Embora seja um combustível mais econômico, a combustão do diesel ainda emite compostos que

são prejudiciais ao meio ambiente e possuem propriedades cancerígenas. (ECYCLE, 2017).

Ainda segundo eCycle (2017), em um motor diesel, a mistura ar + combustível é menos homogênea do que a gasolina, e o diesel é um combustível menos volátil. Portanto, para garantir a combustão completa, deve haver excesso de ar na câmara de combustão. Na ausência desse excesso, o motor emite fuligem, monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) devido à combustão incompleta, e o motor polui o meio ambiente sete vezes mais que a gasolina.

### 2.1.2. Gasolina

Constituído essencialmente por hidrocarbonetos, a gasolina é um combustível que pode conter compostos de enxofre e nitrogênio. Em geral, esses hidrocarbonetos são "mais leves" que os hidrocarbonetos que compõem o diesel, pois são formados a partir de moléculas com cadeias de carbono mais baixas.

Segundo a ANP (Agência Nacional do Petróleo, 2017), a gasolina é o segundo maior consumo de combustível no Brasil, atrás apenas do diesel. Sua composição final depende da origem do óleo e do processo de produção. A gasolina vendida no país é a gasolina A sem etanol, vendida por produtores e importadores de gasolina. A gasolina C e o etanol anidro combustível adicionado pelas distribuidoras são vendidos às distribuidoras e, posteriormente, ao consumidor final.

No posto revendedor, os consumidores podem escolher gasolina comum, gasolina aditivada e gasolina premium. A gasolina comum, oficialmente chamada de Tipo C, é extraída do petróleo e sua composição contém enxofre. Portanto, este é o mais poluente. É o ingrediente mais comum em postos de gasolina e contém de 25% a 27% de etanol absoluto (valor estipulado pela regulamentação).

A gasolina aditivada é a gasolina do tipo C com detergente, que pode evitar o acúmulo de detritos no motor, mas não afeta a potência do carro. Por outro lado, a gasolina premium é a mais

cara, tem o maior índice de octanagem do mercado e tem maior eficiência de combustão. O teor de etanol é de 25%, o que pode estender a vida útil de certos componentes do motor e reduzir a poluição. Normalmente, é usado em veículos de alto desempenho para fazê-los resistir a taxas de compressão mais altas no motor.

A gasolina e o diesel contém hidrocarbonetos de cadeia longa, então outros compostos são liberados, como o benzeno altamente cancerígeno ( $C_6H_6$ ) e o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), que podem causar graves danos aos pulmões e tornar a chuva ácida. Como o diesel tem uma grande cadeia de hidrocarbonetos, o diesel é o combustível veicular mais poluente, seguido pela gasolina. (NOVA CANA, 2020).

A ANP colabora com os órgãos de proteção ambiental para fornecer a última fase do "Plano de Controle da Poluição do Ar Automotivo" para veículos leves. Como exemplo da evolução do plano, pode-se citar o teor de enxofre da gasolina, cujo valor máximo foi reduzido em cerca de 96,7% nos últimos 18 anos. O limite atual para a gasolina C é de 50 mg / kg. (ANP, 2017).

### 2.1.3. Etanol

Embora presente em diversos produtos do dia a dia, o etanol ainda é comumente utilizado como combustível. Etanol é o nome técnico do etanol combustível, que pode ser produzido a partir de moléculas de açúcar presentes em vegetais como milho, mandioca, trigo, beterraba e cana-de-açúcar. Comparado com os combustíveis fósseis, é uma fonte de energia natural, limpa, renovável, sustentável e democrática.

Quando usado como combustível, o etanol existe na forma pura ou misturado à gasolina. O etanol comum vendido em postos de gasolina é o etanol hidratado. Em sua composição, o teor de etanol é de 95,1% a 96%, e o restante é água. Também é utilizado na produção de alimentos, bebidas, produtos de limpeza, cosméticos, vacinas, etc. Apenas o processo de beneficiamento afetará o uso do etanol. (BIOBLOG, 2017).



O etanol anidro é usado para se misturar à gasolina. No Brasil, a proporção obrigatória chega a 27,5%. Essa estratégia não apenas minimiza as emissões de gasolina na atmosfera, mas também a torna mais barata. O teor de álcool do etanol absoluto é próximo a 100%. A palavra "anidro" vem do grego e significa "sem água". Além de misturar o etanol absoluto à gasolina, também pode ser utilizado para fins industriais para integração de componentes de solventes, tintas e aerossóis. (BIOBLOG, 2020).

Por ser obtido de vegetais, o etanol é considerado um combustível renovável. É também um combustível sustentável, pois grande parte do gás carbônico lançado na atmosfera em sua produção é absorvido pelo próprio vegetal durante a fotossíntese. Segundo dados da IEA (International Energy Agency), a utilização de etanol produzido através da cana-de-açúcar reduz em média 89% a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), se comparado com a gasolina. Isto torna o etanol um dos combustíveis mais viáveis ecologicamente.

O etanol de outras fontes também ajuda a reduzir o problema, mas em menor grau, o etanol produzido a partir da beterraba foi reduzido em 46% e o etanol de grãos em 31%. (NOVA CANA, 2020). Além dos gases de efeito estufa, a gasolina e o diesel também liberam mais substâncias nocivas à saúde humana, como o óxido nitroso (NO e N<sub>2</sub>O) que forma ozônio (O<sub>3</sub>) e monóxido de carbono (CO).

Por exemplo, o ozônio formado a partir do óxido nitroso pode causar dificuldade respiratória, irritação nos olhos e envelhecimento prematuro, enquanto o monóxido de carbono reduz a oxigenação no sangue e pode causar tontura. O álcool também libera essas substâncias, mas em quantidades menores, porque elas queimam mais nos motores dos automóveis.

No entanto, as características do etanol por si só não podem garantir que seu nível de poluição seja inferior ao de outros combustíveis. A tecnologia utilizada nos veículos é um fator de extrema importância na redução da quantidade de substâncias nocivas lançadas na atmosfera.

Portanto, os carros novos movidos a gasolina são geralmente mais prejudiciais do que os carros movidos a álcool antigos. Além disso, os carros equipados com motores flexíveis (que aceitam gasolina e etanol) geralmente são mais adequados para queimar combustíveis fósseis, resultando quase na mesma poluição e, em alguns casos, até menos do que a gasolina. (NOVA CANA, 2020).

A cana-de-açúcar é a fonte mais simples e produtiva de produção de etanol. Essa é a vantagem do Brasil por ser o principal produto da extração de etanol do Brasil. O Brasil tornou-se referência mundial na produção sustentável e eficiente de produtos. No entanto, é o segundo país que mais produz etanol, sendo o maior os Estados Unidos. Todavia, eles produzem etanol a partir do milho, uma matéria-prima menos eficiente.

Segundo dados do site Nova Cana (2020), o rendimento médio da produção de etanol por hectare de cana-de-açúcar é de 7.500 litros, enquanto a mesma área de milho nos Estados Unidos é a principal matéria-prima do etanol produzido por fermentação, e a produção é de 3.000 litros de combustível.

O Brasil possui características agrícolas que tornam extremamente viável a cultura do produto. Mesmo sendo o maior produtor mundial de etanol da cana-de-açúcar, e segundo maior de álcool, perdendo para os Estados Unidos, as terras cultiváveis no Brasil destinadas ao produto representam apenas 1% de toda área agricultável. Com o dobro dessa área, o país poderia abastecer toda a sua frota de veículos leves com o etanol. Além disso, o país já possui uma experiência de mais de 30 anos na produção do álcool (desde o Proálcool<sup>3</sup>, em meados da década de 70), enquanto a maioria dos países têm pensado na utilização do combustível bem recentemente. Isso faz a nação ter a melhor tecnologia de produção do combustível, que tem na

---

<sup>3</sup> O Proálcool ou Programa Nacional do Álcool é um plano de substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados do petróleo pelo álcool combustível, financiado pelo governo brasileiro em 1975 devido à crise do petróleo de 1973. O plano terminou em 1990. (BIODIESEL BR, 2017).

cana-de-açúcar a melhor matéria prima entre todos os vegetais. (NOVA CANA, 2020).

Adicionalmente, uma outra vantagem do etanol é em relação à potência do motor. Ao usar álcool como combustível, o valor da potência de um carro flexível é ligeiramente superior ao da gasolina. Isso ocorre porque o etanol suporta bem a compressão - essa proporção é a relação entre o cilindro e a câmara de combustão e representa o espaço que a mistura ar-combustível pode ocupar quando o pistão está abaixo e acima. Quanto maior a taxa de compressão, maior a eficiência térmica do motor. (JOVEM PAN, 2020).

A taxa de compressão dos veículos a gasolina é de 9: 1 (9 vezes o volume original), enquanto a taxa de compressão dos modelos a etanol é de 12: 1. Em média, os carros a álcool são 2% mais fortes do que os carros a gasolina, mas dependendo do modelo, essa diferença pode ser zero ou perto de 9%. "Por exemplo, se analisarmos o motor Chevrolet Prisma 1.4, veremos que ele produz 89 cv de gasolina e 97 cv de etanol." (JOVEM PAN, 2020). Apesar dos benefícios durante a operação, o consumo de etanol é em média 30% mais rápido que a gasolina.

Em relação à quilometragem, a produção média de etanol é de 70% da gasolina. Em breve, um veículo telescópico que percorre 10 quilômetros por litro de gasolina percorrerá 7 quilômetros a álcool. Portanto, a escolha entre o etanol e a gasolina vai depender do preço, e é mais econômico usar o etanol quando o etanol é 30% mais barato que a gasolina. Se a saída for a mesma, o biocombustível tem a vantagem de maior potência e octanagem. Só preciso ter cuidado com o etanol em áreas muito frias e com o tempo, pois o etanol perde sua capacidade de queimar abaixo de 13°C.

Um debate importante fica em evidência quando se fala na massificação da utilização do álcool como combustível nos automóveis, em substituição à gasolina, é a competição entre a plantação de alimentos para alimentação e para utilização como combustível, quando existem no mundo tantas pessoas passando fome. Essa é uma questão que pode ser evidenciada nos próximos

anos, se a ideia de substituir a gasolina pelo álcool for levantada como uma aposta para a redução do consumo de combustíveis fósseis e da emissão de gases poluentes.

### **Vantagens e Desvantagens dos Veículos a Combustão**

Nos veículos rodoviários de hoje, o processo de combustão usado para converter a energia dos combustíveis derivados do petróleo pode produzir altos níveis de poluição, o suficiente para prejudicar o meio ambiente e colocar em risco a saúde humana, especialmente em áreas densamente povoadas. Esses poluentes incluem monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado, compostos orgânicos voláteis e dióxido de enxofre.

A queima de combustíveis derivados do petróleo também libera gases de efeito estufa (GEE), principalmente dióxido de carbono, mas também óxido nítrico, carbono negro e metano, que provavelmente causam as mudanças climáticas. Além disso, outro ponto-chave dos motores de combustão interna é que a maioria deles usa combustíveis fósseis, que são fontes de energia não renováveis.

Os motores de combustão interna têm desempenho muito baixo. Segundo o Instituto de Física da UFRGS (2020), a eficiência real dos motores do ciclo Otto está entre 22% e 30%, enquanto a eficiência real dos motores a diesel está entre 30% e 38%. Este baixo desempenho é devido à perda de calor e perda mecânica causada pelo atrito entre várias partes móveis.

Se considerarmos também as perdas causadas pela extração de combustível - a análise de "roda para poço" - o rendimento é ainda menor. Por exemplo, ao converter óleo em diesel e usá-lo como combustível, apenas 15% da energia do processo será convertida em movimento. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Atualmente, a indústria de máquinas tem melhorado e melhorado continuamente a qualidade e a eficiência dos motores que produz, principalmente devido à necessidade de controlar as emissões e otimizar o consumo de combustível, o que fez grandes mudanças no design e

operação dos motores de combustão interna.

Nesse sentido, muitas pesquisas têm se voltado para o desenvolvimento de novas formas de energia, a restauração e o aprimoramento de novos combustíveis (principalmente etanol, biodiesel e outros biocombustíveis de biomassa) e a pesquisa de veículos elétricos.

Por outro lado, em comparação com os veículos elétricos, os carros MCI apresentam vantagens importantes. Os carros a combustão têm grande autonomia de aproximadamente 650 a 800 quilômetros. Além disso, o tempo de reabastecimento é inferior a 5 minutos, e os postos de gasolina em todo o país já contam com infraestrutura de grande porte.

Em termos de custo, o custo de compra de um carro tradicional é muito inferior ao preço de um carro elétrico - com o valor de comprar um carro elétrico compacto popular, os carros a gasolina podem ser adquiridos em um segmento superior do mercado. Como a tecnologia foi dominada, a taxa de depreciação dos veículos tradicionais também é baixa. No caso dos carros elétricos, não está claro o que acontecerá após 3 ou 5 anos de uso, portanto, na hora de comprar esses carros usados, não há garantia, o que vai causar certas preocupações.

Adicionalmente, os veículos MCI podem atingir velocidades mais altas do que os veículos elétricos. Embora a velocidade máxima permitida no Brasil seja de 110 km / h, a incapacidade dos carros elétricos de atingir velocidades tão altas quanto os carros convencionais pode frustrar alguns motoristas.

## **2.2. Veículos Elétricos**

De acordo com Barreto (1986), em 1837, na Inglaterra, foi construída a primeira carruagem elétrica. Portanto, quase 40 anos antes do primeiro automóvel a motor de combustão interna (ICEV), o Patentmotorwagen, de Karl Benz, em 1886. Segundo Hoyer (2008), a história dos veículos elétricos está intimamente relacionada à história das baterias. Em 1859, Gaston Planté, na Bélgica, exibiu a primeira bateria com chumbo e ácido. Desde o início da década de 1880,

vários veículos elétricos desenvolvidos na França, nos Estados Unidos e no Reino Unido começaram a usar esse dispositivo.

Estes veículos eram preferidos pela população à época por não trazer os inconvenientes dos automóveis à combustão interna (ICEV) e externa (veículos a vapor), tais como: barulho, fumaça, esforço e riscos à integridade física na partida à manivela, causada por contragolpes do motor de combustão interna, além da demora e do risco de incêndios, no caso dos motores de combustão externa.

Benz, em 1885, apresentou o primeiro motor de combustão interna, mas desde a década de 1890, a indústria automobilística começou a se desenvolver mais rapidamente (a Europa era inicialmente mais rápida que os Estados Unidos). Na virada do século, o carro mais popular nos Estados Unidos era o "Locomobile" movido a vapor. Naquela época, o mercado norte-americano era dividido principalmente em mercados de eletricidade e vapor. Em 1899, foram vendidos 1.575 carros elétricos, dos quais 1.681 a vapor e 936 a gasolina (Cowan e Hultén, 1996).

Em 1901, Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos elétricos, desenvolveu uma bateria de níquel-ferro com capacidade de armazenamento 40% maior do que uma bateria de chumbo, mas o custo de produção era muito superior. As baterias de níquel-zinco e zinco-ar também foram lançadas no final do século XIX. A falta de capacidade de armazenamento da bateria foi considerada um ponto fraco dos veículos elétricos.

Na época, além das baterias, foram desenvolvidas duas tecnologias para melhorar o desempenho dos veículos elétricos: a frenagem regenerativa, que incluía a conversão da energia cinética do carro em elétrica durante o processo de frenagem, e um sistema híbrido a gasolina e elétrico.

Segundo Hoyer (2008), há um recorde de produção de um carro em 1903, que tem as características de um carro híbrido: é equipado com um pequeno motor de combustão interna ligado a um gerador e uma bateria, que fornece gás para dois pequenos caminhões. O motor elétrico

é acoplado às rodas dianteiras. Outro modelo produzido entre 1901 e 1906 pode ser chamado de híbrido paralelo: um motor de combustão interna pode ser usado para fornecer tração e carregar a bateria, e um motor elétrico que pode fornecer energia adicional para o motor de combustão interna ou em tráfego lento. O objetivo do primeiro carro híbrido era compensar a baixa eficiência das baterias usadas nos veículos elétricos puros e a estrutura instável de distribuição de energia nas cidades do início do século XX.

Enquanto as vendas de automóveis a gasolina cresceram mais de 120 vezes, entre 1899 e 1909, nos E.U.A., e as de elétricos somente dobraram (Cowan e Hultén, 1996).

O declínio dos carros elétricos a partir de então se deveu principalmente aos seguintes fatores (EIA DOE, 2009):

a) Nos anos 1920, as rodovias dos E.U.A. já interconectavam diversas cidades, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias;

b) As descobertas de petróleo no Texas permitiram a redução do preço da gasolina;

c) Em 1912, foi criado um dispositivo que eliminou a manivela, até então utilizada para dar a partida nos veículos a gasolina; e

d) O sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre USD \$500 e \$1.000, a metade do preço dos elétricos.

Os veículos movidos a eletricidade, veículos a vapor e a gasolina, disputavam a preferência dos consumidores, mas, estas tecnologias apresentavam sérios problemas técnicos. No entanto, os fabricantes dos automóveis a gasolina foram os mais rápidos em solucioná-los. Para os veículos de combustão interna, os maiores problemas técnicos eram o barulho excessivo, resolvido através de abafadores acústicos, a dificuldade para dar a partida com a manivela, resolvida com o motor de arranque. Para os veículos a vapor o maior problema era o consumo excessivo de água e em consequência a baixa autonomia, necessidade de aquecimento 20 minutos antes de qualquer

viagem e a baixa velocidade. Já os elétricos tinham os seguintes problemas: dificuldade em subir ladeiras muito íngremes; baixa autonomia; e baixa velocidade. Todos estes problemas estavam relacionados à falta de capacidade de armazenamento das baterias, e persistiam devido à lentidão com que a tecnologia das baterias se desenvolvia.

Em 1899, foi quebrado o recorde de velocidade pelo belga Jenatzy, a bordo de um veículo elétrico, o “La Jamais Contente”, que atingiu 106km/h (figura 3).

FIGURA 3 – Jenatzy a bordo do seu “La Jamais Contente”



Fonte: Nature (2018).

Desta forma, a partir de 1902, os automóveis a gasolina passaram a dominar as provas de velocidade.

Após a década de 1920, o motor de combustão interna (MCI) tornou-se claramente a tecnologia dominante. Em 1924, os Estados Unidos produziram 381 carros elétricos e 3.185.490 carros a gasolina (COWAN E HULTÉN, 1996). Os veículos elétricos começaram a ser produzidos em pequena escala, durante esse período, a tração elétrica era quase reservada para o transporte público, como ônibus, bondes e trens, bem como para cargas industriais (empilhadeiras e máquinas de tração industriais utilizadas em minas), usado principalmente para serviços de coleta e transporte de lixo municipal em algumas cidades dos Estados Unidos e do Reino Unido.



Ato contínuo a descoberta dos campos de petróleo na virada do século, com o desenvolvimento da tecnologia contínua, o desenvolvimento da tecnologia de destilação e a consequente redução do custo dos derivados de petróleo, todos os desenvolvimentos tecnológicos da indústria automotiva concentraram-se nos motores de combustão interna. Em 1920, quase todos os carros eram equipados com partida elétrica.

Com a crise do petróleo em 1973 e 1979, as pessoas voltaram a pensar em como substituir parte do petróleo na matriz energética do setor de transportes. Vários experimentos foram realizados e determinados veículos foram comercializados. A característica observada é que esses veículos usam a mesma tecnologia de armazenamento de energia da primeira fase dos veículos elétricos (1837-1912), ou seja, baterias de chumbo-ácido. A composição básica é a mesma das baterias de arranque de automóveis tradicionais. As placas de chumbo estão imersas em ácido sulfúrico, mas existem Alguns usos não comerciais. Vale ressaltar que Gurgel (1926-2009) trabalhou arduamente para produzir o primeiro carro elétrico brasileiro, Itaipu, em 1974, com percurso autônomo de 60 quilômetros (Figura 4).

FIGURA 4 – “Itaipu - Gurgel”



Fonte: Quatro Rodas (2018).

Os esforços para produzir carros com maior autonomia continuaram até a primeira metade da década de 1980, quando a crise do petróleo foi finalmente superada e os preços no mercado internacional começaram a cair. Foi também nessa época que os avanços da tecnologia eletrônica aumentaram a eficiência dos motores de combustão interna. No Brasil, o sucesso do programa governamental "Proálcool" ainda era notável, inviabilizando a produção comercial de veículos elétricos.

Na 92ª Conferência Ecológica, realizada no Rio de Janeiro, foi afirmado artificialmente que os níveis de poluição nos grandes centros estão aumentando, e as emissões de gases de efeito estufa aumentaram, o aquecimento global e a degradação ambiental causada pelo homem atingiram seu pico. Com a assinatura do "Protocolo de Kyoto" no Japão em 1997, na perspectiva de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar nos grandes centros urbanos, os veículos elétricos projetados nesta fase não são mais obrigados a substituir completamente os motores de combustão interna, tendo como premissas de sucesso o custo, o desempenho e a autonomia próximos daqueles.

Nesta fase, procura-se projetar e produzir um veículo que, mesmo não tendo o ciclo completo de balanço de emissão de dióxido de carbono nulo ou quase nulo, a exemplo do etanol combustível, contribua para a redução dos níveis de poluição atmosférica e sonora nos grandes centros e que completamente a oferta de meios de transporte autônomos diversificando, assim, a matriz energética para o setor de transportes.

Um marco desta nova maneira de se enxergar o veículo elétrico foi o lançamento do

GM EV1, da General Motors, em 1996, conforme mostrado na figura 5. Este automóvel incorporava novas tecnologias em baterias e sistemas de propulsão, tais como motor de corrente alternada e inversor de frequência.

FIGURA 5 – “GM EV1”



Fonte: Portal Energia (2020)

O veículo EV1 nunca foi vendido, mas alugado em contratos de longa duração. Ao final do primeiro contrato, a GM não deu continuidade ao projeto por motivos estratégicos. A configuração EV1 (com baterias específicas de alta energia, motores CA e conversores de frequência) ainda é a alternativa escolhida pelas montadoras para o desenvolvimento dos veículos elétricos atuais (2008).

Em solo nacional,, podemos citar o caso do Palio Elétrico em 2006 (Figura 6) e o carro conceito FCC II em 2008 (Figura 7), que foram projetados e fabricados no Brasil pela Fiat Automóveis S / A, mas combinados com algumas peças importadas, principalmente a, bateria e motor.

FIGURA 6 – “Fiat Palio Elétrico”



Fonte: Portal Carros Blog (2010)

FIGURA 7 – “Fiat FCC II”



Fonte: Portal de Notícias G1 (2009)

O motor elétrico automotivo funciona de maneira muito diferente dos tradicionais a combustão. Ao contrário dos veículos comuns, os veículos elétricos não requerem um sistema de marchas, então a caixa de marchas tem apenas as funções de "aceleração" e "ré". Além disso, o carro não liga, basta colocar a chave na posição "on". A operação desse tipo de veículo é realizada por um regulador que transfere a quantidade correta de energia da bateria para o motor.

A estrutura mecânica proposta de um veículo elétrico é significativamente diferente daquela de um veículo movido por um motor de combustão interna. Os carros elétricos usam eletricidade para gerar eletricidade, o que reduz a pressão sobre a demanda de combustível fóssil e reduz as emissões de gases de efeito estufa do carro, porque o combustível não é queimado no processo.

Atualmente, o número de veículos elétricos em circulação aumenta a cada dia devido à crescente conscientização sobre os danos ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis nos veículos MCI. A energia elétrica utilizada na movimentação de veículos elétricos pode ser obtida sem agredir o meio ambiente

A energia hidrelétrica, solar e eólica são exemplos de acesso de baixo custo à energia - embora possam trazer um maior investimento inicial, após a instalação, seus custos de geração de

energia são muito baixos em comparação com processos de extração e refino caros e demorados. Hoje, os usuários de veículos elétricos podem obter energia eólica e solar em casa. A Figura 8 mostra um modelo de cobertura para carros feita de painéis solares.

FIGURA 8 – “Modelo de cobertura para carros feita de painéis solares”



Fonte: Calixto (2017).

Algumas pessoas dizem que um verdadeiro carro flexível é um carro elétrico, porque sua energia - eletricidade - pode ser obtida de diferentes fontes. Espera-se que novas formas de uso da eletricidade sejam promovidas nos próximos anos. Nesse sentido, os veículos elétricos são verdadeiramente independentes e podem fornecer energia para o motor.

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), 750 mil veículos elétricos foram vendidos no mundo em 2016. Com isso, a frota de elétricos nas ruas chega a 2 milhões de veículos. Os principais mercados desse tipo de veículo são China, Estados Unidos, Japão, Noruega e Holanda. O número pode parecer grande, mas ainda é pouco. A estimativa da frota de veículos no mundo passa de 1 bilhão. (CALIXTO, 2017).

Segundo dados da Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), os veículos elétricos licenciados no Brasil representaram 0,18% do total de veículos em 2016. Segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), são 3.818 veículos elétricos, num total de 2 milhões de carros novos. Além disso, segundo a Anfavea, desde 2006, apenas 2,5 mil carros verdes foram registrados na frota atual de aproximadamente 50 milhões de carros. (MARTINS, 2017).

O país ainda não produziu veículos elétricos, e cerca de 80% dos carros importados e exportados dentro do país utilizam tecnologia híbrida, ou seja, possuem motores de combustão interna com baterias. Entre os seis modelos importados, apenas um não é híbrido - o carro da marca alemã BMW i3 (Figura 9), de aparência popular e preço luxuoso, a partir de 160 mil reais.

FIGURA 9 – “BMW i3”



Fonte: Car and Driver (2017).

Todos concordam que esse segmento de mercado só se desenvolverá se forem adotadas políticas públicas de estímulo (como isenções fiscais e incentivos a potenciais compradores). Embora o país tenha adotado algumas medidas específicas, como a resolução da Câmara de Comércio Exterior (Camex), que isenta o imposto de importação de veículos elétricos (desde então essa alíquota aumentou 35% do valor total do carro), os incentivos ainda são quase ineficazes. O governo quase não tem medidas para estimular a pesquisa, o desenvolvimento, a produção e a

comercialização de veículos elétricos no país.

Com essa Resolução da Camex, o modelo BMW i3 que chegava ao país por quase R\$ 20 mil, sai hoje por volta dos R\$ 160 mil em sua versão de entrada. Elétricos puros, como o Renault Zoe (13 mil euros) (Figura 10) ou Mitsubishi i-MiEV (20 mil euros) (Figura 11) tem, no Brasil, preços também nesta faixa. Portanto, é importante notar que o mecanismo de incentivo é muito baixo: você pode comprar cinco carros populares zero com esse valor. (MARTINS, 2017).

FIGURA 10 – “Renault Zoe - Elétrico”



Fonte: ZEEV (2020).

Por outro lado, carros híbridos ainda têm imposto de importação de até 7%, dependendo do grau de eficiência energética. Adicionalmente, pela legislação atual estão incididos ainda PIS/COFINS (13%), ICMS (de 12% a 18%, a depender da unidade federativa), e o IPI, cujo percentual máximo pode chegar a 55%. Hoje, a maior parte dos carros verdes parte de 25% de acréscimo por IPI. Isso faz com que a tributação que incide sobre os carros elétricos possa ultrapassar os 120%. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Em outros países, políticas de incentivo efetivas têm sido formuladas, como linhas especiais de financiamento para aquisição de veículos elétricos com taxas de juros diferenciadas, isenção de taxas de estacionamento e pedágios, e até mesmo permitindo o trânsito de veículos coletivos em áreas restritas. (Clube do Carro Elétrico, 2017).

FIGURA 11 – “O elétrico Mitsubishi i-MiEV.”



Fonte: Exame (2011)

Em Oslo, Noruega, os proprietários de veículos verdes podem se beneficiar ao dirigir em faixas exclusivas para ônibus e, assim, obter toda a estrutura de carregamento instalada em casa. Em 2015, havia 50.000 veículos elétricos em circulação na Noruega - 20 vezes mais que no Brasil. Lá, os veículos ecologicamente corretos foram responsáveis por 25% das placas de veículos zero quilômetro, estabelecendo um recorde mundial. (MARTINS, 2017). O resultado mostra como medidas de incentivo implantadas em países onde o carro elétrico cresceu, dão frutos, se bem adaptadas.

As políticas públicas são essenciais para que tecnologias que são de ruptura e que encontram resistências iniciais possam ser fortalecidas e apoiadas. O caso dos veículos elétricos é um exemplo. Eles estão disputando mercado com os veículos a combustão interna, que são majoritariamente dominantes. (CLUBE DO CARRO ELÉTRICO, 2017).

Sem incentivos, é difícil para as montadoras medir a participação relativa dos veículos elétricos no mercado brasileiro. A incerteza nas vendas acaba atrapalhando a pesquisa e desenvolvimento de veículos elétricos. O desenvolvimento e projetos de veículos elétricos aguardam estímulos governamentais, sendo um bom investimento tanto para montadoras quanto para consumidores. Segundo Martins (2017), “o movimento do governo para isenção de impostos



existe, mas ainda não é suficiente, nem está clara para os próximos anos”. Como resultado, os projetos demoram para sair do papel e serem implementados pela indústria, que fica no aguardo de uma movimentação do poder público.

“Os automóveis brasileiros tradicionalmente carregam uma carga tributária, mas o imposto sobre os carros verdes é particularmente mais pesado. Desde o advento da tecnologia em 2006, essa tem sido a meta das montadoras.” disse Martins (2017). Preços mais baixos podem expandir a escala de novos mercados. Os preços são mais competitivos e mais motoristas irão aderir ao verde e entender seu apelo e benefícios.

Além disso, conforme a tecnologia se expande e as vendas aumentam, a capacidade de investimento das montadoras aumentará, reduzindo assim os custos de produção. Se parte do imposto for desonerada no início dessa fase, toda a rede vai baratear os carros e abrir as portas para futuras discussões sobre novos impostos. Portanto, é importante que, nessa fase inicial de transição, o governo tenha proposto medidas assistenciais para a compra de veículos elétricos, de forma que os veículos elétricos possam ser utilizados primeiro pelos consumidores e depois para quebrar o círculo vicioso de alto custo e baixa demanda.

Depois de atingir um certo limite de vendas anuais, a produção em massa pode reduzir rapidamente o preço das baterias, reduzindo assim o preço dos carros. Os menores custos de produção e montagem de veículos elétricos irão expandir o declínio. Os veículos totalmente elétricos requerem menos materiais e componentes e são mais fáceis e rápidos de produzir e manter. (FREYSSINET, 2012).

Entre os desafios para a implantação de veículos elétricos no país, além da autonomia, o custo é particularmente destacado. O impacto ambiental e financeiro da eliminação ou reciclagem de baterias de veículos elétricos também precisa ser analisado.

### 2.2.1. Veículos Elétricos a Bateria

Para ser operacionalizado, o veículo elétrico necessita de um ou mais motores elétricos cuja energia provém de uma ou mais baterias, as quais devem ser recarregadas periodicamente através de uma rede elétrica ou outra fonte energética externa ao veículo. Existem ainda algumas configurações as quais incluem extensor de autonomia<sup>4</sup> possibilitando então a extensão da autonomia desses veículos. Existe também um mecanismo chamado de frenagem regenerativa, que tem seu acionamento no momento em que o freio é pressionado para reduzir a velocidade, transformando a energia cinética do veículo em energia elétrica a qual é armazenada na bateria.

A diferença entre esses veículos elétricos dos veículos usuais está no fato dos primeiros utilizarem um sistema de propulsão elétrica em vez de soluções comuns de motor de combustão interna. O motor elétrico utiliza a energia química armazenada na bateria recarregável e a converte em energia elétrica para fornecer energia ao motor, que é então convertida em energia mecânica para fazer com que o veículo se mova. (VERDES SOBRE RODAS, 2020).

O abastecimento de veículos elétricos é atualmente um dos maiores problemas técnicos. São diversas as formas de abastecimento desses veículos. Um deles é o carregamento que pode ser feito em casa, à noite, e leva cerca de 6 ou 8 horas para carregar totalmente. Contudo, a conexão entre a rede doméstica e a bateria do carro requer equipamento especial, pois uma conexão direta a uma tomada residencial não atende às condições de segurança adequadas. A Figura 11 ilustra o carro elétrico sendo carregado no totem de carregamento.

---

<sup>3</sup> Veículo elétrico com extensor de autonomia funciona como um veículo elétrico a bateria. Quando a bateria está por descarregar, um pequeno motor a combustão é acionado para gerar energia para recarregar a bateria. Então, o extensor de autonomia nada mais é do que um motor a combustão interna instalado a bordo para complementar a autonomia do carro. (VERDES SOBRE RODAS, 2020).

A recarga destes veículos pode ser feita também em rede pública, em parques de estacionamento público, estacionamentos de centros comerciais, etc. A depender do modelo do veículo, ele pode usar o método de carregamento convencional, que leva de 6 a 8 horas, e o tempo de carregamento mais rápido é de 20 a 30 minutos. O carregamento rápido pode ser feito por meio de uma bateria com um sistema de gerenciamento de energia para absorver lentamente a energia da rede. Ao carregar (por exemplo, em um posto de gasolina), a energia armazenada pode ser rapidamente transferida para a bateria do carro. (DE CASTRO, 2013).

Outra possibilidade é através de um sistema de troca rápida de bateria, onde a bateria descarregada é substituída por uma carregada e poderia ocorrer essa troca em postos de combustíveis, levando poucos minutos.

FIGURA 12 – “Carro elétrico sendo recarregado em um totem”



Fonte: Império das Baterias (2017).

Visto que sua função é de armazenar energia necessária para o deslocamento do veículo, a bateria, portanto, é o componente central do veículo elétrico. “A bateria, que representa cerca de 40% do custo do veículo, é hoje um dos principais gargalos do carro elétrico no mundo todo”. (DE CASTRO, 2013). O alto custo deste componente é considerado um dos principais fatores impeditivos à popularização dos veículos elétricos e este custo permanecerá elevado até que as baterias sejam produzidas em massa.

Também são barreiras à popularização dos veículos elétricos sua autonomia restrita, quando comparado com os motores de combustão. A autonomia média de um veículo elétrico situa-se entre 100 e 200 km, podendo variar conforme a marca e o modelo do veículo e de acordo com o perfil de utilização – são fatores de variação que influenciam a autonomia: o estilo de condução, de percurso e a utilização ou não da climatização. (EDP, 2020).

São vários os tipos de baterias que podem ser usados em veículos elétricos. As baterias projetadas para tração de VEs possuem características diferentes das tradicionais. Elas são dispostas em células, módulos (conjunto de células) ou em packs, isto é, mais de um módulo. (CALSTART, 2010). Contudo, não há um padrão definitivo. As baterias utilizadas em modelos de veículos elétricos já em comercialização são diferentes umas das outras.

Há uma disputa entre quatro tipos de baterias visando o estabelecimento de um padrão para a indústria de veículos elétricos: a bateria de chumbo ácido (PbA), a de íon-lítio; a de níquel (NiMH) e as de sódio, também conhecidas como ZEBRA, Zero Emission Battery Research Activity. Esta última é totalmente reciclável e tende a ser mais acessível devido ao seu custo se comparada às baterias a base de lítio. (CASTRO; FERREIRA, 2013).

Atualmente as baterias mais empregadas em veículos elétricos são as de lítio, em função do grande conhecimento desta tecnologia devido ao seu emprego em outros segmentos. Como é de comumente encontrados os exemplos, as baterias de íons de lítio estão em smartphones, notebooks, carros, etc. O lítio é o mais leve de todos os metais utilizados em baterias, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior densidade de energia por peso. Baterias recarregáveis usando anodos de metal de lítio podem fornecer alta tensão e excelente capacidade, alcançando assim uma densidade de energia extraordinária.

Por outro lado, projetos com baterias de sódio estão em andamento. Além de totalmente recicláveis, as baterias de sódio também são compostas por matérias-primas abundantes na natureza, como cloreto de sódio (sal de cozinha), ferro, cobre e níquel. Além de equipar veículos

elétricos, a bateria também pode ser utilizada em sistemas de armazenamento de energia produzida por fontes renováveis (como a solar e eólica), que são intermitentes e serão consumidas em momento posterior. (DE CASTRO, 2013).

“Três vezes mais leve do que a de chumbo, utilizada em veículos convencionais, a bateria de sódio é também mais adequada do que as de lítio para países de clima tropical. A partir de 40°C, a cada incremento de 10 graus, a vida útil da bateria de lítio se reduz à metade”, ainda segundo De Castro (2013).

As baterias são os componentes menos duráveis no VE. Diferentes tipos de baterias têm diferentes vidas úteis de acordo com a tecnologia usada, o método de uso e as condições de armazenamento. Fatores que afetam a vida da bateria incluem temperaturas extremas, sobrecarga e descarga total da bateria.

Observa-se que alguns fabricantes estimam que a vida útil da bateria seja de 150.000 quilômetros e a vida útil de 5 anos. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Outros dizem que a tecnologia atual da bateria tem uma vida útil de 10 anos ou mais de 1.500 ciclos, o que ocorrer primeiro. Ciclo significa um ciclo completo de carga e descarga. A descarga parcial não conta como um ciclo completo

Nesse sentido, considerando o clima do Brasil e as condições climáticas extremas que as baterias podem enfrentar, as baterias de sódio apresentam características favoráveis para o Brasil. Além disso, as baterias de sódio são mais seguras. Outra vantagem a ser considerada é a vida útil. As baterias de lítio têm uma vida útil limitada (MOON, 2015).

### 2.2.2. Veículos Elétricos Híbridos

Muitos acreditam que os veículos elétricos híbridos (VEH) são simplesmente uma fase temporária de transição entre a tradicional tecnologia de motores baseados na gasolina e diesel e

os emergentes veículos totalmente elétricos. Os veículos híbridos seriam uma solução intermediária sendo veículos de baixa emissão e alta quilometragem (autonomia).

Essa categoria de veículos ocupa uma posição intermediária entre o veículo puramente elétrico e o veículo movido a combustão interna. São chamados de híbridos por combinarem um motor de combustão interna com um gerador, uma bateria e um ou mais motores elétricos. A ideia é reduzir o gasto de energia associado a ineficiência dos processos mecânicos se comparados aos sistemas eletrônicos.

A ideia básica dos veículos elétricos híbridos é se utilizar do motor de combustão somente em intervalos operacionais de alta eficiência. Se a performance de pico dos motores não for totalmente necessária para a propulsão, essa performance é transformada em energia elétrica e armazenada na bateria. Essa energia é usada, então, para alimentar o motor elétrico do carro.

Essa abordagem foi empregada pela Toyota, no modelo Prius (Figura 12), e pela Honda, no modelo Insight (Figura 13), que foram inovadores neste mercado, combinando motores de combustão pequenos e altamente eficientes com baterias que complementam a potência do motor quando necessário (aceleração, subidas, velocidade de condução na autoestrada) e recuperando energia nas frenagens. Esta abordagem visa aumentar a eficiência do combustível. No entanto, o maior peso de VEHs, quando comparado com os modelos somente a gasolina, reduz esse potencial. (CHANARON e TESKE, 2007).

FIGURA 13 – “O híbrido Toyota Prius”



Fonte: Toyota (2017).

FIGURA 14 – “O híbrido Honda Insight”



Fonte: Auto Mais (2017).

Os carros híbridos apresentam vantagens em relação aos carros de combustão interna. (CASTRO e FERREIRA, 2013 apud JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Uma delas é a economia de combustível proveniente do uso dos dois motores – elétrico e MCI. Ao mesmo tempo, o veículo híbrido produz baixos níveis de gases tóxicos, quando comparado com um veículo MCI. Além disso, um sistema híbrido pode desligar automaticamente o motor em caso de parada, enquanto no veículo convencional o motor a combustão continua funcionando.

Ainda, o veículo híbrido utiliza tecnologias de recarga da bateria, como frenagem regenerativa, em que captura a energia liberada nas frenagens e a utiliza para carregar as baterias do carro. Isso significa que não precisa ser carregado a partir de tomada elétrica. Pelo fato de jamais serem submetidas a descargas profundas, as baterias tem longa duração (cerca de 5 anos) e grande confiabilidade. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Apesar dos benefícios de rodar mais de 800 quilômetros por tanque, a briga é com seu valor de mercado, que leva um carro híbrido para longe dos patamares competitivos no mercado brasileiro. Os mais de 20 modelos desses veículos vendidos no país não saem por menos de R\$ 120 mil, sendo que poderiam custar menos que a metade do preço se aplicada uma política de impostos competitiva. (MARTINS, 2017).

Não há produção de veículos leves híbridos no país e o custo de importação é alto. “Os

custos associados à importação desses modelos influenciam a estratégia de lançamento dos modelos híbridos pelas montadoras no Brasil, o que resulta na baixa difusão desses veículos no país”. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Além disso, a tecnologia híbrida ainda emite poluentes e a combinação de um motor elétrico e mecânico é complexo e custoso.

### 2.2.3. Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos

Existem inúmeras vantagens na utilização em massa dos veículos elétricos. A primeira é a sustentabilidade, pois estes veículos apresentam baixa emissão de poluentes no seu funcionamento – veículo híbrido –, e alguns modelos ainda possuem emissão zero – veículo elétrico puro –, uma vez que a conversão de energia elétrica em mecânica não produz qualquer tipo de emissão.

No entanto, dependendo da forma como foi produzida a eletricidade, esta poderá apresentar emissões poluentes. Logo, a emissão ou não de poluentes depende da fonte de energia elétrica utilizada para abastecer o veículo. Neste sentido, deverá sempre ser associada uma parcela das emissões globais dependendo da fonte de produção elétrica. Os veículos elétricos podem ser a melhor ou a pior solução, em termos de emissões de CO<sub>2</sub>. (FREYSSINET, 2012).

O consumo energético dos veículos elétricos varia entre 0,1 e 0,3 kWh/km, enquanto um veículo de combustão interna é da ordem de 0,9 kWh/km. Considerando-se as perdas da extração do combustível à roda (well-to-wheel), observa-se que ao se transformar o petróleo em diesel e utilizá-lo como combustível em um veículo de combustão interna, somente 15% da energia do processo será convertida em movimento, isto é, perde-se 85% da energia. No entanto, se a mesma quantidade de petróleo for utilizada em uma usina termelétrica para produção de energia a ser utilizada em um VE, o rendimento do processo alcançará 40%. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).



Considerando esses dados, pode-se afirmar que o uso do petróleo para gerar energia elétrica a ser utilizada nos veículos elétricos é aproximadamente 2,5 vezes mais eficiente energeticamente que o uso do petróleo em veículos MCI. De acordo com Jussani, Masiero e Ibusuki (2014), o rendimento na conversão em energia mecânica é da ordem de 90% da energia elétrica no veículo elétrico, e no motor de combustão interna a conversão é da ordem de 25% da energia da gasolina. Com isso, conclui-se que os veículos convencionais são bem menos eficientes que um veículo elétrico.

Uma outra vantagem é que os veículos elétricos são silenciosos, o que contribui para a qualidade de vida em geral. Isso é conseguido pela ausência de várias peças móveis no motor, do ruído da combustão, e também pela ausência do sistema de escape, uma das principais fontes de ruído num automóvel. (PORTAL ENERGIA, 2020).

Os motores elétricos também possuem uma durabilidade igual ou superior à de um motor de combustão, uma vez que tem menos desgaste, menos necessidade de manutenção e lubrificação. Assim, espera-se que o motor tenha maior durabilidade. O componente que é menos durável é a bateria. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Possuem, ainda, menores custos de manutenção, pois o motor elétrico é mais simples e tem muito menos peças móveis quando comparado com um motor MCI.

No que diz respeito ao custo de utilização, com o crescente aumento do preço da gasolina, a energia elétrica despendida para movimentar veículos elétricos possui um valor consideravelmente inferior ao dos combustíveis. Fazendo uma análise rápida, com o custo da energia elétrica de R\$0,64 KWh e da gasolina no valor de R\$3,89 o litro, valores para a cidade de Curitiba/PR (setembro de 2017); para um percurso de 100km, considerando que o VE consuma 0,2 kWh/km e o carro MCI faça 9km/l, temos um custo final de R\$12,80 para 100km rodados com o veículo elétrico, versus R\$43,22 para o veículo a gasolina. Com isso, podemos afirmar que o custo de utilização do carro elétrico (desconsiderados demais gastos como manutenção) fica em

aproximadamente 30% do custo de uso do veículo a gasolina.

Ademais, “no carro elétrico a energia que freia o carro pode ser convertida em energia elétrica e carregar a bateria através da frenagem regenerativa, que pode recuperar até 30% da energia inercial e potencial do veículo”. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Adicionalmente, o carro elétrico não consome energia quando fica parado no trânsito, ao contrário do carro convencional, cujo motor fica ligado.

No que se refere ao desempenho de uso o carro elétrico ainda tem um plus: possui elevado torque de partida. Já o carro convencional, que tem sistema de embreagem e câmbio, dissipa até 20% da energia do motor. Nos veículos elétricos, o torque máximo está disponível desde o arranque, característica típica dos motores elétricos, não sendo necessário atingir um determinado nível de giros do motor, como acontece nos motores de combustão. (BMW, 2020). Como desvantagens no que se refere especificamente ao mercado brasileiro, ainda existem empecilhos para que os veículos elétricos sejam vendidos em escala. Uma das principais necessidades do mercado é a infraestrutura de recarga: ainda existem poucos pontos de recarga disponíveis. Um segundo ponto que deve ser mencionado é a falta de incentivos federais e altas taxas tributárias. Alguns estados e municípios já estão concedendo incentivos fiscais, mas ainda falta um grande pacote de incentivos federais para os veículos elétricos e híbridos.

Além disso, um dos principais gargalos do carro elétrico no mundo todo hoje é o custo da bateria, que responde por aproximadamente de 40% a 50% do custo total do VE. (PESQUISA FAPESP, 2012 apud JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Outra grande desvantagem é o seu peso. Embora tenha havido avanços tecnológicos, para que as baterias proporcionem uma autonomia interessante, ainda pesam bastante – algo em torno de 450 kg. (PORTAL ENERGIA, 2020).

Além do seu custo e peso, a bateria também traz o inconveniente da sua autonomia reduzida, quando comparado com um veículo a combustão. Sua autonomia poderá variar entre 100

km e 200 km em média, dependendo do tipo de veículo. Por outro lado, apesar dessa autonomia ser muito criticada, as baterias atuais oferecem uma autonomia suficiente para a grande maioria dos deslocamentos realizados tanto pelas empresas de serviços quanto pelos particulares, em muitos países.

Sua vida útil também é reduzida, fazendo com que deva ser trocada algumas vezes durante a vida do veículo. Porém, o maior impeditivo atual para a popularização dos veículos elétricos ainda é seu custo de aquisição, que sem incentivos governamentais fica muito superior ao valor de outros carros.

### **2.3. Histórico Da Tributação De Combustíveis No Brasil**

O preço internacional do petróleo foi historicamente determinado por uma série de fatores políticos, econômicos e conjunturais. Esses fatores foram influenciados pelas oscilações do preço do petróleo e, assim, a indústria petrolífera foi se desenvolvendo. Com o crescimento do setor e a valorização do produto, aumentou o interesse dos estados produtores, consumidores e das companhias pela renda extraordinária gerada na indústria. Um dos principais instrumentos utilizados pelos estados para a captura do lucro extraordinário foi o tributo<sup>5</sup>, majorado ora sobre a produção, ora sobre o consumo, variando de acordo com a política internacional, com o poder de mercado das empresas, com a necessidade de cada estado e em função também das oscilações de preço.

Em 1912 teve início a distribuição de derivados de petróleo no Brasil, realizadas, neste

---

<sup>3</sup> Ressalta-se que outro instrumento de grande importância para a captura do lucro extraordinário, a Participação Governamental, não se confunde com tributo por não possuir as características de tal mecanismo arrecadatório. A Participação Governamental está associada às rendas diferenciais do petróleo.

período inicial, em latas e tambores, focada, sobretudo, em querosene iluminante e em lubrificantes (Leite, 1997). Não obstante, o marco legal era descentralizado e fundado em atos ou autorizações administrativas de concessão (Brasil, 1940).

O Decreto-lei nº 395/38, de 29 de abril de 1938, estabeleceu como de utilidade pública as atividades relacionadas ao abastecimento nacional de petróleo e seus derivados, e, segundo Calabi et al (1983), nacionalizou a indústria de refino de petróleo, importado ou de produção interna, tornando essa atividade restrita ao capital nacional constituído exclusivamente por brasileiros natos (às empresas já instaladas no país, foi dado o prazo de seis meses para se adaptarem à nova legislação). O mesmo decreto definiu, ainda, que caberia à União autorizar, regular e controlar todas as etapas da cadeia produtiva do setor, bem como toda infraestrutura de movimentação e armazenamento de petróleo e seus derivados, e instituiu o Conselho Nacional do Petróleo – CNP<sup>6</sup> para exercer essas funções (Schechtman et al, 2001).

Entretanto, a definição de uma política de preços pelo CNP, uma de suas funções principais, estava comprometida devido a uma brecha na Constituição vigente no período (Silveira, 2002). Era facultado aos estados e municípios majorar ou criar tributos que incidissem sobre o petróleo e seus subprodutos. Desta maneira, diversos governos estaduais e municipais criavam e alteravam os impostos e taxas sem comunicar ao CNP.

A Lei Constitucional nº 4/40, de 20 de setembro de 1940, alterando o artigo 20 da Constituição Federal de 1937, determinou que caberia à União a competência de tributar a produção, comércio, distribuição, consumo e importação de combustíveis. Assim, a tributação sobre os combustíveis se modificou com a promulgação do Decreto-lei nº 2.615/40, que estabeleceu o Imposto Único sobre Combustíveis e Lubrificantes- IUCL (importados e produzidos

---

<sup>4</sup> Inicialmente subordinado à Presidência da República, depois incorporado ao Ministério de Minas e Energia (Lei nº 3.782/60, de 22 de julho de 1960).

no país). Dessa forma, por cerca de cinquenta anos o Brasil centrou sua tributação sobre setores estratégicos nos impostos únicos (Dutra e Cechi, 1998).

Segundo Simão (2001), em 1940, incidiam a contribuição social e três tributos indiretos e específicos sobre os combustíveis: o Imposto de Importação, denominado selo, o Imposto de Consumo, que incidia apenas sobre os derivados produzidos no país, e o Imposto Único Sobre Combustíveis Líquidos (IUCL), que foi criado pelo Decreto-lei nº 2.615/40. Este, além de criar o imposto, vedou aos estados e municípios cobrar, sob qualquer denominação, impostos e taxas que, direta ou indiretamente, incidissem sobre a produção e o comércio, a distribuição e o consumo de combustíveis líquidos.

O imposto sobre o consumo era denominado Imposto sobre Vendas e Consignações (IVC), e possuía natureza mercantil, pois onde a venda originava um fato gerador, incidindo em todas as fases da circulação de mercadorias (do produtor ao consumidor). Assim, este imposto possuía incidência em cascata.

Dois anos após a criação da Petrobras (pela Lei nº 2.004/53), a carga tributária incidente no setor e na estrutura de preço dos combustíveis automotivos sofreu importantes alterações (Simão, 2001): i) criou-se o Fundo Geral de Fretes, com o objetivo de assegurar um preço único para os combustíveis ao longo da costa brasileira; ii) Houve a transformação da incidência do Imposto Único em ad valorem, onde o tributo passou a incidir apenas sobre o valor agregado aos derivados no país. Durante oito anos, a contar de 1956, a composição dos preços dos combustíveis sofreu poucas alterações, porém, a partir do Golpe de 1964 (que instaurou a ditadura militar no Brasil) foram implementadas novas reformas no sistema tributário nacional e na estrutura de preços dos combustíveis automotivos (Oliveira, 1987).

Segundo Schechtman et al (2001), por intermédio da Lei nº 4.452/64, alterou-se novamente

a base de cálculo do IUCL. As alíquotas passaram a incidir sobre o preço ex-refinaria<sup>7</sup>, exclusive o imposto único que o integrava, e não mais sobre o custo CIF<sup>8</sup> dos derivados importados. Além disso, ao preço ex-refinaria foram acrescentadas outras parcelas adicionais – denominadas alíneas, e o montante assim obtido constituía o preço de faturamento do derivado. Essas parcelas, fixadas pelo CNP, incidiam sobre os preços dos derivados e do álcool carburante e destinavam-se a:

- alínea a: ressarcimento dos fretes de cabotagem e despesas conexas;
- alínea b: ressarcimento da eventual diferença entre os preços do álcool anidro e da gasolina “A”;
- alínea c: ressarcimento das diferenças entre os custos de importação dos derivados de petróleo e os correspondentes preços de faturamento vigentes;
- alínea d: despesas de fiscalização, administração, atividades técnicas e científicas a cargo do CNP – 0,2% do preço ex-refinaria dos derivados;
- alínea e: uma parcela adicional ao preço do combustível de baixo ponto de fluidez, correspondente a 5% do preço ex-refinaria;
- alínea f: ressarcimento relativo a variações no frete de transporte do petróleo bruto, não incorporado ao valor CIF médio da matéria-prima, quando tais variações aferissem a margem de lucro das refinarias, reduzindo-a a valores inferiores aos assegurados pelo CNP;
- alínea g: parcela para atribuir aos Estados produtores o equivalente a 6% do valor do petróleo bruto de produção nacional *on shore*, para serem aplicados, em no mínimo 80%, na construção e pavimentação de estradas de rodagem;
- alínea h: outras parcelas aditivas que viessem a se tornar necessárias, nos termos da

---

<sup>5</sup> O preço unitário ex-refinaria dos derivados de petróleo tabelados e produzidos no país era fixado periodicamente pelo CNP, mediante a multiplicação de coeficientes (para maiores detalhes vide Brasil, 1964) pela média do custo CIF em moeda nacional, por unidade de volume, de petróleo bruto importado no trimestre anterior.

<sup>6</sup> O custo CIF inclui os custos de acesso ao mercado, entre eles, o frete.

legislação vigente e nos limites de competência do CNP.

Através da Emenda Constitucional nº 18/65, o IVC foi substituído pelo ICM (Imposto sobre Circulação de Mercadorias) e, modificando sua principal característica, a tributação passa a incidir sobre o valor agregado.

Em 21 de novembro de 1966, com o Decreto-lei nº 61/66, a base de cálculo do IUCL retorna ao custo CIF do petróleo bruto, expresso em moeda nacional. Entretanto as alterações na legislação tributária do setor petróleo não cessaram neste ponto, em 13 de maio de 1980, com promulgação do Decreto-lei nº 1.785/80, novas alterações na legislação referente, entre outras, ao IUCL e aos valores das parcelas que compunham os preços dos derivados. Segundo Brasil (1980), a base de cálculo do IUCL deixou de ser ad valorem e com base no custo CIF do petróleo importado, passando a ser específica (com correções efetuadas pelo CNP).

Com o crescimento do setor a partir da década de 1960, o sistema tributário precisou de profundas modificações para se adequar ao mercado em forte expansão, mas o que se verificou foram várias adaptações feitas por seguidos governos à antiga estrutura de preços e de tributos existentes, à medida que os sinais e os choques exteriores surgiam. Com isso, foram somadas numerosas emendas ao antigo arcabouço, o que o induziu a um detalhamento e a uma diversidade de propósitos, que aumentou a complexidade do sistema, reduzindo a sua transparência e eficiência.

Em 1970, foram criados o PIS e o PASEP (Programa de Integração Social e Programa de Formação do Patrimônio de Servidor Público) pelas Leis Complementares nºs. 7 e 8 respectivamente. Estes encargos tinham como finalidade principal internalizar vários custos sociais, com a receita gerada através da incidência sobre o faturamento das empresas e sobre a loteria esportiva. Da mesma maneira que a contribuição social, o PIS e o PASEP, unificados em 1975, também foram regulamentados para incidir de forma múltipla e acumulativa sobre o faturamento das empresas (Simão, 2001). Com a inclusão do PIS/PASEP no sistema tributário,

aumentou-se o efeito cascata da tributação sobre os combustíveis automotivos.

A partir de meados de 1982, foi acrescentado ao preço ex-refinaria dos derivados as parcelas relativas às contribuições sociais, Fundo de Investimento Social – FINSOCIAL e Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público – PIS/PASEP, correspondentes 0,50% e 0,65% da receita bruta da Petrobras, respectivamente (Silveira, 2002). Essa estrutura de preço dos derivados vigorou até a instituição da Emenda Constitucional nº 23/83, de 1º de dezembro de 1983, denominada Emenda Passos Porto, onde se estabeleceu que 60% do total dos recursos provenientes do IUCL e das alíneas seriam repassados gradativamente aos estados e municípios (com essa emenda, o Fundo Especial de Reajuste de estrutura de preços de combustíveis e lubrificantes – FER<sup>9</sup> - ficaria inviabilizado, uma vez que, para uma previsão de dispêndio com as despesas da alínea a de aproximadamente US\$ 1,0 bilhão/ano, seria necessário arrecadar US\$ 2,5 bilhões/ano) (Schechtman et al, 2001).

Com o objetivo de contornar esse obstáculo e evitar a transferência aos estados e municípios de grande parte do montante arrecadado com as alíneas, o governo federal extinguiu essas parcelas, substituindo-as por uma alíquota de 15%, a título de Imposto sobre Operações Financeiras – IOF (a Emenda Passos Porto não previa o repasse desse imposto) sobre os contratos de câmbio relativos à importação de petróleo (Schechtman et al, 2001). Entretanto, em 1984 a alíquota do IOF sobre as importações de petróleo fora zerada. Em substituição a esse imposto instituíram-se novas parcelas geradoras de recursos financeiros na composição de preço dos derivados: Frete de Uniformização de Preços – FUP<sup>10</sup> e Frete de Uniformização de Preços de

---

<sup>7</sup> Os recursos provenientes desse fundo eram utilizados, preponderantemente, para cobrir as diferenças entre o dólar-petróleo e a taxa de câmbio oficial, e para subsidiar o preço final do álcool hidratado.

<sup>8</sup> Destinado ao pagamento de custos não cobertos pelas demais parcelas, como, por exemplo, a diferença cambial entre o dólar petróleo e a taxa de câmbio oficial. Além disso, compensava a insuficiência da receita obtida pela FUPA. O FUP foi extinto pela Portaria MF/MME nº 3/98, de 28 de junho de 1998.



Álcool - FUPA<sup>11</sup>, criadas, respectivamente, pela Resolução CNP nº 16/84, de 27 de novembro de 1984, e pela Resolução CNP nº 18/84, de 11 de dezembro de 1984.

O funcionamento deste mecanismo de controle e subsídios tinha por base um fundo de ressarcimento do governo para a Petrobras, a chamada “conta petróleo”, na qual lançava-se a débito as receitas obtidas com a FUP e a parcela de contribuição, e a crédito as despesas com os demais itens. Em função dos sucessivos planos de controle inflacionário e da progressiva recuperação dos preços internacionais, a conta passou a apresentar saldos negativos (Werneck, 1988).

Para otimizar a tributação sobre a produção e circulação, o legislador constituinte de 1988 incluiu todos os produtos até então sujeitos à incidência de impostos únicos (entre eles o IUCL) no campo de incidência do ICM (Imposto sobre Circulação de Mercadorias), uma vez que o último foi constituído de forma a ter características de tributação não cumulativa, ou seja, sem incidências em cascata.

A Constituição de 1988 extinguiu o IUCL e instituiu (no artigo 155) o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) em substituição ao Imposto sobre Circulação e Serviços (ICM), com duas diferenças básicas, o tributo passou a incidir sobre os combustíveis e lubrificantes, e sobre as importações (Brasil, 1988). Assim, os estados adquiriram o poder de editar leis com competência de tributar as operações de comercialização de combustíveis, utilizando o ICMS, bem como fixar alíquotas no âmbito de seus territórios.

Ao facultar aos estados o direito de tributar as importações e a comercialização de energia, a Constituição permitiu que estas Unidades Federativas influenciassem a política energética e o mercado de combustíveis automotivos. Mas na maioria dos países tais políticas são inteiramente

---

<sup>9</sup> Destinava-se a cobrir os diferenciais de preço e custo de aquisição e transporte de álcool carburante. Essa parcela era contabilizada na Conta Álcool e foi extinta pela Portaria MME nº 114/96, de 29 de março de 1996.

coordenadas pelo poder central, segundo a teoria econômica, em decorrência das importantes externalidades envolvidas com as estratégias de comércio internacional e de energia.

Desta forma, promoveu-se uma reforma da administração da política energética, através da qual o país perdeu grande parte do mecanismo tributário e a viabilidade econômica de qualquer projeto de investimento no setor passou a ter que considerar a carga tributária imposta pelos diferentes estados (responsáveis por regular o ICMS).

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 156, instituiu, também, o Imposto sobre Vendas a Varejo de Combustíveis – IVVC<sup>12</sup>, de competência municipal e incidência não excludente em relação ao ICMS. O imposto vigorou de 1º de março de 1989, com o início do novo Sistema Tributário Nacional, até 31 de dezembro de 1995, quando a Emenda Constitucional nº 3/93, de 17 de março de 1993, estabeleceu que, à exceção do ICMS e dos Impostos de Importação e Exportação, nenhum outro tributo<sup>13</sup> poderia incidir sobre operações relativas a derivados de petróleo e combustíveis, passando essa decisão a vigorar a partir de 01 de janeiro de 1996 (Brasil, 1988).

Em alguns países industrializados, o aumento da imposição tributária sobre a comercialização dos combustíveis, durante as décadas de 1970 e 1980, objetivou a redução do crescimento do consumo e a viabilização de outras fontes energéticas, forçando, assim, a redução na dependência por petróleo e nos impactos deles decorrentes (Simão, 2001). Porém, se, num primeiro momento, a prática de aumentar a participação do tributo no preço final dos combustíveis teve um fim parafiscal, a continuação desta prática, após a queda do preço do petróleo, propiciou

---

<sup>10</sup> Não incidia sobre o óleo diesel.

<sup>11</sup> Inicialmente pensou-se que as contribuições sociais estariam abrangidas pela restrição imposta pela regra constitucional. No entanto, o Supremo Tribunal Federal decidiu que a limitação não abrangia essas contribuições. Posteriormente, com a Emenda Constitucional nº 33/01, o texto constitucional fora modificado (a palavra “tributo” fora alterada para “imposto”).

a transferência de renda dos países produtores para os consumidores.

A partir dos anos 90, verificou-se, no Brasil, um gradual processo de desregulamentação do mercado de combustíveis, no sentido de reduzir o papel do Estado como operador e proprietário de ativos no setor produtivo e ceder lugar ao Estado regulador, responsável por assegurar a liberdade dos agentes privados em busca de eficiência, progresso e qualidade do serviço, além de proteger os consumidores contra abusos de poder de mercado. Este processo foi motivado pela insatisfação com o Estado na operação dos setores econômicos, combinado à necessidade de novos investimentos e o questionamento quanto à eficiência do monopólio (em alguns casos, como a geração elétrica, questionou-se também a própria existência de estrutura de monopólio). É importante destacar que a política de controle dos preços de combustíveis (anterior à desregulamentação) buscava alcançar múltiplos objetivos, sendo estes de caráter econômico, tributário, energético e social.

Em 1995, foi outorgada a Emenda Constitucional nº 9/95, responsável pela quebra do monopólio até então existente no setor de petróleo e gás. Além disso, os combustíveis tiveram acrescido o valor dos fretes na sua formação do preço e, um ano mais tarde (1996), deu-se a liberalização dos preços da gasolina e do álcool etílico hidratado a partir da refinaria (Sindicom, 2005).

A liberalização dos preços na indústria de petróleo nacional foi um processo gradual, iniciado nos primeiros anos da década de 90. Todos os preços e margens ao longo da cadeia de produção e distribuição de derivados eram controlados pelo governo através do Departamento Nacional de Combustíveis – DNC (Silva, 2003). Com a edição da Lei 9.478/97, “Lei do petróleo”, foram definidas as etapas necessárias à total abertura do setor, para o que a liberalização de preços passava a ser uma condição sine qua non. A desregulamentação passava pela eliminação dos subsídios cruzados presentes na estrutura de formação de preços de derivados. Apesar da eliminação dos controles formais de preços de combustíveis e da completa abertura às importações

ocorrida em 2002, a referida lei garantiu ao governo, o controle acionário da Petrobras (Kunh et al, 2004). Pela presença dominante da empresa na oferta de combustíveis e de sua atuação progressiva, isto abriu espaço para a utilização da política de preços da empresa como um instrumento discricionário de amortecimento das variações nos preços internacionais.

Em 1998, a Portaria MF/MME nº 3/98 substituiu, ainda, a FUP por uma nova parcela, a Parcela de Preço Específica – PPE, cujo valor para cada derivado seria atualizado no primeiro dia de cada mês. Depois de contabilizados os subsídios cruzados e os ressarcimentos relacionados às despesas com transporte e distribuição dos combustíveis, inexistiam repasses dos recursos obtidos com a arrecadação da PPE para a União ou para outros organismos governamentais. Quando da ocorrência de superávit, tais recursos eram destinados à liquidação do débito com a Petrobras, mais especificamente no resgate dos títulos do Tesouro Nacional (Schechtman et al, 2001).

Assim, a diferença entre o preço de faturamento da refinaria e o preço de realização já adicionado das contribuições PIS e COFINS passou a constituir a Parcela de Preço Específica (PPE). A PPE, a princípio, teria a mesma função da FUP, abatendo a dívida da União com a Petrobras. Além disso, se constituía num mecanismo de amortecimento das variações, tanto do preço internacional quanto do câmbio.

Contudo a presença dos subsídios cruzados entre os combustíveis provocava distorções no mercado e tornava a importação de determinados produtos (como, por exemplo, o GLP) muitas vezes inviável, reduzindo a competitividade do produto importado. Por outro lado, mantida a situação de subsídio via PPE, a liberação da importação da gasolina poderia acarretar problemas para o parque de refino nacional, uma vez que seus preços internos eram onerados pela cobrança para subsidiar outros derivados, reduzindo assim, a competitividade dos preços da gasolina nacional frente aos preços da gasolina vigentes no mercado internacional.

Terminado o período de transição para a liberalização dos preços dos combustíveis (1997-2001), a importação deixou de ser monopólio da Petrobrás, gerando uma problemática: a

Constituição Federal de 1988 não permitia cobrar a “PPE” das demais empresas. Daí o surgimento da Emenda Constitucional 33/01 que delegou à União a competência impositiva das contribuições sociais (PIS/COFINS) e contribuições de intervenção no domínio econômico (CIDE) com a nova redação do artigo 149 da CF/88. Dessa forma os agentes econômicos dos mercados interno e externo obtiveram isonomia tributária referentes a essas contribuições. O novo artigo 149 da CF/88 permitiu, também, que a União institua outras contribuições, não sendo vedado que referidas contribuições sejam cumulativas.

Em 2001 houve a liberalização do preço de alguns derivados, no entanto, com a Emenda Constitucional nº 33/01, houve, também, uma reformulação na tributação dos combustíveis no Brasil. A partir dessa mudança constitucional foi publicada a Lei Federal nº 10.336/01, alterada pela Lei nº 10.636/02 (que alterou os limites máximos das alíquotas e a destinação dos recursos) e pela Lei nº 10.866/04 (que tratou da repartição da CIDE com estados e municípios).

Tal processo culminou com a liberação de preços, margens e fretes em toda cadeia produtiva e a criação da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE) em substituição da Parcela de Preço Específica (PPE).

Durante o período de transição para a liberação dos preços, que vigorou desde a publicação da referida lei até 31/12/2001, os preços dos combustíveis eram definidos por portarias interministeriais, em atos conjuntos dos ministérios da Fazenda e de Minas e Energia. Desde janeiro de 2002, passou a vigorar no Brasil o regime de liberdade de preços em toda a cadeia de produção e comercialização de combustíveis. Desta forma, o mercado de combustíveis funciona, atualmente, sem as intervenções diretas do governo, que marcaram o período de transição.

### 2.3.2. Estrutura Tributária Atual dos Combustíveis Automotivos

Os tributos atualmente incidentes sobre as operações envolvendo combustíveis automotivos são: i) Imposto sobre Importações (II), quando aplicável; ii) Imposto sobre Operações

Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS); iii) Contribuição para o Programa de Integração Social do Trabalhador e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP); iv) Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS); e; vi) Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico (CIDE).

O Imposto de importação é um tributo de competência federal cuja base de cálculo é o preço CIF de importação<sup>14</sup>. Já o ICMS é de competência estadual cujas alíquotas, que podem ser diferentes, são estabelecidas no âmbito do Conselho Nacional de Política Fazendária - CONFAZ<sup>15</sup>. O ICMS incide sobre as atividades de refino, distribuição e revenda. Há, ainda, duas contribuições sociais incidentes sobre os combustíveis automotivos: o PIS e a COFINS.

Dos tributos mencionados, o ICMS é o único Imposto sobre Valor Agregado (IVA) ou Value-Added Tax (VAT), como é conhecido internacionalmente. Já o PIS e a COFINS incidem sobre a gasolina e o diesel apenas uma única vez na cadeia, porém, o mesmo não é verdade para o álcool hidratado.

O PIS/COFINS do álcool incide quando da ocorrência de seus fatos geradores, ao longo da cadeia de produção e comercialização (com exceção do revendedor, que ficou isento), sem qualquer dedução do montante de imposto já pago nas operações anteriores (em cascata).

A partir de 2002, surge a CIDE (contribuição que também incide uma única vez ao longo da cadeia) em substituição à política de subsídios cruzados praticados pela Parcela de Preço Específica (PPE), que não se tratava diretamente de um tributo, mas economicamente se confundia com o mesmo, pois era uma receita gerada no processo de formação dos preços dos derivados. Na verdade, como era instrumento para a prática de subsídios cruzados, a PPE tinha valor positivo

---

<sup>3</sup> Alíquota zero para petróleo e derivados (Schechtman *et al*, 2001)

<sup>4</sup> Constituído pelos Ministro da Economia e os Secretários de Fazenda dos Estados e do Distrito Federal.

para alguns derivados, como no caso da gasolina, e negativo em outros, como no caso do GLP. Assim, caso as importações fossem liberalizadas, haveria, por exemplo, uma grande desvantagem de preços da gasolina doméstica frente à importada. Ademais, a PPE tinha como base jurídica uma portaria interministerial que poderia ser facilmente contestada pelos agentes entrantes no mercado, uma vez que não era prevista na Constituição<sup>16</sup>. A Emenda Constitucional nº 33/01, regulamentada pela Lei Complementar nº 10.336/01, extinguiu a PPE e instituiu a CIDE.

O amortecimento das variações de preços internacionais é um objetivo público legítimo face os impactos negativos sobre o bem estar dos consumidores. No caso brasileiro e de países em desenvolvimento com regime de taxa de câmbio flutuante, de um modo geral, o problema não está restrito à volatilidade de preços no mercado internacional, mas soma-se à variação do câmbio, o que potencializa os seus efeitos. A partir das experiências internacionais, podem-se propor mecanismos adaptáveis à realidade brasileira e compatíveis com os objetivos preconizados pelas reformas. Para tanto, já existe um instrumento presente na estrutura de preços de combustíveis automotivos e revestido da legalidade necessária para o fim desejado: a CIDE. Sua definição consta no próprio nome: a CIDE é uma contribuição, não um imposto. Pelo código Tributário Nacional, uma contribuição seria um tipo de tributo específico, cuja arrecadação seria alocada a um fundo pré-determinado, associado a um objetivo específico, como por exemplo, as contribuições sindicais e sociais. Por esse motivo é possível e desejável a utilização da CIDE como mecanismo de amortecimento de preços de combustíveis (Silva, 2003).

---

<sup>5</sup> O artigo 155, § 3º da Constituição Federal explicita que “à exceção dos impostos de que tratam o inciso II do caput deste artigo e o art. 153, I e II, nenhum outro imposto poderá incidir sobre operações relativas a energia elétrica, serviços de telecomunicações, derivados de petróleo, combustíveis e minerais do País (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 33, de 2001)”. Esta Emenda alterou, neste parágrafo, apenas a palavra “imposto” (que anteriormente era tributo, portanto mais vasto).

Dentre todos os tributos listados, a CPMF se destaca por não possuir um fato gerador atuante diretamente sobre o combustível, mas incidente sobre a movimentação financeira (ocorrida no sistema bancário) decorrente ao longo de sua cadeia de comercialização e distribuição. Assim, não há, necessariamente, a ocorrência do fato gerador, dificultando a contabilização deste tributo.

## **Descrição dos Tributos Incidentes Sobre os Combustíveis Automotivos**

A seguir, serão discutidos os tributos incidentes sobre combustíveis automotivos:

*I) Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e Contribuição ao Programa de Integração Social (PIS):* São contribuintes do PIS e da COFINS as pessoas jurídicas de direito privado e as que lhes são equiparadas nos termos da lei pela legislação do imposto de renda, inclusive as empresas públicas, as sociedades de economia mista e suas subsidiárias (Brasil, 1998).

A COFINS incide sobre o faturamento mensal, ou seja, sobre a totalidade das receitas auferidas pela pessoa jurídica, sendo irrelevante o tipo de atividade por ela exercida e a classificação contábil adotada para essas receitas, observadas as exclusões admitidas em lei específica (Brasil, 1998).

A alíquota geral da COFINS não cumulativa é de 7,6%. Entretanto há alíquotas específicas para determinados segmentos e produtos, bem como particularidades para a formação da base de cálculo.

As Contribuições para o PIS são destinadas à promoção da integração do empregado na vida e no desenvolvimento das empresas e a formação do patrimônio do servidor público, nos termos das Leis Complementares nº 7 e nº 8, de 1970. Há duas modalidades dessa contribuição, uma incidente sobre a folha de salários que não afeta diretamente a cadeia de combustíveis automotivos, e outra que incide sobre o Faturamento. Neste último, a base de cálculo é o



faturamento mensal, que corresponde à receita bruta ou a totalidade das receitas auferidas pela pessoa jurídica, sendo irrelevante o tipo de atividade por ela exercida e a classificação contábil adotada para essas receitas, observadas as exclusões admitidas em lei específica.

A partir de 1º de janeiro de 2003, de acordo com a Lei nº 10.637/02, foi instituída a não cumulatividade na cobrança das Contribuições para o PIS sobre o faturamento, cuja alíquota é de 1,65%. Entretanto o princípio da não-cumulatividade não se aplica em alguns casos, dentre os quais deve-se observar as receitas decorrentes da venda dos produtos de que tratam as Leis nº 9.990/00, nº 10.147/00 (alterada pela Lei nº 10.548, de 13 de novembro de 2002) e nº 10.485/02, ou quaisquer outras submetidas à incidência monofásica da contribuição.

As receitas de venda de álcool para fins carburantes, entre outras, são considerados de incidência cumulativa, apenas por não estarem alcançadas pela incidência não-cumulativa estabelecida pelas Leis nº 10.637/02 e nº 10.833/03, embora tenham características próprias de incidência (Brasil, 1998).

A contribuição para o PIS e a COFINS incidente sobre álcool (para fins carburantes) é calculado aplicando-se alíquota diferenciada concentrada sobre a receita bruta auferida com as vendas deste produto, efetuadas pelos produtores, importadores e distribuidores de álcool e reduzindo-se a zero as alíquotas aplicadas sobre a receita auferida com as vendas efetuadas pelo comerciante varejista.

A Lei nº 9.990/00, de 21 de julho de 2000, extinguiu a substituição tributária para o PIS e COFINS da gasolina A, diesel e GLP, estabeleceu o recolhimento dessas contribuições, de uma única vez, na refinaria, sobre o preço de faturamento desses combustíveis, incluindo o ICMS da atividade de refino, e desonerou do recolhimento as demais etapas da cadeia de comercialização (Brasil, 2000).

Ressalta-se que PIS e COFINS podem ter suas alíquotas específicas ou ad valorem. O Decreto nº 5.059/04 estabeleceu os coeficientes de redução das referidas contribuições de acordo

com a Lei nº 10.865/04, fixando a alíquota específica de alguns produtos, gerando um incentivo aos agentes econômicos a adotarem esta opção (Brasil, 2004). Dentre os produtos mencionados no referido Decreto estão a gasolina e o diesel, objetos de estudo desta dissertação.

Apesar de o fato gerador ser a receita bruta auferida, atualmente, o diesel e a gasolina são tributados pela PIS e COFINS por unidade demandada (sob uma alíquota específica). Isso se deve a possibilidade de um agente optar por regime de apuração e pagamento da contribuição para o PIS e a COFINS no qual os valores das contribuições são calculados por unidade de metro cúbico do produto.

***II) Imposto de Importação (II):*** Esta é uma das mais antigas formas de tributo no Brasil, oriunda do período colonial, sendo, nesta época, o mais importante. Este imposto é exigido (fato gerador) quando há entrada de produtos estrangeiros em território nacional, sendo calculado e cobrado conforme a discriminação das mercadorias na tarifa das alfândegas, mediante critério ad valorem ou específico.

O Imposto de importação, de competência da União, é tido como imposto regulatório do comércio exterior. A aplicação do imposto de importação é geralmente atributo do poder central, em razão da sua importância também como instrumento de política macroeconômica. No caso do produto importado possuir similares nacionais, o efeito direto do imposto de importação, na economia, é o aumento do preço do concorrente nacional, o que gera uma transferência de renda dos consumidores para os produtores locais.

Desde a edição da Decisão nº 22 do Conselho do Mercado Comum fora adotada a Tarifa Externa Comum (TEC), onde estão fixadas, de comum acordo entre os participantes do Mercosul, as alíquotas vigentes para o comércio extra bloco. Nesse sentido, o nível do imposto de importação deixa de ser um indicador estritamente brasileiro, e prenuncia a possibilidade de políticas macroeconômicas comerciais integradas.

A base de cálculo para imposição do tributo é o valor aduaneiro da mercadoria, com os ajustes previstos no Acordo de Valoração Aduaneira, da Organização Mundial de Aduanas (OMA) (Brasil, 1966).

**III) Imposto de Exportação (IE):** Útil na política cambial, este imposto tem por finalidade disciplinar os efeitos monetários decorrentes da variação de preços no exterior e preservar as receitas com a exportação, bem como a formação de reservas monetárias. O fato gerador é a saída de produtos nacionais para o exterior, podendo ser cobrado mediante critérios específicos ou ad valorem (Cristóvão e Watanable, 2002).

Caído em desuso em razão das orientações modernas relativas à aplicação dos tributos, a exportação de produtos brasileiros, ou nacionalizados, não é mais sujeita à aplicação do Imposto de Exportação previsto na Constituição Federal, artigo 153, inciso II (Brasil, 1998).

**IV) Contribuição de Intervenção sobre Domínio Econômico (CIDE):** A Emenda Constitucional nº 33/01, de 11 de dezembro de 2001, introduziu uma modificação estrutural do sistema tributário, mais especificamente no setor de combustíveis automotivos (Brasil, 2001): a inserção da Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico (CIDE), sendo devida pelo benefício especial recebido pelo contribuinte, em virtude da prestação de serviço público indivisível.

A Lei nº 10.336/01, de 19 de dezembro de 2001, instituiu a contribuição que incide sobre a importação e comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível. A base de cálculo da CIDE é a unidade de medida estipulada na lei para os produtos importados e comercializados no mercado interno e as alíquotas específicas estão determinadas no artigo 5º da Lei nº 10.336/01, sendo que essas podem ser reduzidas ou restabelecidas pelo Poder Executivo. A CIDE pode ter alíquotas específicas, tendo por base a

unidade de medida, ou ad valorem, com base no faturamento ou receita bruta da operação. Na prática, as alíquotas utilizadas atualmente pelos agentes, principalmente devido às reduções já citadas, são as específicas.

São contribuintes da CIDE: o produtor, o formulador e o importador, pessoa física ou jurídica, que realizar operações de importação e de comercialização no mercado interno de:

- ☐ \* gasolinas e suas correntes;
- ☐ \* diesel e suas correntes;
- ☐ \* querosene de aviação e outros querosenes;
- ☐ \* óleos combustíveis (fuel-oil);
- ☐ \* gás liquefeito de petróleo, inclusive o derivado de gás natural e de nafta; e
- ☐ \* álcool etílico combustível.

Inicialmente, o contribuinte poderia deduzir o valor da CIDE, pago na importação ou na comercialização no mercado interno, dos valores da Contribuição para o PIS e a COFINS devidos na comercialização no mercado interno, conforme limites estabelecidos no art. 8º da Lei nº 10.336/01, sendo que esses limites também poderiam ser reduzidos ou restabelecidos pelo Poder Executivo. A partir de 1º de janeiro de 2003, as alíquotas específicas e os limites de dedução mencionados foram reduzidos por meio do Decreto nº 4.565/03.

Para determinados combustíveis (como o álcool) a dedução autorizada era integral (enquanto a gasolina, por exemplo, poderia compensar apenas uma parcela). A partir de maio de 2004, a alíquota da CIDE, de alguns combustíveis, foi reduzida a zero pelo Decreto nº 5.060/04 (apenas a gasolina e o diesel tiveram diminuição de suas alíquotas para um valor diferente de zero). O mesmo ato normativo, em seu artigo 2º reduziu para zero o limite de dedução do PIS e da COFINS com a CIDE (para todos os combustíveis), acabando com grande parte da problemática

de cálculo que envolvia esse sistema de tributação.

A Emenda Constitucional nº 33/01 também estabeleceu os destinos dos recursos arrecadados pela CIDE, sendo eles: i) subsídio a preços ou transporte de álcool combustível, gás natural e seus derivados, e derivados de petróleo; ii) financiamento de projetos ambientais relacionados com a indústria do petróleo e do gás; iii) o financiamento de programas de infraestrutura e transportes.

Cabe notar que, segundo Silva (2003), já foi promulgada a lei para regular as destinações de recursos previstas pelos itens II – recursos destinados ao Ministério de Meio Ambiente para investimento em projetos ambientais relacionados à indústria de petróleo – e III – a criação do Fundo Nacional de Infra-estrutura (FINIT). Com relação ao item I, a Lei nº 10.453/02 define a destinação dos recursos da CIDE à concessão de subsídios à compra de GLP por famílias de baixa renda, programa conhecida como “auxílio gás” (atualmente incorporado pelo programa de “bolsa família”), bem como subsídios aos produtores de álcool combustível.

V) **Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS)**: O ICMS é um imposto indireto e não-cumulativo<sup>17</sup>, cujos fatos geradores para a incidência são: i) circulação de mercadorias dentro de um mesmo estado ou entre estados; ii) prestação de serviço de comunicação, urbanos, interurbanos e internacionais e, iii) prestação de serviços de transporte intermunicipal ou interestadual.

O ICMS é o equivalente ao internacionalmente conhecido VAT (*Value Added Tax*) ou IVA (Imposto sobre Valor Agregado), que teve rápida disseminação após ser aplicado na França nos anos 50 (Eurostat, 2005). O IVA é uma forma consistente de tributo, capaz de arrecadar um volume significativo de recursos a um baixo custo.

---

<sup>6</sup> Compensando a parcela paga nas etapas anteriores da cadeia produtiva.

Segundo Hossain (2003), o IVA é a forma mais moderna de imposto sobre venda. Isto deve-se à sua incidência em todas as etapas de produção e de comercialização, possibilitando a dedução do imposto pago na etapa precedente para fins de apuração do débito final, sendo transparente e reduzindo sensivelmente a sonegação. Além dessas vantagens, o IVA não onera a produção, porque incide sobre a compra, é abrangente e não cumulativo, por isso, pode substituir vários tipos de tributos que são cumulativos. Quando isto ocorre, simplifica o sistema tributário e proporciona a harmonização fiscal, fatores importantes para a integração ao comércio internacional.

No Brasil, o IVA, além do propósito arrecadatório, possui finalidades de redistribuição de renda e de desenvolvimento regional. Para tais finalidades, o sistema adotado é o de diferenciação de alíquotas, conforme será visto no capítulo V.

Além de restringir as políticas centrais de administrar as falhas no mercado de energia e nas importações via política tributária, a Constituição de 1988 estabeleceu uma forma bastante complexa para a incidência do ICMS. O tributo foi instituído para incidir sobre o valor agregado na comercialização de um determinado bem ou serviço, mas o ICMS é base de cálculo para a sua própria incidência, este artifício tornou o imposto pouco transparente uma vez que a alíquota nominal não corresponde à alíquota paga pelo contribuinte.

De acordo com a constituição Federal de 1988, os estados possuem o poder de editar as leis relativas à cobrança de ICMS, assim como as alíquotas devidas em seu território. As alíquotas de ICMS podem diferir conforme o estado e podem ser seletivas, variando segundo o tipo de produto. Além disso, são classificadas em internas (para a comercialização dentro do estado) ou interestaduais. As alíquotas internas não podem ser inferiores às interestaduais, salvo por deliberação dos estados, mediante a elaboração de convênios. Os convênios são elaborados no âmbito do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, composto pelo Ministro da Economia e os Secretários da Fazenda dos Estados e do Distrito Federal (Confaz, 2005). Ao

Senado Federal cabe estabelecer as alíquotas máximas aplicáveis nas operações interestaduais, conforme disposto na Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988).

Nas operações de importação, o tributo arrecadado cabe ao Estado onde está localizado o estabelecimento importador. O ICMS incide sobre o valor CIF do produto acrescido do Imposto de Importação e do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). Nas importações de petróleo, derivados e gás natural, porém, não há incidência do IPI uma vez que não se tratam de produtos industrializados. Normalmente o ICMS é pago no momento do desembaraço aduaneiro<sup>18</sup> do produto no país. O valor arrecadado é computado como crédito no resto da cadeia. Nas operações de exportação não ocorre a incidência do ICMS sobre petróleo e derivados (Brasil, 1988).

Sobre as operações interestaduais de comercialização de petróleo e seus derivados combustíveis e lubrificantes não há incidência de ICMS, conforme disposto na Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988), em seu artigo nº 155, § 2º, inciso X, alínea b. Essa imunidade de cobrança, prevista na Constituição, não visa reduzir a carga tributária nesses tipos de operações, mas garantir a integralidade do ICMS ao estado consumidor dos derivados. A decisão do Supremo Tribunal Federal considerou que a não incidência do imposto refere-se ao estado de origem. Logo, atravessando a fronteira, o ICMS é devido ao estado de destino. Dessa forma, o ICMS total relativo à operação de venda de gasolina, diesel e GLP da refinaria às distribuidoras, recolhido pela refinaria, consiste de duas parcelas: uma denominada ICMS da refinaria, calculada sobre o preço de faturamento do combustível ex-refinaria mais o custo arbitrado de transferência até as bases das distribuidoras e os encargos financeiros; e outra denominada ICMS de substituição tributária, relativo às atividades de distribuição e revenda, calculada por meio de regime de substituição tributária (Silveira, 2002).

---

<sup>7</sup> Desembaraço aduaneiro é a última etapa do despacho aduaneiro de importação e se caracteriza pela colocação, por parte da autoridade aduaneira, da mercadoria à disposição do importador.

A base de cálculo deste imposto é o preço máximo ou único de venda ao consumidor, incluído o ICMS (Brasil, 1966). Em alguns casos, como o imposto incidente sobre as vendas de gasolina, diesel e GLP, utiliza-se o regime de substituição tributária a fim de reduzir a sonegação fiscal. Segundo Confaz (2005), a substituição tributária é a modalidade de tributação em que a lei permite que um determinado contribuinte seja o responsável pelo recolhimento do ICMS devido por outros contribuintes, relativamente às operações antecedentes, operações subseqüentes, ou operações antecedentes e subseqüentes (integral). Nesse caso, a base de cálculo do ICMS é o valor sobre o qual o contribuinte substituto aplicará a alíquota respectiva incidente uma única vez, sobre a operação anterior, posterior, ou ambas. Em geral, o preço de venda do contribuinte substituído libera todas as demais operações, que ficam dispensadas do pagamento deste imposto.

### **Substituição Tributária**

A substituição possui o intuito de reduzir os responsáveis pelo pagamento do imposto, reduzindo a sonegação (uma vez que os contribuintes escolhidos para figurar como responsáveis, geralmente, possuem estrutura organizacional complexa, com registros comerciais e fiscais). Existem dois agentes passivos na substituição tributária. O contribuinte é o que realiza o fato gerador (ato que determina a incidência do imposto) e o responsável assume, em virtude de determinação legal, a responsabilidade pela obrigação tributária (Silva e Silveira, 2005).

A substituição pode ser progressiva (“para frente”) ou regressiva (“para trás”). Na regressiva, o imposto é ressarcido quando se abate o imposto do preço a ser pago ao fornecedor do produto tributado (tomando-se por base o valor da operação). Esse não é o método adotado nas operações com derivados de petróleo ou álcool.

A substituição tributária “para frente” permite atribuir a responsabilidade pelo imposto devido por contribuintes que estejam nas fases seguintes da cadeia de circulação de mercadorias, para os contribuintes que estejam no início dessa cadeia. Dessa forma, a exigência do tributo se dá



antes da ocorrência do fato gerador, sendo devolvido o valor (em créditos) àqueles que não executarem a ação determinante da incidência do imposto.

A Lei Complementar nº 87/96 não limitou a aplicação da substituição tributária, mas prescreveu salvaguarda para os casos em que não ocorra o fato gerador presumido (Brasil, 1996). Assim, havendo diferenças entre a base de cálculo presumida e a base efetiva, deverá haver um mecanismo de ressarcimento do quantum pago a mais. Segundo Feijó (2003), o Supremo Tribunal Federal entende que não é admitida a restituição do imposto se a operação for realizada com valor inferior ou superior ao anteriormente estabelecido. Apenas cabendo a restituição na hipótese de não ocorrer o fato gerador presumido. Cabe ressaltar que o reembolso mencionado não possui natureza tributária, sendo um mecanismo de direito privado para restituir o valor pago e equilibrar a equação financeira da substituição. Conforme já mencionado, não há responsabilidade tributária supletiva do substituído para com o substituto. A ação para reembolso é incomum, pois o valor do tributo é embutido no preço da mercadoria, o que permite ao substituto recuperar a quantia relativa ao tributo tão logo o bem saia do seu estabelecimento.

As operações com combustíveis são tributadas de forma progressiva, tendo inúmeros contribuintes substituídos (facilitando a fiscalização). Sua prática impede a sonegação, sem prejudicar o funcionamento do mercado (visto que o imposto incide sobre o valor agregado).

A substituição tributária dos combustíveis ocorre na modalidade relativa às operações subsequentes, sendo, na maioria dos casos, a refinaria a responsável pelo recolhimento e retenção do imposto relativo às operações posteriores. O encargo gerado pela antecipação do ICMS era transferido sucessivamente, ao longo da cadeia, até chegar ao consumidor.

No Brasil são adotadas duas metodologias de cálculo para o ICMS sobre a gasolina, álcool hidratado e diesel. Uma delas baseia-se numa estimativa de preço médio ponderado ao consumidor final (PMPF). Nesse sistema, adotado por vinte estados e pelo distrito federal (para gasolina e diesel), elaboram-se pesquisas quinzenais para determinar o valor que será usado como base de

cálculo do imposto (Esses valores são publicados no Diário Oficial da União pelo CONFAZ). Na inexistência de um preço base de venda, calcula-se o ICMS com base em uma margem de lucro presumido ou margem de valor agregado (MVA) definida nos convênios ICMS, no âmbito do CONFAZ. Essa última metodologia é adotada, atualmente, em seis estados (BA, CE, PR, RN, RS e SP) para gasolina e diesel e quatro estados para o álcool hidratado (PR, RN, RS e SP)<sup>19</sup>.

Como os preços de venda dos combustíveis estão liberados, o ICMS de substituição tributária (distribuição e revenda) recolhido pela refinaria pode ser calculado com base em uma margem de valor agregado estabelecida no Convênio ICMS 37/00 ou através da utilização de uma fórmula, definida no Convênio ICMS nº 139/01, a qual utiliza um preço de referência<sup>20</sup> (preço pauta, referido anteriormente por PMPF), definido pelos estados, porém sujeitos à aprovação do CONFAZ (Confaz, 2005).

### **3. METODOLOGIA**

A presente seção não tem como objetivo apresentar a metodologia utilizada na pesquisa. A realização das simulações foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira responsável pela estimativa de parâmetros, baseada em dados históricos e em um modelo de regressão linear, responsável pela correlação entre população, tipos de veículos e volume de automóveis, e a segunda pela construção de curvas simuladas de substituição.

---

<sup>8</sup> Os Estados da Bahia e do Ceará adotam o PMPF para o cálculo dos tributos do álcool hidratado.

<sup>9</sup> Essa modalidade não existia anteriormente a dezembro de 2001. Para a definição dos preços de referência, além da pesquisa realizada pelo Estado, poderá, a critério desse Estado, ser utilizado levantamento de preços efetuado por instituto de pesquisa idôneo, sob a responsabilidade da ANP ou outro órgão governamental.

### **3.1. Origem dos Dados**

Os dados relativos a frota e população foram obtidos no site do IBGE, no intervalo 2006-2020, sendo utilizada para as estimativas de parâmetros apenas a população na faixa etária 15 a 84 anos.

Nos dados disponíveis não foi possível a separação da faixa etária 15-19 anos, fato limitador do trabalho. Durante o período de análise a frota de veículos cresceu 139,73%, ao tempo em que a população alvo aumentou em 22,68%.

Dos diferentes tipos de veículos, o automóvel, os utilitários e as caminhonetes merecem especial atenção e apresentam, respectivamente, crescimento de 109,44%, 1.482,05% e 329,26%. O grande crescimento proporcional de utilitários é resultado da forma de classificação do SUV, veículo cuja participação no mercado nacional aumentou consideravelmente nos últimos anos.

A projeção da frota foi realizada até o ano de 2060, baseada nas estimativas populacionais do IBGE, adotadas pelo Tribunal de Contas da União (TCU). O Anexo I apresenta a série histórica de veículos, já a série de população é demonstrada no Anexo 2.

### **3.2. Modelo de Regressão e Projeção**

O modelo de regressão utilizado é apreendido na Equação 1, estendendo por Mínimos Quadrados Ordinários tem como objetivo permitir a projeção da frota até o ano de 2060. Não há, nesse caso, a intenção de causalidade, que por óbvio seria esdrúxula, mas sim a obtenção de parâmetros segregados que permitam uma estimativa de coeficientes para automóveis, já somados os utilitários, e caminhonetes. Dessa forma, para as projeções ter-se-á duas equações por ano e duas incógnitas, o que permitirá a obtenção de resultados.

Conforme Brooks (2019), pelo interesse exclusivo na projeção, exclusiva qualquer investigação de causalidade, não é necessária a validação do modelo de regressão em conformação as hipóteses do Modelo Clássico de Regressão Linear, não sendo objeto as avaliações

heteroscedasticidade, autocorrelação serial ou multicolinearidade, já que não serão realizados testes de hipótese.

A não estacionaridade da série é evidente, mas, novamente, considerado o objetivo explícito do uso da Equação 1, suas consequências não são uma preocupação para o estudo.

$$Frota_i = C + \beta_1 Pop_i + \varepsilon_i \quad \dots(1)$$

Onde:

$Frota_i$ : número de veículos no ano  $i$ ;

$Pop_i$ : população no ano  $i$ ;

$C$ : termo de intercepto;

$\beta_1$ : parâmetro estimado para a população;

$\varepsilon_i$ : termo de erro estocástico.

Em relação à estratégia de estimação, a Equação 1 é utilizada com a série histórica para as estimativas dos parâmetros, sendo posteriormente a base da projeção dos número de veículo nos anos seguintes.

### **3.3. Projeção do ICMS e da Substituição**

A determinação precisa do momento de ICMS arrecado por estados em um dado momento do tempo é uma tarefa complexa e quer requer dados nem sempre disponíveis. No entanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o impacto em termos de perda de arrecadação em função da substituição da matriz energética dos veículos automotores.

Nesse sentido, opta-se por uma estratégia mais simples, baseada na noção de arrecadação potencial em função da incidência do tributo sobre combustíveis fósseis em função da frota, alternativa que exclui, inclusive a necessidade de se estimar o consumo médio de combustível, sem prejuízo aos resultados pretendidos.

Portanto, quando a frota é integralmente formada por veículos a combustão, o potencial de

arrecadação será de 100%, ao tempo em que quando a frota for formada apenas por veículos elétricos, o potencial de arrecadação será zero. A Equação 3 formaliza a forma de obtenção do resultado.

$$PA = \frac{FT - FE}{FT} \quad \dots(2)$$

Onde:

*PA*: Potencial de Arrecadação;

*FT*: frota total; e,

*FE*: frota elétrica.

### 3.4. Curva de Substituição

A curva de substituição é caracterizada como a velocidade com a qual veículos movidos por combustíveis fósseis são substituídos por automóveis movidos por energia elétrica. Tal dinâmica é resultado de fatores como a preferência dos consumidores, sofre grande influência de fatores externos ao país, em especial da efetiva disponibilização de veículos movidos por motores elétricos ou a combustão.

No momento de desenvolvimento deste trabalho, diversas marcas já anunciaram que não mais investirão em motores a combustão, com alguns definindo o abandono completo da produção de veículos com esse tipo de conjunto propulsor até 2030, sendo o fenômeno não limitado a marcas do segmento de luxo, a exemplo da Volkswagen, que anunciou em 2021 o fim do investimento em novos motores a combustão, fato que resume a vida útil das soluções atualmente disponíveis em prazo não superior a 15 anos. Segundo a marca, em 2035 ao menos metade de seu volume de vendas será formada por veículos elétricos (VE)<sup>21</sup>.

Considerado que o desenvolvimento de conjunto propulsores exclusivos para o Brasil é

---

<sup>21</sup> <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2021/03/30/adeus-motor-a-combustao-quais-marcas-nao-voao-mais-investir-na-tecnologia.htm>

limitada, não sendo prática das atuais marcas disponíveis no país, a restrição externa deverá exercer papel predominante na adoção da nova tecnologia, o que fornece as bases para o modelo de substituição da matriz de energética.

Assim, arbitra-se, para as simulações, um modelo de substituição esperada baseada nas informações estratégicas divulgadas pelas empresas, que resulta na dinâmica apresentada na Tabela 1.

A Tabela 1 possui forte relação com as projeções apresentadas na Tabela 3, em especial após o ano de 2043, quando é esperado o início da redução da frota nacional. A partir desse momento, assumiu-se que a queda na frota é concentrada em veículos mais antigos, movidos a combustão interna, por isso a taxa de substituição é acelerada para 10%.

O valor padrão de 5%, adotado no intervalo 2039 – 2043 é tido como a reposição padrão da depreciação em um mercado de oferta madura de VE. Entre 2031 e 2034, a substituição cresce ao ritmo de apenas 0,5%, assumido como início da oferta mais ampla no Brasil, com aceleração em 2035 para 2,5%, metade da depreciação padrão, atingida em 2039.

Tabela 1: Dinâmica de Substituição

Ano	Participação VE	Ano	Participação VE
2021	0.00%	2041	25.00%
2022	0.00%	2042	30.00%
2023	0.00%	2043	40.00%
2024	0.00%	2044	50.00%
2025	0.00%	2045	60.00%
2026	0.00%	2046	70.00%
2027	0.00%	2047	80.00%
2028	0.01%	2048	90.00%
2029	0.02%	2049	100.00%
2030	0.04%	2050	100.00%
2031	1.00%	2051	100.00%
2032	1.50%	2052	100.00%
2033	2.00%	2053	100.00%
2034	2.50%	2054	100.00%
2035	5.00%	2055	100.00%
2036	7.50%	2056	100.00%
2037	10.00%	2057	100.00%
2038	12.50%	2058	100.00%
2039	15.00%	2059	100.00%
2040	20.00%	2060	100.00%

### 3.5. Índice Potencial de Arrecadação de ICMS

O índice Potencial de Arrecadação de ICMS (PICMS) foi assumido como função da frota de veículos com motores de combustão interna, adotado o ano de 2021 como base 100. Ou seja, quando maior que 100, ter-se-á um potencial superior ao ano de 2021, caso contrário, inferior.

Assumiu-se como momento crítico para a arrecadação de ICMS o ano em que o valor obtido declinar em relação ao ano imediatamente anterior. Essa noção advém do conceito de *flypaper*, cuja implicação é de que nunca sobram recursos na administração pública. Ou seja, dado uma fonte de arrecadação, serão realizados projetos, inclusive com geração de despesas correntes que resultam na dependência fiscal daquela fonte e, em sua perda, na necessidade de geração de fontes alternativas.

## 4. ANÁLISE E RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e debatidos os resultados encontrados.

A Tabela 2 lista os resultados da regressão linear realizada. O elevado valor obtido para o  $R^2$  está relacionado a não estacionariedade da série, já que não há indício de multicolineariedade. No entanto, como ressaltado na Metodologia, para os objetivos do trabalho a avaliação às hipóteses do Modelo Clássico de Regressão Linear não são necessárias.

Tabela 2: Resultados da Regressão Linear

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P
C	-579429850.9	9459366.875	-61.25461234	2.37142E-16
Pop	3.726444502	0.053379704	69.81013783	4.95937E-17
<b>Estatística de regressão</b>				
R múltiplo	0.99877111			
R-Quadrado	0.997543729			
R-quadrado ajustado	0.99733904			
Erro padrão	1048553.079			
Observações	14			

Inseridos os parâmetros estimados, a Equação 1 assume a forma apresentada pela Equação

4.

$$Frota_i = -579.429.850,9 + 3,7264445 * Pop_i + \varepsilon_i \quad \dots(3)$$

Entre os anos de 2021 e 2060, a Tabela 3 apresenta a projeção da frota com base na Equação

3. O coeficiente de inclinação da reta de regressão linear demonstra um resultado preliminar interessante, corroborado pela análise inicial aprensetada na Metodologia. A demadna de aumtomóveis no Brasil, para o período da amostra, foi bastante elástica à população.

Tabela 3: Frota Projetada

Ano	População	Frota	Ano	População	Frota
2021	167,687,125	45,446,914	2041	187,695,956	120,008,712
2022	169,449,859	52,015,644	2042	187,838,125	120,538,497
2023	171,134,122	58,291,957	2043	187,903,317	120,781,431
2024	172,743,733	64,290,083	2044	187,891,302	120,736,658
2025	174,280,664	70,017,371	2045	187,804,377	120,412,737
2026	175,742,776	75,465,850	2046	187,645,449	119,820,500
2027	177,129,228	80,632,387	2047	187,419,734	118,979,386
2028	178,436,867	85,505,231	2048	187,132,195	117,907,888
2029	179,660,204	90,063,928	2049	186,790,096	116,633,075
2030	180,796,102	94,296,789	2050	186,397,729	115,170,941
2031	181,841,710	98,193,189	2051	185,952,690	113,512,528
2032	182,800,291	101,765,288	2052	185,453,413	111,652,000
2033	183,673,003	105,017,401	2053	184,899,429	109,587,609
2034	184,462,123	107,958,013	2054	184,289,417	107,314,433
2035	185,169,463	110,593,876	2055	183,621,752	104,826,417
2036	185,794,750	112,923,973	2056	182,895,923	102,121,655
2037	186,337,619	114,946,945	2057	182,112,309	99,201,561
2038	186,798,226	116,663,371	2058	181,265,547	96,046,150
2039	187,177,399	118,076,338	2059	180,347,858	92,626,433
2040	187,476,275	119,190,083	2060	179,355,266	88,927,594

Consideradas as estimativas, o pico de frota será atingindo no Brasil em 2043, num total de 120.781.431 veículos, seguido de um decréscimo em alinhamento com a redução projetada para a população. Em 2060, último ano da análise, a frota seria de 88.927.594, pouco menos que o dobro da atual.

Combinados os resultados das projeções da Tabela 3, com a dinâmica definida na Tabela 1, tem-se como resultado a Tabela 4.



A Tabela 5, por sua vez, apresenta o PICMS por ano de projeção.

Tabela 4: Decomposição da Frota

Ano	População	Frota Total	Frota VE	Frota Combustão	Ano	População	Frota	Frota VE	Frota Combustão
2021	167,687,125	45,446,914	0	45,446,914	2041	187,695,956	120,008,712	30,002,178	90,006,534
2022	169,449,859	52,015,644	0	52,015,644	2042	187,838,125	120,538,497	36,161,549	84,376,948
2023	171,134,122	58,291,957	0	58,291,957	2043	187,903,317	120,781,431	48,312,572	72,468,859
2024	172,743,733	64,290,083	0	64,290,083	2044	187,891,302	120,736,658	60,368,329	60,368,329
2025	174,280,664	70,017,371	0	70,017,371	2045	187,804,377	120,412,737	72,247,642	48,165,095
2026	175,742,776	75,465,850	0	75,465,850	2046	187,645,449	119,820,500	83,874,350	35,946,150
2027	177,129,228	80,632,387	0	80,632,387	2047	187,419,734	118,979,386	95,183,509	23,795,877
2028	178,436,867	85,505,231	8,551	85,496,680	2048	187,132,195	117,907,888	106,117,099	11,790,789
2029	179,660,204	90,063,928	18,013	90,045,915	2049	186,790,096	116,633,075	116,633,075	0
2030	180,796,102	94,296,789	37,719	94,259,070	2050	186,397,729	115,170,941	115,170,941	0
2031	181,841,710	98,193,189	981,932	97,211,257	2051	185,952,690	113,512,528	113,512,528	0
2032	182,800,291	101,765,288	1,526,479	100,238,809	2052	185,453,413	111,652,000	111,652,000	0
2033	183,673,003	105,017,401	2,100,348	102,917,053	2053	184,899,429	109,587,609	109,587,609	0
2034	184,462,123	107,958,013	2,698,950	105,259,063	2054	184,289,417	107,314,433	107,314,433	0
2035	185,169,463	110,593,876	5,529,694	105,064,182	2055	183,621,752	104,826,417	104,826,417	0
2036	185,794,750	112,923,973	8,469,298	104,454,675	2056	182,895,923	102,121,655	102,121,655	0
2037	186,337,619	114,946,945	11,494,695	103,452,251	2057	182,112,309	99,201,561	99,201,561	0
2038	186,798,226	116,663,371	14,582,921	102,080,450	2058	181,265,547	96,046,150	96,046,150	0
2039	187,177,399	118,076,338	17,711,451	100,364,887	2059	180,347,858	92,626,433	92,626,433	0
2040	187,476,275	119,190,083	23,838,017	95,352,066	2060	179,355,266	88,927,594	88,927,594	0

Tabela 5: Potencial de Arrecadação de ICMS

Ano	PICMS	Frota Combustão	Ano	PICMS	Frota Combustão
2021	100%	45,446,914	2041	198%	90,006,534
2022	114%	52,015,644	2042	186%	84,376,948
2023	128%	58,291,957	2043	159%	72,468,859
2024	141%	64,290,083	2044	133%	60,368,329
2025	154%	70,017,371	2045	106%	48,165,095
2026	166%	75,465,850	2046	79%	35,946,150
2027	177%	80,632,387	2047	52%	23,795,877
2028	188%	85,496,680	2048	26%	11,790,789
2029	198%	90,045,915	2049	0%	0
2030	207%	94,259,070	2050	0%	0
2031	214%	97,211,257	2051	0%	0
2032	221%	100,238,809	2052	0%	0
2033	226%	102,917,053	2053	0%	0
2034	232%	105,259,063	2054	0%	0
2035	231%	105,064,182	2055	0%	0
2036	230%	104,454,675	2056	0%	0
2037	228%	103,452,251	2057	0%	0
2038	225%	102,080,450	2058	0%	0
2039	221%	100,364,887	2059	0%	0
2040	210%	95,352,066	2060	0%	0

Como pode ser observado na Tabela 5, o potencial de arrecadação de ICMS cresce de maneira constante até 2039, com rápida tendência de queda a partir de 2040. Em 2047 a arrecadação potencial de ICMS a partir de combustíveis fósseis será de apenas 52% da observada

em 2021, chegando a 26% em 2048 e zero em 2049.

É importante se notar que há um efeito que pode induzir um falso senso de conforto fiscal, o que reduz os incentivos à reforma ampla do sistema de arrecadação, caracterizado pelo aumento contínuo da fonte de receita, mesmo durante a primeira década de inserção dos VE no mercado brasileiro. A questão-chave reside no fato da base fiscal ruir de maneira rápida, motivada tanto pela redução da frota, resultado da queda populacional, quanto da chegada ao fim da vida útil de boa parte da base de veículos com motores a combustão interna.

Se analisado o desafio sobre o prisma dos tempos de reforma fiscal no Brasil, e o fato do atual debate nem mesmo contemplar a questão suscitada neste trabalho, pode-se prever que a falta de debate reformista até 2030 poderá resultar em um rearranjo fiscal atrapalho e ineficiente, feito as pressas diante da já projetável e esperável queda da fonte de arrecadação.

O fato é ainda mais grave se observado sob a ótica da tecnologia atual, onde os carregadores possuem capacidade V2G. Ou seja, um automóvel elétrico moderno é um potencial banco de baterias que, somado a geração fotoelétrica em residências, pode originar um modelo geração e consumo pesadamente *off-grid*, o que limita a possibilidade de simples transferência da carga tributária dos combustíveis fósseis para a energia elétrica.

Outra questão que deve ser considerada, e que só seria mitigável com a implementação de redes elétricas inteligentes, é a separação do consumo de energia entre consumo doméstico e abastecimento de VE. A simples transferência da carga tributária, sem a existência de redes inteligentes de distribuição e de carregadores de VE específicos, implica na incapacidade de se segregar consumo doméstico de abastecimento, fato que resultaria no excesso de oneração do consumo essencial de energia para outras finalidades, como iluminação e aquecimento de água.

## 5. CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo a análise dos impactos fiscais, em termos de arrecadação potencial de ICMS, do processo substituição energética no mercado de veículos. Para isso, foi estimado um modelo de regressão linear entre a frota de veículos e a população, utilizado como base para a projeção da frota até o ano de 2060.

A partir dos resultados encontrados foi adicionada uma dinâmica de substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos, com a adoção de hipóteses de disponibilidade de mercado construídas a partir dos anúncios de planejamento de produção das principais montadoras.

Os objetivos do trabalho foram alcançados, com os resultados evidenciando a necessidade imediata, e a complexidade, do debate envolvido na necessária reorganização da base de tributação dos combustíveis fósseis.

É importante se notar que há um efeito que pode induzir um falso senso de conforto fiscal, o que reduz os incentivos à reforma ampla do sistema de arrecadação, caracterizado pelo aumento contínuo da fonte de receita, mesmo durante a primeira década de inserção dos VE no mercado brasileiro. A questão-chave reside no fato da base fiscal ruir de maneira rápida, motivada tanto pela redução da frota, resultado da queda populacional, quanto da chegada ao fim da vida útil de boa parte da base de veículos com motores a combustão interna.

Se analisado o desafio sobre o prisma dos tempos de reforma fiscal no Brasil, e o fato do atual debate nem mesmo contemplar a questão suscitada neste trabalho, pode-se prever que a falta de debate reformista até 2030 poderá resultar em um rearranjo fiscal atrapalho e ineficiente, feito as pressas diante da já projetável e esperável queda da fonte de arrecadação.

O fato é ainda mais grave se observado sob a ótica da tecnologia atual, onde os carregadores possuem capacidade V2G. Ou seja, um automóvel elétrico moderno é um potencial banco de baterias que, somado a geração fotoelétrica em residências, pode originar um modelo geração e

consumo pesadamente *off-grid*, o que limita a possibilidade de simples transferência da carga tributária dos combustíveis fósseis para a energia elétrica.

Outra questão que deve ser considerada, e que só seria mitigável com a implementação de redes elétricas inteligentes, é a separação do consumo de energia entre consumo doméstico e abastecimento de VE. A simples transferência da carga tributária, sem a existência de redes inteligentes de distribuição e de carregadores de VE específicos, implica na incapacidade de se segregar consumo doméstico de abastecimento, fato que resultaria no excesso de oneração do consumo essencial de energia para outras finalidades, como iluminação e aquecimento de água.

Como possível extensão futura da pesquisa, propõe-se a geração de estimas mais detalhadas a partir do planejamento estratégico das montadoras. A principal limitação do estudo foi a não separação dos veículos em classes de maior ou menor probabilidade de substituição, que pese a tendência de longo prazo dos diferentes seguimentos ser similar.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

ABNT. Norma Brasileira de Referência 5410/2004.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Gasolina. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-gasolina>>.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Seminário de Avaliação do Mercado de Combustíveis 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/palestras/seminario-de-avaliacao-do-mercado-de-combustiveis-fev2019.pdf>>.

BARASSA, Edgar et al. Trajetória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil. Campinas, SP, 2015.

BARRETO, Gilmar. Veículo elétrico à bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto. 1986. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARDOU, JP., CHANARON, JJ., FRIDENSON, P., LAUX, J. (1982) The Automobile Revolution. The Impact of an Industry. University of North Carolina Press: Chapel Hill.

BIOBLOG. Diferenças entre etanol hidratado e etanol anidro. Disponível em:

<<https://www.bioblog.com.br/diferencas-entre-etanol-hidratado-e-etanol-anidro/>>.

BMW. BMW i3. Disponível em: < <https://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/i3/2017/visao-geral.html> >.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. Disponível em:

<[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%c3%adculos%20e%20el%C3%a9tricos%20aspectos%20b%C3%a1sicos%20perspectivas\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%c3%adculos%20e%20el%C3%a9tricos%20aspectos%20b%C3%a1sicos%20perspectivas_P.pdf)>.

BRAUDEL, F. Civilização Material, Economia e Capitalismo: século XV-XVIII. Martins Fontes, 2009.

\_\_\_\_\_, BRASIL. (1940). Decreto-lei 1.985/40: Código de Minas. Rio de Janeiro.

BROOKS, C. Introductory Econometrics for Finance. 4a Edição. Editora Cambridge University Press, 2019.

CALABI, A, FONSECA, E., SAES, F., KINDI, F., LIMA, J., LEME, M., REICHSTUL, H (1983).

A Energia ea Economia Brasileira. Editora Pioneira, Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas.

CALIXTO, Bruno. Carro elétrico: estamos vendo o início do fim do carro a gasolina? Época.

Disponível em: <<https://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/07/carro-eletrico-estamos-vendo-o-inicio-do-fim-do-carro-gasolina.html> >.

CALSTART. Energy storage compendium: batteries for electric and hybrid heavy duty vehicles.

Pasadena, CA: Calstart, mar. 2010. Disponível em:

<[https://calstart.org/libraries-publications-energy\\_storage\\_compendium\\_2010-sflb-ashx/](https://calstart.org/libraries-publications-energy_storage_compendium_2010-sflb-ashx/)>.

CAR AND DRIVER. BMW i3. Disponível em: <<http://www.caranddriver.com/bmw/i3>>.

CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T. Veículos elétricos: Aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES Setorial 32, p. 267-310. Disponível em:

<[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%c3%adculos%20e%20a%9tricos%20aspectos%20b%c3%a1sicos%2c%20perspectivas\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/2/BS%2032%20Ve%c3%adculos%20e%20a%9tricos%20aspectos%20b%c3%a1sicos%2c%20perspectivas_P.pdf)>.

CHANARON, J-J; TESKE, J. Hybrid vehicles: a temporary step. Int. J. Automotive Technology and Management, Vol. 7, No. 4, 2007. p. 268–288.

CLUBE DO CARRO ELÉTRICO. Matéria veiculada pela Agência Brasil apresenta o projeto do Gol Elétrico. Disponível em:

<<http://clubedocarroeletrico.com.br/index.php/?passo-a-passo/>>.

CONFAZ. (2005). Atos Cotepe e Convênios ICMS. Conselho Nacional de Política Fazendária. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/confaz>>

COWAN, R.; HULTÉN, S. Escape lock-in: the case of the electric vehicle. Technological Forecasting and Social Change, vol. 53, 1996.

CRISTÓVÃO, D. E WATANABE, M. (2002). Guia Valor Econômico de Tributos. Editora Globo, 1ª edição, São Paulo.

DE CASTRO, Gleise. Itaipu quer desenvolver cadeia do carro elétrico. 2013. Valor.

Disponível em:

<<https://jie.itaipu.gov.br/sites/default/files/files2009/file/Itaipu%20quer%20desenvolver%20cadeia%20do%20carro%20eletrico.pdf>>.

DE SOUZA, L. A. Óleo Diesel. Mundo Educação. Disponível em:

<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/oleo-diesel.htm>>.

DIAMOND, J. Armas, Germes e Aço: os destinos das sociedades humanas. Record, 2016.

DUNLOP. Conheça os diferentes tipos de combustíveis. Disponível em:

<<https://autoesporte.globo.com/servicos/noticia/2016/09/conheca-os-diferentes-tipos-de-combustiveis-que-existem-nos-postos.ghtml>>.

DUTRA, L. E CECHI, J. (1998). *Petróleo, Preços e Tributos: Experiência Internacional e Política Energética Nacional*. Editora Tama LTDA, Rio de Janeiro.

ECYCLE. Diesel: conheça a composição e saiba por que ele é um perigo para a saúde humana.

Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/63/4102-combustivel-diesel-composto-hidrocarbonetos-riscos-qualidade-ar-transporte-caminhoes-onibus-cargas-motores-emissoes-gases-materiais-particulados-cancerigenas-pulmao-perigo-atmosfera-respiratorio-controle-inspecao-veicular-programas-avancos.html>>.

EDP – ENERGIAS DE PORTUGAL. Como funciona um veículo elétrico? Disponível em:

<<https://www.edp.pt/particulares/content-hub/tudo-sobre-carros-eletricos/#:~:text=Como%20este%20tipo%20de%20ve%C3%ADculo,casa%20atrav%C3%A9s%20de%20uma%20wallbox.>>.

FEIJÓ, R. (2003). *Substituição Tributária do ICMS nas Operações com Petróleo e Derivados*. Monografia de graduação, Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro.

FREYSSNET, M., 2011. *La production et le marché automobiles chinois par constructeur, 1959-2010*. Disponível em: <<http://freysenet.com/?q=node/1372>>.

FREYSSNET, M., 2011. “The start of a Second Automobile Revolution Corporate strategies and public policies”. *European Review of Industrial Economics and Policy*, v. 3.

FREYSSNET, M. Three possible scenarios for cleaner automobiles, *International Journal of Automobile Technology and Management*, issue n°4, 2011.

HOBBSAWN, E. *A Era do Capital*. Ed. Paz & Terra, 2006.

INSTITUTO DE FÍSICA. *Motor de Combustão Interna*. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~leila/motor.htm>>.

JOVEM PAN. Por que o carro flex fica mais potente com etanol? Entenda. Disponível em:

<<https://jovempan.com.br/noticias/por-que-o-carro-flex-fica-mais-potente-com-etanol-entenda.html>>.

JUSSANI, A. C.; MASIERO, G; IBUSUKI, U. Carro-elétrico vs híbrido: Qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil? XVII SEMEAD: Seminários em Administração. 2014.

Disponível em:

<<http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/221.pdf>>.

LEITE, A. (1997). A Energia do Brasil. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

MARTINS, Raphael. Há dois caminhos para o carro elétrico vingar no Brasil. Revista Exame.

Disponível em: <<https://exame.com/brasil/ha-dois-caminhos-para-o-carro-eletrico-vingar-no-brasil/>>.

MBALLA, A. M. F. (1998) Historique d'une trajectoire technologique: le cas du système raffinage-automobile , Thèse de doctorat en économie: Grenoble.

MELLO, A. M., MARX, R., SOUZA, A. Exploring scenarios for the possibility of developing design and production competencies of electrical vehicles in Brazil, International Journal of Automotive Technology and Management, 13 (3), pp. 289-314. 2013.

MOM, G. (2004) The Electric Vehicle : Technology and Expectations in the Automobile Age. Johns Hopkins University Press: Baltimore, London.

MOON, G. Y. Bateria de sódio tem segurança e maior vida útil. Veículo Elétrico. Itaipu Binacional. 2015. Ano 5, nº8. Disponível em:

<[https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/informativo\\_ve\\_8\\_final.pdf](https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/informativo_ve_8_final.pdf)>.

MOWERY, D. C. e ROSENBERG, N. Trajetórias da Inovação – mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX. Clássicos da Inovação. Editora da Unicamp, 2005.

MUNDO EDUCAÇÃO. Funcionamento do Motor de Combustão Interna. Disponível em:

<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>.

NOVA CANA. Etanol. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol>>.



NOVA CANA. Governo Federal repensa futuro dos carros no Brasil: “Inovar-Auto 2” vira “Rota 2030”. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/carros/governo-federal-futuro-carros-brasil-inovar-auto-2-rota-2030-190417/>>.

OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. Diesel Engine.

Disponível em:  
<[https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb\\_diesel\\_engine.pdf](https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf)>.

OLIVEIRA, L. M. (1987). Formação de Preços dos Derivados de Petróleo e seus Desdobramentos: Um Estudos Retrospectivo – 1974/1984. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ.

OMNICAR. Afinal, o que é Car Sharing? Disponível em: <<https://www.omnicar.app/blog/o-que-e-carsharing>>.

PORTAL ENERGIA. Vantagens e desvantagens do Carro Elétrico vs Gasolina. Disponível em: <[REUTERS. 'Rota 2030' vai substituir o Inovar-Auto com foco em tecnologia e competitividade. G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/rota-2030-vai-substituir-o-inovar-auto-com-foco-em-tecnologia-e-competitividade.ghtml>>.](https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/#:~:text=Maior%20efici%C3%Aancia%20do%20motor%3A%20Os,0.23%20kw%2Fh%20por%20quil%C3%B3metro.&text=A%20m%C3%A9dia%20de%20consumo%20equivalent e,eficientes%20que%20um%20ve%C3%ADculo%20el%C3%A9trico.></a>>.</p></div><div data-bbox=)

SCHECHTMAN, R., CUNHA, N., SILVEIRA, J. E NASCIMENTO, D. (2001). Combustíveis no Brasil: Políticas de Preço e Estrutura Tributária. Agência Nacional do Petróleo (ANP), Superintendência de Estudos Estratégicos (SEE), Nota técnica ANP nº 11, 52pp, março.

SILVA, C. (2003). Concorrência no Setor de Petróleo na América do Sul. Dissertação de mestrado, Instituto de Economia, IE/UFRJ, Rio de Janeiro.

SILVEIRA, J. (2002). A Abertura do Mercado de Abastecimento de Combustíveis: A Nova

Estrutura Tributária e a Evolução da Desregulamentação de Preços. Agência Nacional do Petróleo (ANP), Superintendência de Estudos Estratégicos (SEE), Nota técnica ANP nº 14, 15pp, abril.

SIMÃO, N. (2001). A Reestruturação do Setor Petrolífero no Brasil: A Questão da Tributação. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, março.

TILLMANN, C. A. da C. Motores de combustão interna e seus sistemas. / Carlos Antonio da Costa Tillmann. – Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013. 165 p.

VERDES SOBRE RODAS. Sobre o carro elétrico. Disponível em:

<<http://www.verdesobrerodas.com.br/p/sobre-o-carro-eletrico.html>>.

ZEEV. Renault Zoe. Disponível em: <https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/zoe.html> > .

\_\_\_\_\_, (1966). Código Tributário Nacional: Lei 5.172/66. Consolidada até a Lei Complementar nº 104, de 10 de janeiro de 2001, Brasília.

\_\_\_\_\_, (1980). Decreto-lei 1.735/80: Altera a legislação referente ao Imposto Único sobre Lubrificantes e Combustíveis e dá outras providências. Brasília.

\_\_\_\_\_, (1988). Constituição da República Federativa do Brasil.. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/legisla.htm>, Brasília.

\_\_\_\_\_, (1993). Lei 8.723/93: Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. Brasília.

\_\_\_\_\_, (1996). Lei Complementar 87/96: Dispõe sobre o imposto dos Estados e do Distrito Federal sobre operações relativas à circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação, e dá outras providências. Brasília.

\_\_\_\_\_, (1997). Lei 9.478/97: Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência

Nacional do Petróleo. Texto atualizado até outubro de 2005, Brasília.

\_\_\_\_\_, (2000). Lei 9.990/00: Prorroga o período de transição previsto na Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, que dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética. Texto atualizado até outubro de 2020, Brasília.

\_\_\_\_\_, (2001) Emenda Constitucional 33. EC nº 33, de 11 de dezembro de 2001, disponível em <http://www.planalto.gov.br/>.

## ANEXO I

### Série Histórica de Veículos 2006-2020: Brasil

	Indicador	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	Veículo	45,029,257	49,644,025	59,361,642	64,817,974	70,543,535	76,137,191	81,600,729	86,700,490	90,686,936	93,867,016	97,091,956	100,746,553	104,784,375	107,948,371
1.1	Tipo														
1.1.1	Automóvel	27,700,608	29,851,610	34,536,667	37,188,341	39,832,919	42,682,111	45,444,387	47,946,665	49,822,709	51,296,982	52,916,160	54,715,488	56,652,190	58,016,405
1.1.2	Bonde	216	210	137	126	93	62	48	46	45	44	43	42	42	42
1.1.3	Caminhão	1,761,659	1,847,225	2,026,269	2,143,467	2,274,947	2,380,780	2,488,680	2,588,984	2,645,992	2,684,227	2,720,548	2,766,097	2,826,343	2,879,080
1.1.4	Caminhão Trator	278,468	304,918	367,189	412,473	457,954	492,640	541,118	578,765	593,892	606,679	623,112	655,047	697,732	735,748
1.1.5	Caminhonete	1,932,907	2,560,451	3,835,242	4,285,690	4,762,943	5,238,656	5,731,997	6,245,837	6,588,813	6,880,333	7,192,441	7,555,090	7,968,682	8,297,242
1.1.6	Camioneta	2,408,134	2,116,649	1,704,130	1,859,043	2,066,383	2,288,427	2,516,967	2,732,871	2,908,233	3,053,759	3,207,786	3,415,049	3,595,810	3,727,448
1.1.7	Chassi plataforma	7,079	6,913	4,620	3,801	3,261	2,972	2,291	2,079	1,942	1,877	1,806	1,765	1,722	1,700
1.1.8	Ciclomotor	83,306	83,615	89,350	95,259	107,919	127,324	142,857	159,705	223,755	338,470	370,361	387,458	404,343	415,291
1.1.9	Microônibus	196,578	214,483	249,016	270,693	296,761	318,762	340,928	361,501	375,274	383,325	390,235	398,839	412,046	420,105
1.1.10	Motocicleta	7,881,199	9,410,110	12,415,764	13,950,448	15,579,899	16,910,473	18,114,464	19,242,916	20,216,193	20,942,633	21,608,568	22,339,110	23,165,586	23,862,010
1.1.11	Motoneta	1,348,219	1,661,260	2,183,564	2,444,471	2,739,603	3,023,859	3,317,325	3,599,581	3,833,159	3,990,558	4,147,822	4,339,226	4,571,968	4,778,607
1.1.12	Ônibus	351,913	375,669	424,068	451,989	486,597	514,980	547,465	574,125	590,657	601,522	612,534	627,058	647,376	660,394
1.1.13	Quadriciclo	149	151	152	153	154	154	154	155	157	163	182	201	252	268
1.1.14	Reboque	525,876	573,344	679,968	782,421	866,508	961,795	1,070,606	1,185,242	1,296,184	1,399,298	1,501,219	1,608,078	1,722,890	1,852,654
1.1.15	Semi-reboque	455,998	497,454	588,327	612,040	670,309	722,572	789,614	843,404	873,106	896,354	920,504	960,352	1,016,350	1,075,545
1.1.16	Sídecar	6,600	7,825	8,405	8,418	8,491	8,505	8,509	8,510	8,519	8,524	8,524	8,525	8,526	8,542
1.1.17	Trator de esteira	78	94	115	155	179	203	208	208	208	208	208	208	211	211
1.1.18	Trator de rodas	13,227	14,656	18,711	21,679	24,666	27,026	28,363	29,516	30,372	30,896	31,363	31,948	32,973	33,894
1.1.19	Triciclo	2,305	2,881	6,417	10,258	14,838	19,052	22,615	25,518	28,417	30,903	32,769	34,795	36,934	38,595
1.1.20	Utilitário	71,139	111,524	216,415	269,217	340,747	407,685	482,027	563,861	637,211	707,152	791,763	887,042	1,005,535	1,125,451
1.1.21	Outros	3,599	2,983	7,116	7,832	8,364	9,153	10,106	11,001	12,098	13,109	14,008	15,135	16,864	19,139

Fonte: IBGE Cidades

## ANEXO II

Ano	População	Ano	População	Ano	População
2006	135,188,567	2027	177,129,228	2048	187,132,195
2007	137,532,668	2028	178,436,867	2049	186,790,096
2008	139,852,517	2029	179,660,204	2050	186,397,729
2009	142,149,581	2030	180,796,102	2051	185,952,690
2010	144,425,949	2031	181,841,710	2052	185,453,413
2011	146,683,693	2032	182,800,291	2053	184,899,429
2012	148,922,100	2033	183,673,003	2054	184,289,417
2013	151,142,712	2034	184,462,123	2055	183,621,752
2014	153,347,754	2035	185,169,463	2056	182,895,923
2015	155,528,981	2036	185,794,750	2057	182,112,309
2016	157,723,572	2037	186,337,619	2058	181,265,547
2017	159,856,846	2038	186,798,226	2059	180,347,858
2018	161,924,124	2039	187,177,399	2060	179,355,266
2019	163,920,572	2040	187,476,275		
2020	165,842,846	2041	187,695,956		
2021	167,687,125	2042	187,838,125		
2022	169,449,859	2043	187,903,317		
2023	171,134,122	2044	187,891,302		
2024	172,743,733	2045	187,804,377		
2025	174,280,664	2046	187,645,449		
2026	175,742,776	2047	187,419,734		