



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Marco Antonio Naim Raad

**UM ESTUDO ECONOMÉTRICO SOBRE O IMPACTO DO AUMENTO DA  
FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA DEMANDA POR GASOLINA NA  
NORUEGA**

Rio de Janeiro

2023

Marco Antonio Naim Raad

**UM ESTUDO ECONOMÉTRICO SOBRE O IMPACTO DO AUMENTO DA  
FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA DEMANDA POR GASOLINA NA  
NORUEGA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Professora Dra. Susan Schommer

Rio de Janeiro

2023

## CIP - Catalogação na Publicação

R111e Raad, Marco Antonio Naim  
Um estudo econométrico sobre o impacto do aumento da frota de veículos elétricos sobre a demanda por gasolina na Noruega / Marco Antonio Naim Raad. -- Rio de Janeiro, 2023.  
37 f.

Orientadora: Susan Schommer.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Bacharel em Ciências Econômicas, 2023.

1. Veículos elétricos. 2. Econometria. 3. Regressão Linear. 4. Noruega. 5. Elasticidade. I. Schommer, Susan, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

MARCO ANTONIO NAIM RAAD

UM ESTUDO ECONOMÉTRICO SOBRE O IMPACTO DO AUMENTO DA FROTA  
DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA DEMANDA POR GASOLINA NA NORUEGA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Instituto de Economia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
como requisito para a obtenção do título  
de Bacharel em Ciências Econômicas.

Rio de Janeiro, 25/08/2023.

---

SUSAN SCHOMMER - Presidente

Professora Dra. do Instituto de Economia da UFRJ

---

ROLANDO GÁRCIGA OTERO

Professor Dr. do Instituto de Economia da UFRJ

---

ANA LUIZA MARIA GUIMARÃES COELHO

Mestra em Economia pela UFRJ

Dedico esse trabalho à minha vó que sempre me apoiou e ajudou longo de toda minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, quero expressar minha profunda gratidão aos meus queridos familiares, especialmente aos meus pais Antônio e Emilie. Seu amor incondicional e apoio constante foram meu alicerce durante essa jornada desafiadora. Cada palavra de encorajamento, cada gesto de carinho, foram combustíveis que me impulsionaram a superar os obstáculos e seguir em frente.

Aos meus amigos Vanessa, Armando e João, que estiveram ao meu lado em cada etapa dessa trajetória, o meu mais sincero agradecimento. Vocês me trouxeram momentos de descontração nos momentos de tensão e compartilharam essa jornada com alegria. Sem a colaboração, o companheirismo e a parceria de vocês, essa experiência não teria sido a mesma.

Aos meus respeitados orientadores e professores, meu profundo reconhecimento. Suas orientações, conhecimento e feedbacks críticos foram fundamentais para moldar este trabalho, levando-o a um nível que eu jamais imaginaria alcançar. Agradeço por investirem tempo e energia em minha formação e por compartilharem sabedoria e expertise.

Por fim, agradeço a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste TCC. Cada conversa inspiradora, cada dica valiosa e cada gesto de incentivo foram importantes peças desse quebra-cabeça. A jornada foi longa e desafiadora, mas graças a todos vocês, hoje posso celebrar essa conquista.

[...] em geral, atravessamos pontes sem nos preocuparmos com a solidez de sua construção, porque temos confiança de que alguém verificou rigorosamente seus princípios de engenharia e prática. Os economistas devem fazer o mesmo com modelos ou fazer a advertência: “não nos responsabilizamos se o uso provocar um acidente”. (Hendry, 1995, p. 68)

## RESUMO

A pergunta que norteia o presente estudo é: qual o impacto dos veículos elétricos sobre a demanda por gasolina na Noruega? Para tentar responder esta questão foi estimada a função demanda por gasolina na Noruega e suas elasticidades-preço e renda, para o período de janeiro de 2016 a março de 2023. A Noruega arcou com os custos de investir em veículos elétricos, o que resultou em um *market share* de 25%. Adicionalmente, quanto ao registro de novos veículos o *market share* já ultrapassa 80%. As vantagens e principais alavancas para a adoção do carro elétrico foram discutidas, além da dispendiosa política de incentivos norueguesa que cumpriu seu papel alavancando as vendas dos veículos elétricos. Os modelos tradicionais de demanda por gasolina são expostos e após isso constrói-se um modelo dinâmico de demanda por gasolina na Noruega. Os resultados do estudo econométrico implicaram que no curto prazo o *market-share* dos veículos elétricos não é relevante para explicar a demanda por gasolina na Noruega.

**Palavras-chave:** veículos elétricos; regressão; teste; elasticidade; Noruega.

## ABSTRACT

The guiding question of this study is: what is the impact of electric vehicles on gasoline demand in Norway? To try to answer this question, the gasoline demand function in Norway and its price and income elasticities were estimated for the period from January 2016 to March 2023. Norway has shouldered the costs of investing in electric vehicles, which has resulted in a market share of 25%. Additionally, the market share in the registration of new vehicles already exceeds 80%. The advantages and main levers for the adoption of electric cars were discussed, in addition to the expensive Norwegian incentive policy that played its part in boosting electric car sales. Traditional gasoline demand models are exposed and then one dynamic gasoline demand model of Norway is build. The results of the econometric study implied that in the short term, the market share of electric vehicles is not relevant to explain gasoline demand in Norway.

**Keywords:** electric vehicles; regression; test; elasticity; Norway.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Venda de VEs na Noruega.....	20
Figura 2 - Séries Históricas das variáveis do modelo.....	29
Figura 3 - Registro de veículos na Noruega por tipo de combustível .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de raiz unitária em nível .....	30
Tabela 2 - Teste de raiz unitária em diferença.....	30
Tabela 3 - Regressão Linear Dinâmica por MQO.....	31
Tabela 4 - Teste Ljung-Box.....	33
Tabela 5 - Teste Breusch-Pagan .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

MCRL – Modelo Clássico de Regressão Linear

BP – *British Petroleum*

CCS – *Carbon Capture and Storage*

BBC – *British Broadcast Company*

ADF – *Augmented Dickey-Fuller*

MQO – Mínimos Quadrados Ordinários

RLD - Regressão Linear Dinâmica

VAR – Vetor Autorregressivo

VECM – Modelo vetor de correção de erros

VEs – Veículos Elétricos

CNITR - Conselho Norueguês de Informação sobre o Tráfego Rodoviário

GEE - Gases do Efeito Estufa

IVA – Imposto sobre Valor Agregado

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	12
1.2	ORGANIZAÇÃO.....	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1	VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	14
2.2	POLÍTICA DE INCENTIVO NORUEGUESA.....	16
2.3	O MODELO DE DEMANDA POR GASOLINA.....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
3.1	FONTES DE DADOS.....	23
3.2	ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS.....	24
<b>3.2.1</b>	<b>Teste de raiz unitária.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Teste de autocorrelação.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Teste de heterocedasticidade.....</b>	<b>26</b>
3.3	REGRESSÃO LINEAR DINÂMICA.....	26
3.4	MODELO ECONOMETRICO.....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo atual está sob um constante dilema entre o aumento da produtividade e a descarbonização da cadeia produtiva. Nesse contexto, os veículos elétricos surgem como uma opção mais “verde” ao transporte convencional que corresponde à 30% da emissão de carbono mundial. A promessa dessa velha nova tecnologia (carros elétricos surgiram antes dos carros à combustão, mas o desempenho destes se sobrepôs e domina as ruas até hoje) é a de ser tão potente quanto os veículos movidos à combustível, mas com um efeito menos danoso ao meio ambiente. Ressalta-se que o peso (ou *market share*) dos veículos elétricos no total de veículos circulantes globalmente é ínfimo, logo um conjunto de escolhas se apresentam aos *policy makers*, principalmente: investir em veículos elétricos mesmo que isso represente um custo inicial maior ou incentivar o aumento de eficiência dos carros movidos à combustão. Dale e Smith (2016) argumentam que essa escolha deveria ser particular de cada país, com a opção escolhida sendo dependente da matriz energética, já que países que geram eletricidade a partir de combustíveis fósseis não seriam tão mais limpos produzindo veículos elétricos. Adicionalmente, o custo para se aumentar a eficiência dos motores a combustão e reduzir suas emissões de carbono seria muito menor do que o investimento para viabilizar uma produção em massa dos automóveis elétricos. Dito isso, não parece consensual que todos os países devam fazer essa transição veicular. Particularmente, a Noruega arcou com os custos de investir em veículos elétricos, o que resultou em um *market share* de 25%. (*Statistics Norway*, 2023). É interessante avaliar o quanto esse gasto foi eficaz em frear a demanda por gasolina, já que a Noruega optou por uma escolha dispendiosa.

### 1.1 HIPÓTESE E OBJETIVOS

É de suma importância ter a dimensão do impacto que a gigantesca entrada dos veículos elétricos no mercado norueguês causou na demanda por gasolina. O mecanismo que materializaria esse impacto ocorreria via efeito substituição: os novos carros com motores elétricos substituindo os movidos à combustão. Esta substituição provocaria um efeito negativo na demanda por gasolina veicular. Destaca-se que a demanda por gasolina não advém somente da utilização dos automóveis, mas esse uso compõe grande parte

dessa demanda, chegando à 60% em alguns países conforme aponta relatório da *International Energy Agency* (IEA, 2021).

Em muitos países o mercado de veículos elétricos é bastante tímido, o que não permite uma ponderação adequada acerca de seus efeitos sobre a demanda por gasolina. Dito isso, o objetivo da monografia é diagnosticar se o aumento da circulação de veículos elétricos na Noruega, que ao contrário da maioria dos países tem uma parcela significativa de sua frota automotiva eletrificada, impactou negativamente a demanda por gasolina no curto prazo, seja diminuindo a exponencialidade do crescimento da sua curva de demanda ou de fato reduzindo o consumo em valores absolutos. Espera-se chegar a esse resultado a partir de um estudo econométrico utilizando a metodologia dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) em um modelo de Regressão Linear Dinâmica (RLD). A opção pela Noruega se deveu ao fato de ser um grande produtor e exportador de gasolina e ao mesmo tempo um grande incentivador da substituição dos veículos tradicionais pelos veículos elétricos.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO

A monografia em questão está organizada em cinco seções, incluindo a Introdução e as Considerações Finais. Esta seção introduziu o tema da monografia, a contextualizando frente aos desafios e problemáticas vivenciadas no mundo atual, além de apresentar a hipótese e o objetivo da tese. A segunda seção versa sobre a base teórica desse trabalho, apresentando: os motivos de os *policy makers* diferirem sobre a adoção ou não dos veículos elétricos em massa; a política norueguesa de substituição de veículos a combustão por elétricos; o impacto esperado desse tipo de política no consumo de gasolina e, por fim, o que seria um modelo de demanda por gasolina tradicional. A terceira seção traz a metodologia econométrica usada no estudo. Os principais artifícios quantitativos empregados na análise serão definidos, além da apresentação das fontes dos dados empregados no modelo econométrico. A quarta seção traz os resultados da estimação do modelo, as principais tabelas que dão suporte a estes e sua discussão, onde os resultados serão analisados e comparados ao que se esperava à luz da literatura econômica. A quinta, e última, seção traz as considerações finais, em que a conclusão obtida nos resultados será suportada e a implicação geral do trabalho será apresentada ao mesmo tempo em que problemas e possíveis melhoras ao projeto são apontados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Conforme definido por Bansal (2017), um veículo elétrico (EV) é um veículo movido por um motor elétrico, ao invés de um motor à combustão interna, e esse motor é acionado utilizando a energia armazenada nas baterias. Na visão de Dale e Smith (2016) o ressurgimento do veículo elétrico traria muitas vantagens, sendo a principal delas uma melhora na qualidade do ar nos grandes centros urbanos. À medida que a população cresce, a importância da qualidade do ar também aumenta de maneira significativa. Ao mesmo tempo, é possível afirmar que o crescimento na procura por veículos elétricos atualmente está inserido em uma revolução abrangente no setor de transportes. Nesse contexto, ocorre uma transformação na maneira como as pessoas se relacionam com os automóveis, impulsionada por fatores como direção autônoma, economia colaborativa na posse de veículos e a popularização de viagens compartilhadas com outros indivíduos.

Vale destacar que uma das grandes dúvidas que permeia os veículos elétricos é o quanto eles serão significantes para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e impactar na demanda por gasolina em um horizonte de 20 anos. Analisando mais profundamente a situação presente, dados provenientes da *British Petroleum* (BP, 2016) revelam que aproximadamente novecentos milhões de automóveis estão em circulação globalmente, os quais consomem uma média de 19 milhões de barris de petróleo por dia (mb/d). Os carros, então, representam 20% da demanda total de petróleo do mundo e é sobre esta fatia que uma possível eletrificação da frota veicular impactará. Outras formas de transporte como caminhões e navios ainda estão distantes desse cenário de eletrificação devido a potência dos motores elétricos não serem suficientes em relação às distâncias viajadas e ao peso carregado.

A previsão conservadora do próprio relatório da BP indica que o número de carros a combustão no mundo irá dobrar (de 900 milhões para 1.8 bilhão) enquanto o número de veículos elétricos chegará a 70 milhões, o que os faria continuar sendo uma fatia minoritária do mercado de automóveis. No contexto dessa projeção, o impacto dos carros elétricos na demanda por gasolina seria baixo, não sendo um *driver* relevante para sua diminuição. No entanto, como uma projeção é apenas uma projeção, há outros cenários a serem explorados. Um deles é a previsão da IEA de que em 2035 o número de carros

elétricos circulantes chegará a 450 milhões, número bem superior aos 70 milhões previstos pela BP. Nessa situação, a redução na demanda por petróleo seria significativa (cerca de 5 MB/d). Um estudo da Goldman Sachs (2023) prevendo que 61% dos novos veículos comprados sejam elétricos no ano de 2040 endossa esse cenário mais otimista levantado pela IEA. Em adição, este mesmo estudo considera como principal *driver* para concretização desse cenário o avanço no mercado de baterias a partir do desenvolvimento de novos materiais e o conseqüente ganho de eficiência.

O aumento na frota de veículos elétricos de fato reduziria o consumo de gasolina, mas porque investir neles quando o ganho de eficiência dos veículos a combustão teria um impacto muito maior em ganhos associados ao consumo de gasolina? A resposta pode estar nas emissões de CO<sub>2</sub>. Entretanto, da mesma forma que os veículos elétricos não se apresentam como solução mais significativa para diminuir o consumo de petróleo, também não o são para as emissões de CO<sub>2</sub>. De acordo com Dale e Smith (2016, p. 14):

“em termos de um foco estreito na redução das emissões de carbono ao longo do nos próximos 20 ou 30 anos, pode haver políticas mais eficientes. Seja isso no setor de transportes: incentivando maiores ganhos em veículos eficiência. Ou, de forma mais geral, dentro do sistema de energia, onde o estímulo a uma redução substancial no uso de carvão dentro do sistema de energia global poderia gerar uma economia de carbono muitas vezes maior do que a associada com a expansão dos VEs.”

Assim, o maior benefício socioambiental dos carros elétricos permanece sendo a melhora da qualidade do ar, apesar de também impactar positivamente nas emissões de carbono e no consumo de petróleo.

Quanto às atuais barreiras aos veículos elétricos, uma das maiores é o preço de venda ser entre dez e quinze mil dólares mais caro que os carros convencionais, antes de contabilizados os subsídios. Entretanto, o custo poderia ser visto não somente no preço pago, mas diluído nos gastos por quilômetro rodado ao longo da vida útil do veículo (Sioshansi; Webb, 2019, p. 4). O problema é que para as montadoras não faz sentido ver dessa forma já que esse os consumidores não tendem a avaliar o custo total do veículo ao longo de sua vida útil, mas sim o preço pago no momento da compra. A penetração dos VEs no mercado estaria, então, condicionada a um custo comparável, de produção e venda, aos veículos a combustão.

Vale destacar que para se entender mais profundamente o real valor dos VEs na desaceleração da demanda por gasolina, é necessária a compreensão de quais são os principais *drivers* desta demanda. Nessa perspectiva, Kah (2018, p. 2) elucidada que:

“As mudanças demográficas e o crescimento econômico são grandes impulsionadores da demanda global de petróleo, e mesmo que os VEs não tenham grande penetração no mercado, suas taxas de crescimento em desaceleração enfraquecerão continuamente a taxa do crescimento da procura de petróleo a longo prazo. O aumento da renda e a urbanização em países em desenvolvimento são forças de contrapeso.”

A partir desta elucidação, pode-se dizer que as mudanças na procura por gasolina estariam diretamente associadas aos níveis de crescimento da população e econômico, assim as previsões que exacerbem qualquer desses dois fatores levariam a resultados bem discrepantes acerca do nível de demanda. Como não existe um consenso entre os pesquisadores de qual seriam esses níveis dos fatores, o impacto na demanda é indeterminado, apesar de reconhecidamente existir.

Vale ressaltar que o impacto da adoção dos VEs também é incerto por depender de dois fatores ainda mais incertos: a mudança na tecnologia e as políticas adotadas por cada país para incentivar essa adoção. Redução no custo de baterias e maiores incentivos do governo, por exemplo, acelerariam o impacto na procura por gasolina e a recíproca também é verdadeira. A significância dos VEs nessa discussão estaria, assim, condicionada a sua velocidade de adoção em cada país. Outros fatores com possíveis impactos, mas de mensuração incerta e que não serão destrinchados são: os veículos autônomos e o desenvolvimento de novas modalidades de transporte público.

É válido dizer que haverá uma hierarquia de regiões na incorporação de VEs, sendo a América e a Índia os locais com a menor participação na frota em 2040 (Kah, 2018). A fraca penetração nesses mercados está intimamente relacionada a falta de suporte governamental na América e a infraestrutura precária de energia e transporte na Índia. O local do escopo desse estudo – Noruega – se enquadra no grupo de países que conferem incentivos para eletrificação da frota de automóveis, sendo inclusive o maior expoente desse grupo.

## 2.2 POLÍTICA DE INCENTIVO NORUEGUESA

É importante dizer que ao analisar a política norueguesa de incentivos à compra de carros elétricos, nota-se que de fato ela foi eficaz em aumentar o número de veículos circulantes no país, já que em 2011 havia 2000 e em 2013 esse número chegou a 7900 como atestam os dados do Conselho Norueguês de Informação sobre o Tráfego Rodoviário (CNITR, 2013). A generosa política norueguesa para os VEs começou a ser

implementada gradualmente no começo deste século e após 10 anos começou a fazer parte do chamado *Climate Agreement* (Holtsmark; Skonhøft, 2014).

Basicamente, a política consiste em um pacote de isenção de taxas e certos benefícios econômicos e de trânsito para os usuários de carros elétricos. Em 2014, esse pacote correspondia aos seguintes itens: isenção sobre imposto de valor agregado; estacionamento em locais públicos grátis; inúmeros pontos de recarga de graça; uso de faixas de transporte coletivo e taxas anuais de veículo 50% mais baixas. A base argumentativa que sustenta a distribuição de tantos benefícios está ligada a crença de que os VEs são mais amigáveis ao meio ambiente do que os tradicionais veículos movidos à gasolina, sendo a diferença de um para o outro notada tanto no curto quanto no longo prazo. No curto prazo, as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) reduzir-se-iam e ajudariam a Noruega a atingir suas metas de redução de emissão. No longo prazo os benefícios estariam associados às mudanças de tecnologia e melhora na eficiência e custo das baterias.

A partir do argumento de redução dos GEE, pode-se propor que as emissões do ciclo de vida (emissões relacionadas tanto a produção do carro em toda sua cadeia de valor quanto a dirigir o mesmo durante sua vida útil) dos carros elétricos são menores do que as dos veículos convencionais. Um estudo conduzido pela IEA (2020) corrobora com essa proposição indicando que as emissões dos VEs estão no patamar de 20 toneladas de CO<sub>2</sub> enquanto a dos veículos movidos à combustão interna chegam a 42 toneladas, uma diferença muito considerável. Quanto a melhoria das baterias, o impacto dos subsídios aos VEs é extremamente questionado pois já existem muitos incentivos na busca por produtos mais eficientes devido às baterias estarem presentes nos mais diversos dispositivos (Hawkins; Gausen; Strømman, 2012). Aliado a isso, só poder-se-ia considerar o impacto dos VEs como solucionadores da emissão de carbono mundial caso toda matriz de geração energética fosse revista, considerando que 67% da geração de energia mundial advém de combustíveis fósseis (REN21, 2019). Particularmente, a Noruega não enfrenta esse tipo de limitação, já que 96% da sua geração de energia advém de fontes renováveis, especialmente energia hidrelétrica (DadosMundiais, 2021).

Em 2014 as implicações da política de subsídio do governo norueguês de substituição dos veículos a combustão eram incertas, mas o aumento da frota elétrica uma certeza:

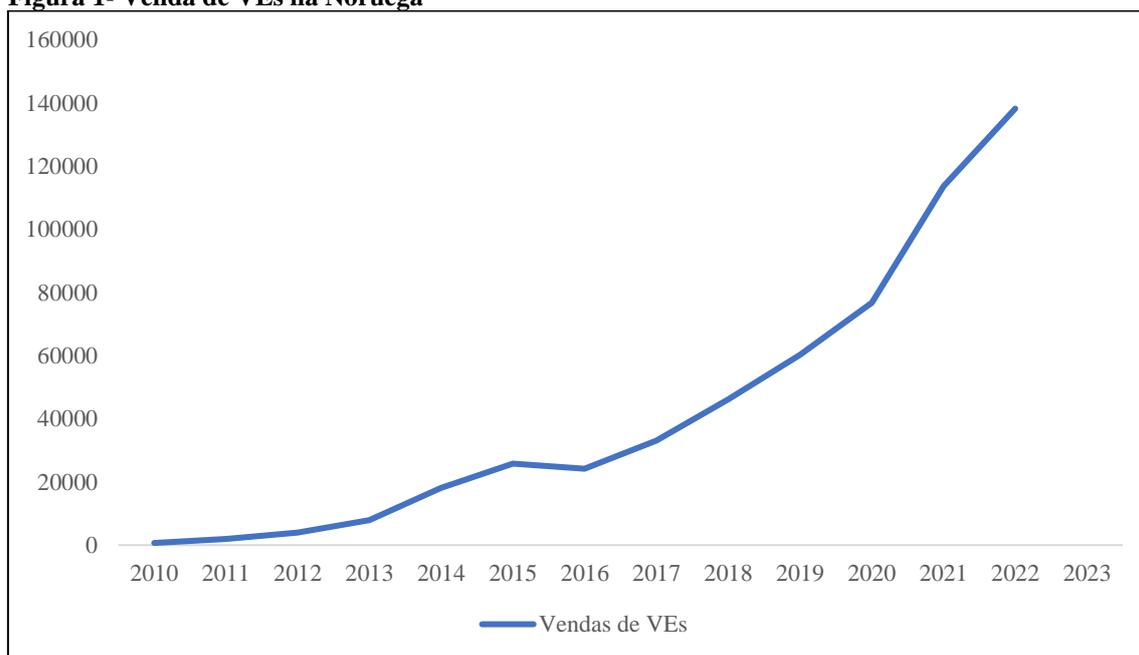
A política de subsídio aos veículos elétricos certamente será um sucesso no sentido de que haverá um número crescente de veículos elétricos nas estradas. No entanto, como já indicado, não está claro até que ponto os veículos elétricos substituirão carros a gasolina ou a diesel. A isenção das tarifas de pedágio, o acesso às faixas exclusivas de ônibus e tráfego coletivo, o carregamento gratuito de baterias e a isenção do Imposto sobre Valor Agregado (IVA) são todos incentivos com o objetivo de aumentar a condução e o uso de carros. Viagens que não teriam ocorrido na ausência desses incentivos políticos ocorrerão, ou a condução de veículos elétricos pode substituir viagens que de outra forma seriam feitas de trem, ônibus ou bicicleta (Hawkins; Gausen; Strømman, 2014, p. 165).

Avançando dois anos no tempo, Wirth (2016, p. 94) aponta que os veículos elétricos representaram 28,6% dos novos veículos registrados na Noruega alcançando um estoque total de 66.276, o que torna a Noruega o país com o maior número de VEs per capita. Entretanto, a essa época estes veículos permaneciam sendo considerados pelas famílias de renda alta como um “segundo carro” e as famílias de renda baixa preferiam manter o veículo tradicional. Isso se explicaria pela duração limitada das baterias (autonomia de cerca de 150-170 Km em média) que não seriam adequadas para viajar longas distâncias por um país grande como a Noruega, mesmo com estações de recarga pelo caminho. Assim, os veículos elétricos se restringiriam ao ambiente urbano, o que endossa a escolha das famílias de considerá-lo como um carro adicional ou nem considerar ter um. Solucionar essa limitação representava o maior desafio à política de estímulo norueguesa.

Uma alavanca adicional à questão dos veículos elétricos na Noruega é o fato dos noruegueses carregarem primariamente seus carros em casa (Schulz; Rode, 2022). Fingenbaum e Nordbakke (2019) averiguaram que o patamar das recargas em casa estaria em pelo menos 80%, o que pode ser explicado pela alta disponibilidade de estacionamento por todo país em relação a baixa densidade populacional. Mesmo a recarga em casa sendo, em geral, mais barata do que a pública, ainda assim, o número de estações de recarga públicas saiu de 0,6 por mil habitantes em 2009 para 2,8 em 2019. Conforme apontado por (Fingenbaum e Kolbenstvedt, 2016, p. 5) “cerca de 70% dos usuários planejam usar carregadores rápidos antes de viajar. Além disso, ficar sem bateria durante uma viagem é resolvido usando carregadores rápidos ainda mais no inverno. ou em viagens diárias”. Uma das lacunas da política norueguesa era justamente não conseguir fazer as famílias, com condições, terem um veículo elétrico como primeiro carro para fazer longas viagens. Nessa perspectiva, o investimento constante em carregadores rápidos por toda extensão do país nas principais estradas serviu como um

estímulo para aumentar a difusão e a penetração dos VEs na Noruega, agora não mais como um automóvel para pequenos trajetos urbanos, mas também para viajar longas distâncias, tornando-se, assim, o automóvel principal de inúmeras famílias. Figenbaum (2022) afirmou que o custo total de propriedade de um carro elétrico foi o ponto principal para sua difusão. Assim, nota-se que a política de incentivo norueguesa aliada ao barateamento das baterias (fatores que diminuem o custo do veículo ao longo de sua vida útil) foram essenciais para o estabelecimento de um mercado sólido e crescente para os automóveis eletrificados. Após 2020, veículos elétricos movidos a bateria com autonomia superior a 300 quilômetros se popularizaram pela Noruega, desincentivando ainda mais a compra de automóveis elétricos de segunda mão como segundo carro.

Pelos motivos expostos, pode-se concluir que a Noruega agiu proativamente para popularizar os veículos elétricos em seu país com benefícios fiscais generosos, além de oferecer vantagens aos proprietários dos veículos, como estacionamento e recarga grátis, além de descontos em impostos. Como resultado, a Noruega de fato conseguiu aumentar o número de VEs e torná-los a primeira opção de transporte pessoal dos Noruegueses. Essa política foi muito custosa financeiramente, o que foi compensado pelas exportações de petróleo do país, mas seguiu a direção mais verde que a Noruega deseja para seu setor de transportes e para o país como um todo. A Figura 1 mostra a evolução nas vendas dos VEs, materializando os efeitos das políticas de eletrificação feitas pelo governo norueguês:

**Figura 1- Venda de VEs na Noruega**

**Fonte:** Elaboração própria com base em dados do *Statistics Norway* (2023)

### 2.3 O MODELO DE DEMANDA POR GASOLINA

É importante salientar que globalmente, o modelo de demanda de gasolina mais simples (estático) foi definido por Dahl e Sterner (1991) sendo função de seu preço real e da renda real do consumidor. Na mesma pesquisa, ainda, apresentaram outros tipos de modelos como: um modelo que inclui como variável relevante, também, o estoque de veículos do combustível utilizado; outro que assume as características do veículo, como consumo, sendo variáveis fundamentais pois capturariam os ajustes de longo prazo na demanda por combustível. Adicionalmente, modelos do tipo dinâmico, que tentam capturar as adaptações dos consumidores a variações na sua renda e no preço da gasolina ao longo do tempo, são considerados no estudo.

O modelo geralmente usado para representar este comportamento é o modelo de ajustamento parcial, também chamado de *lagged endogenous model*, que estima a quantidade demandada como função do preço real da gasolina, da renda real e da quantidade de gasolina demandada no período anterior (Nappo, 2007, p. 32).

Os modelos que relaxam a hipótese anterior de que o preço e a renda têm estruturas de defasagens idênticas são os chamados modelos de defasagens distribuídas. Há, ainda, outros trabalhos como o de Bentzen (1994) que realizou uma análise empírica da demanda por gasolina na Dinamarca baseando-se na relação entre a gasolina consumida nos

veículos de passageiros, o preço real da gasolina e o estoque de veículos. Em suma, os estudos citados e inúmeros outros tentaram modelar a relação entre a demanda por gasolina e suas variáveis explicativas fundamentais. A equação geral mais simples em que se baseiam os modelos de demanda por gasolina é a seguinte:

$$C_{gas_t} = f(P_{gas_t}, Y_t) \quad (1)$$

Onde:  $C_{gas_t}$  é a demanda por gasolina,  $P_{gas_t}$  é o preço real da gasolina e  $Y_t$  é a renda real do consumidor

Os modelos mais abrangentes citados anteriormente tem uma forma similar, incluindo as variáveis explanatórias que consideram importantes para a análise. Dentre estas, uma de muito interessa para esta monografia é a que considera variáveis defasadas (pode ocorrer a inclusão de qualquer variável defasada considerada relevante), como exemplo há o modelo dinâmico proposto por Dahl e Sterner (1991) chamado de *lagged endogenous model* e considera como variável explicativa uma variável defasada do consumo de gasolina, tendo a seguinte forma:

$$C_{gas_t} = f(P_{gas_t}, Y_t, C_{gas_{t-1}}) \quad (2)$$

Onde:  $C_{gas_{t-1}}$  é o consumo de gasolina do período anterior

Vale destacar que os modelos de demanda por gasolina também têm uma influência regional. Para além das duas variáveis independentes básicas – a renda do consumidor e o preço do combustível – há aquelas que só fazem sentido serem incluídas para determinadas localidades. Um exemplo claro disto são os modelos de demanda por gasolina no Brasil que, em geral, incluem o álcool como uma variável independente. Alves e Bueno (2003), por exemplo, analisaram o comportamento de curto e de longo prazo da demanda por gasolina no Brasil usando técnicas de cointegração, além de incluir o preço real do álcool como uma variável adicional, o que permitiu que se mensurasse a elasticidade preço cruzada da demanda entre o álcool e a gasolina. Os resultados da regressão das variáveis cointegradas indicaram que os coeficientes dos preços do álcool e da gasolina foram significativamente diferentes de 0, a despeito do baixo número de observações da amostra. Os sinais das elasticidades ficaram alinhados à teoria econômica. Adicionalmente, como o álcool e a gasolina são bens substitutos (nesse caso dois bens

que exercem a mesma função de abastecer automóveis e conseqüentemente competem pelo mesmo mercado) um sinal positivo para elasticidade cruzado era esperado. De fato, o sinal foi positivo, entretanto seu valor absoluto foi muito baixo o que pode ser atribuído ao custo de mudar um motor a gasolina para um a álcool. Os resultados do modelo de correção de erros também contaram com elasticidades com o sinal correto e como esperado a elasticidade de curto prazo foi menor que a de longo prazo. Em adição, a elasticidade renda de curto e longo prazo foram praticamente idênticas e com um valor absoluto baixo. Os resultados encontrados pelos autores, então, levam a conclusão de que:

O valor estimado para a elasticidade-preço cruzada do álcool e gasolina mostra que os consumidores não são muito sensíveis a uma modificação no preço do combustível, mesmo no longo prazo. Eles também mostram que a demanda por gasolina, mantendo outros fatores constantes, é inelástica em relação às variações de preços. Acompanha as expectativas em um país onde o transporte é totalmente dependente petróleo para operar. Aumentos de preço da gasolina terão que ser muito drásticos para mover consumidores para um trecho mais elástico da curva de demanda, assumindo sempre outras variáveis constantes. Uma observação importante está relacionada à substituição de um combustível alternativo por Gasolina. Como a elasticidade de longo prazo da gasolina é baixa, os formuladores de políticas devem iniciar essa substituição muito antes do esgotamento das reservas de petróleo. Uma política em a direção oposta significa um aumento sensível dos preços no futuro (Rodrigues; Alves, 2003, p.8).

Posteriormente, Nappo (2007) fez um trabalho similar, mas que levava em consideração o advento do veículo *flex-fuel*, o que permitiu que a limitação atribuída ao alto custo de mudança de motor fosse superada, uma vez que os veículos *flex-fuel* suportam receber tanto gasolina quanto álcool como combustíveis. Além da especificação tradicional usando a renda, o preço e o álcool como variáveis explicativas, o autor também utilizou outra especificação particularmente interessante denotada pela inclusão de uma variável binária de inclinação associada ao preço da gasolina, objetivando capturar os efeitos da entrada dos veículos *flex-fuel* sobre a curva de demanda de gasolina. A pergunta que se tentou responder era qual o impacto da introdução dos veículos *flex-fuel* na demanda por gasolina, ou seja como a introdução de um novo produto que muda o *status quo* do mercado influência nas variações da curva de demanda de um bem que possuía uma demanda praticamente inelástica. Dito isso, os resultados à que o autor chegou demonstraram que o álcool hidratado, mesmo sendo reconhecido como importante no mercado brasileiro (tendo sua adoção incentivada por meio de programas como o Proálcool), não é uma variável relevante para explicar a demanda por gasolina no Brasil para o período estudado. Adicionalmente, os resultados do modelo que considera a

inclusão da variável binária em substituição ao preço do álcool indicam que esta apresentou-se estatisticamente significativa e com o sinal esperado pela literatura econômica, tendo um coeficiente de aproximadamente -0,137. O que significa que a partir de março de 2003 (quando se inicia a venda de carros *flex-fuel* no Brasil) houve uma significativa mudança na elasticidade-preço da demanda por gasolina, tornando-a mais elástica (saiu de -0,197 para -0,334). O resultado indicou que o mercado brasileiro de combustíveis de ciclo Otto poderia estar passando por mudanças estruturais, para as quais a entrada dos veículos *flex-fuel* é a causa mais provável. “Neste sentido, alguns especialistas acreditam que o aumento da participação dos veículos *flex-fuel* na frota automotiva nacional vai limitar a capacidade de reajuste dos preços da gasolina no país”. (Nappo, 2007, p. 59).

Há poucos trabalhos que exploram modelos de demanda por gasolina na Noruega, apesar da importância desse combustível para a economia do país. Em seu projeto que aborda as elasticidades preço da demanda por veículos a gasolina, diesel, híbridos e elétricos na Noruega, Fridstrom e Ostli (2021) argumentam que o *market share* é uma variável fundamental e única porque as elasticidades estão diretamente ligadas a ele. Assim modelos do tipo não são replicáveis apenas substituindo, por exemplo, o preço do combustível e a renda da população pelos respectivos valores atribuídos a cada país. Pode-se dizer, então, que a demanda por gasolina também estaria atrelada ao *market share* do tipo de veículo comercializado, ideia corroborada pelos dados que indicam alta participação do setor de transportes no consumo de gasolina. Considerando o objetivo desta monografia de mensurar o impacto de um tipo de veículo (elétrico) na demanda por gasolina, a variável do *market share* destes veículos frente ao total de novos veículos comprados na Noruega se apresenta como necessária ao modelo.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 FONTES DE DADOS**

Os dados utilizados nas estimativas compreendem valores mensais relativos ao período de janeiro de 2016 a março de 2023. As séries de dados foram obtidas junto ao banco de dados oficial da Noruega, *Statistics Norway*. Os valores sobre o consumo e preço da gasolina além da renda não sofreram alterações além da transformação

logarítmica. Já a série temporal do *market share* teve seus valores transformados em número índice de base 100 para facilitar a visualização dos dados.

### 3.2 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS

Os autores Gujarati e Porter (2011, p. 725) ressaltam que “o trabalho empírico baseado nos dados de séries temporais supõe que a série temporal subjacente seja estacionária”. Logo, a primeira coisa a ser feita com os dados coletados para esse estudo é averiguar a sua estacionariedade. Antes de explicar como esta averiguação será realizada, deve-se entender mais sobre os conceitos de processo estocástico e estacionariedade. Inicialmente, define-se um processo estocástico como sendo uma coleção de variáveis aleatórias ordenadas no tempo. Para que este seja estacionário é necessário que sua média, variância e autocorrelação sejam constantes ao longo do tempo. Este processo, então, é conhecido como processo estocástico fortemente estacionário. O processo fracamente estacionário também tem média e variância constantes, mas a autocorrelação pode variar com o tempo. A estacionariedade fraca é suficiente para se analisar os dados na maioria das situações práticas.

A dúvida do porquê não se deve trabalhar com séries não estacionárias pode surgir. Esclarecendo isto, ressalta-se que um dos problemas de se utilizar séries não estacionárias e que é comum na estimação por MQO é o da regressão espúria, em que valores tipicamente significantes dos parâmetros estimados podem não apresentar relação econômica entre as variáveis envolvidas. O problema disto é, justamente, que duas variáveis sem relação causal entre si parecem ter por conta de outra variável que está omitida e essa aparente relação estatística das variáveis pode levar a conclusões equivocadas. A justificativa para esse fenômeno ser comum em séries não estacionárias é a de que estas produziriam resíduos não estacionários e violariam um dos princípios básicos da estimação por MQO: resíduos não podem ser correlacionados com as variáveis independentes. Isso ocorre porque os resíduos são o erro da regressão e devem ser aleatórios. Se os resíduos estiverem correlacionados com as variáveis independentes, significa que o modelo de regressão não está capturando toda a variação da variável dependente, o que pode levar a erros de previsão e tomada de decisões ruins. As regressões espúrias também podem distorcer o significado de medidas estatísticas, como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O  $R^2$  é uma medida de quão bem as variáveis

independentes explicam a variável dependente. No entanto, se houver uma regressão espúria, o  $R^2$  pode ser alto mesmo que não haja uma relação causal entre as variáveis. Isso ocorre porque o  $R^2$  estará apenas medindo a tendência geral dos valores observados. A tendência em si, por sua vez, é um indício da não estacionariedade das séries de tempo. Esta pode ser eliminada pela inclusão da variável tempo caso a tendência seja determinística ou pela diferenciação caso a tendência seja estocástica. A maioria das séries econômicas, como as que serão utilizadas nesse trabalho, são integradas de ordem 1, ou seja, precisam ser diferenciadas uma vez antes se tornarem estacionárias.

Considerando que para realizar a regressão via MQO sem correr o risco de ser uma regressão espúria as variáveis devem ser estacionárias, é necessário averiguar esta estacionariedade. No presente trabalho, isso foi feito visualizando o formato gráfico das séries temporais e aplicando-se testes de raiz unitária.

### **3.2.1 Teste de raiz unitária**

O teste de raiz unitária utilizado para averiguar a condição de estacionariedade foi o *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). O teste ADF testa a hipótese de o processo ser estacionário em nível frente a hipótese de que é integrado de ordem um, ou seja, a partir da presença de raiz unitária. A hipótese nula é, então, que há a presença de raiz unitária e a hipótese alternativa é a de que a série é estacionária. A equação do teste Dickey-Fuller aumentado considera três possíveis especificações: sem intercepto; com intercepto e com intercepto e tendência. Ao se realizar o teste, se “o valor absoluto computado da estatística *tau* ( $\tau$ ) exceder o valor crítico nas estatísticas *tau* Dickey-Fuller e MacKinnon, rejeitaremos a hipótese de que  $\delta = 0$ , e, nesse caso, a série temporal será não estacionária”. (Gujarati; Porter; 2011, p. 744). A recíproca também seria verdadeira, ou seja, se o valor da estatística teste for inferior ao valor crítico, a série será estacionária.

### **3.2.2 Teste de autocorrelação**

A autocorrelação dos resíduos é um problema, conforme aponta Wooldridge (2017), porque os estimadores de MQO permanecem lineares, não viesados, consistentes e assintoticamente normais, mas deixam de serem eficientes. A autocorrelação de primeira ordem, ainda, pode ser definida como uma observação qualquer e a observação imediatamente anterior a ela. O teste de autocorrelação a ser aplicado é o de Ljung-Box

que é usado para testar a falha do ajuste de um modelo de série temporal. Aplicando-o aos resíduos do modelo de séries temporais, as autocorrelações desses são examinadas. Caso a hipótese nula de que o modelo não tem problema de autocorrelação não seja rejeitada (p-valor estimado maior do que 0,05), o ajuste dos dados ao modelo não seria explicado pela correlação serial dos resíduos e os estimadores seriam eficientes.

### 3.2.3 Teste de heterocedasticidade

A heterocedasticidade também seria problemática pois violaria um dos princípios básicos do modelo de MQO, o da homoscedasticidade. Esta que foi definida por Wooldridge (2017) como a hipótese de que a variância do erro não observável, condicional nas variáveis explicativas, é constante. Ou seja, a heterocedasticidade seria o fenômeno inverso (variância do termo de erro não é constante). Quando ela está presente os estimadores usuais por mínimos quadrados atribuem maior peso aos resíduos como maior variância e os estimadores não têm mais variância mínima. O teste empregado para avaliar a heterocedasticidade foi o de Breusch-Pagan. Este é um teste que pode ser usado para verificar a presença de formas heterocedasticidade lineares em um modelo de regressão. Se o teste não rejeitar a hipótese nula, isso significa que não há evidências de heterocedasticidade no modelo.

## 3.3 REGRESSÃO LINEAR DINÂMICA

Destaca-se que “os modelos de regressão dinâmica combinam a dinâmica das séries temporais com o efeito das variáveis explicativas” (Lopes; Pimenta; 2014, p. 17). Esta regressão não recebe o nome de “dinâmica” pela variação no valor dos parâmetros ao longo do tempo, mas sim pela estrutura de defasagens da série temporal e das variáveis causais do modelo. Adicionalmente uma RLD usa, além da defasagem da variável dependente como está na eq. (2), outras defasagens de outras variáveis. Hanck, Arnold, Gerber e Schmelzer (2023) demonstram que o modelo de regressão linear dinâmica assume que uma série temporal  $Y_t$  pode ser representada por uma função linear contendo seus valores defasados e outras defasagens de outra série temporal  $X_t$ :

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \delta_1 X_{t-1} + \delta_2 X_{t-2} + \dots + \delta_q X_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3)$$

A equação estimada para o consumo de gasolina na Noruega tem a forma da eq. (3), com as variáveis em diferença para se capturar a relação de curto prazo e mensurar o impacto imediato da política incentivadora de VEs norueguesa. A escolha por uma RLD e não um modelo multivariado (VAR e VECM) se justifica, pois o interesse era somente estimar uma equação e analisar os coeficientes resultantes.

### 3.4 MODELO ECONOMÉTRICO

A demanda de um bem pode ser definida como a quantidade deste que algum consumidor compraria a determinado preço. Esta definição indica que o nível de demanda no mínimo está relacionado ao preço do bem e a renda de quem pretende consumi-lo. Tendo em vista que estes são os fatores básico que condicionam a demanda de qualquer bem, prossegue-se para os fatores não tão básicos que influenciam a demanda de um produto. Estes estão correlacionados com o próprio bem, por exemplo: a demanda de um pão francês pode ser influenciada pelo preço de um pão árabe já que os dois competem pelo mesmo público, entretanto o mesmo pão árabe não influencia na compra de um carro. De acordo com a teoria econômica isso significaria dizer que o pão árabe é um bem substituto do pão francês, mas não de um carro. O carro, por sua vez, tem seus próprios fatores que afetam suas vendas, como o preço da gasolina por exemplo. Há inúmeros exemplos como esse para uma infinidade de bens. Dito isso, a conclusão que se chega é a de que modelos mais simples de demanda consideram os fatores básicos (renda e preço) e os mais sofisticados consideram, além destes, outros não tão triviais. No escopo desta monografia, um modelo mais sofisticado será utilizado. Considerando o propósito deste estudo de mensurar o impacto do aumento da frota de VEs na Noruega em sua demanda por gasolina, a variável *market share* citada por Fridstrom e Ostli (2021) será incluída no modelo. Além dela, variáveis defasadas em um período de todas as variáveis do modelo também serão inclusas para capturar o efeito do passado nas decisões de consumo presentes.

Assim, a função demanda por gasolina na Noruega terá uma forma similar à eq. (2) proposta por Dahl e Sterner (1991) e incluirá as defasagens das variáveis independentes propostas na eq. (3), sendo estimada a partir das seguintes especificações:

$$\begin{aligned}
st\_lconsumo\_gasolina\_diff_t &= \beta_0 + \beta_1 st\_lconsumo\_gasolina\_diff_{t-1} + \\
&\beta_2 st\_lvendas\_ev\_diff_t + \beta_3 st\_lpreco\_gasolina\_diff_t + \beta_4 st\_renda\_mensal\_diff_t + \\
&\beta_5 st\_lvendas\_ev\_diff_{t-1} + \beta_6 st\_lpreco\_gasolina\_diff_{t-1} + \beta_7 st\_lrenda\_mensal\_diff_{t-1} + \\
&\beta_8 season + \varepsilon_t
\end{aligned} \tag{4}$$

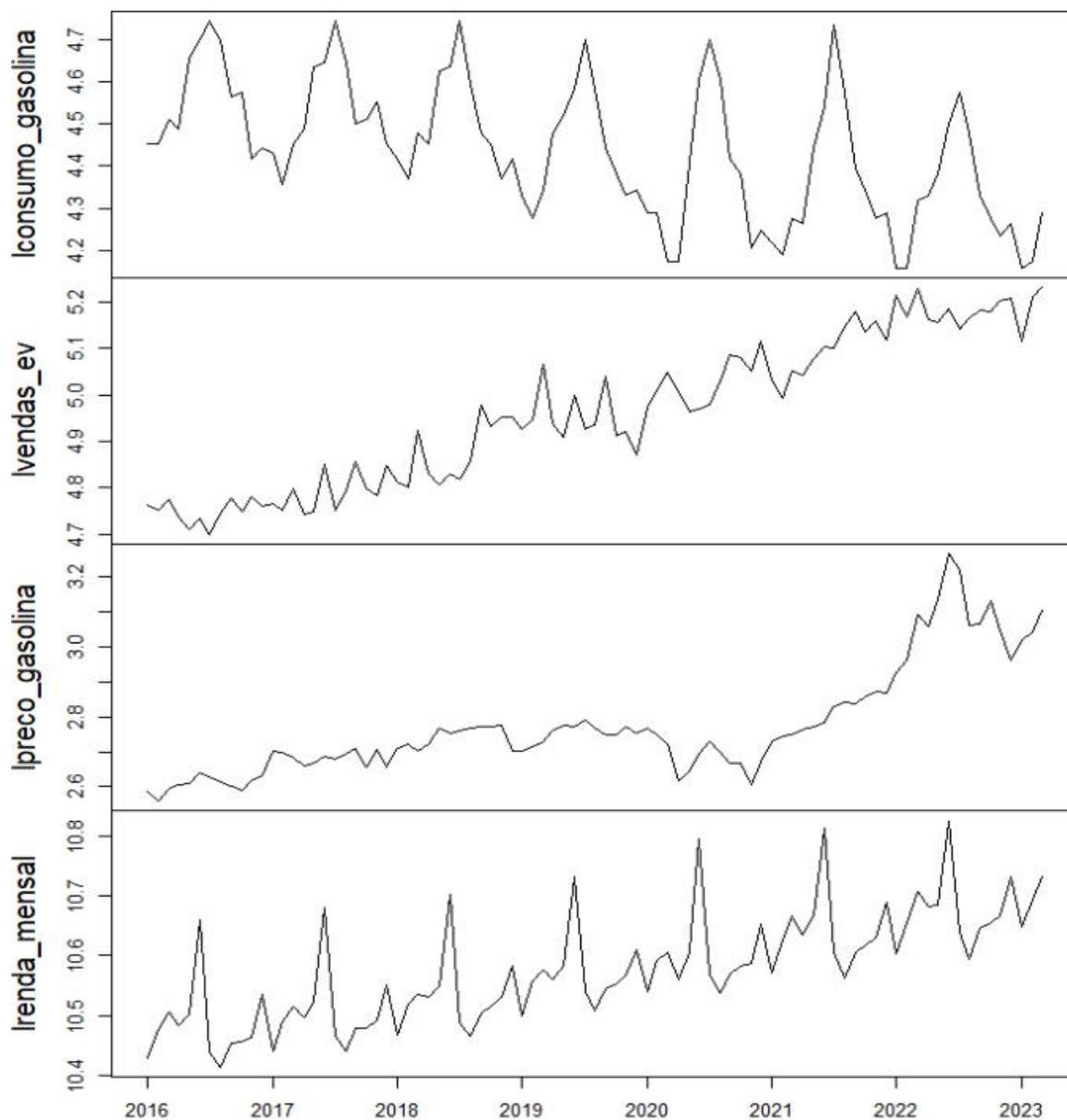
Onde:  $st\_lconsumo\_gasolina\_diff$  é a série temporal diferenciada do consumo mensal de gasolina em milhões de litros,  $st\_lvendas\_ev\_diff$  é a série temporal diferenciada do *market share* dos veículos elétricos em relação ao total de veículos comprados por mês,  $st\_lrenda\_mensal\_diff$  é a série temporal diferenciada da renda mensal dos noruegueses em NOK,  $st\_lpreco\_gasolina\_diff$  é a série temporal diferenciada do preço mensal por litro de gasolina,  $season$  é uma *dummy* sazonal e  $\varepsilon$  é o resíduo.

Todas variáveis acima foram transformadas para sua forma logarítmica, assim ignora-se as unidades de medida das variáveis (que são distintas) já que os coeficientes de inclinação que acompanham as variáveis não variam pelas unidades de medida.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, apresenta-se na Figura 2 os gráficos das séries históricas das variáveis do modelo. A observação gráfica permite dizer que todas as séries são não-estacionárias pois apresentam uma tendência nítida. O fator sazonal também está presente nas séries, sendo mais forte e identificável nas séries da renda mensal e do consumo de gasolina, mas também está presente no preço da gasolina e nas vendas dos veículos elétricos. Após se concluir que as a evolução histórica das séries indica que sejam não estacionárias, o teste de raiz unitária Dickey-Fuller aumentado foi realizado (resultados na Tabela 1) para ratificar essa conclusão.

**Figura 2 - Séries Históricas das variáveis do modelo**



Fonte: Elaboração própria com base em resultados da pesquisa (2023)

**Tabela 1 - Teste de raiz unitária em nível**

Variável	Valor Crítico a 5% de significância	Estatística teste
Iconsumo_gasolina	-1.95	-0.2386
lvendas_ev	-1.95	1.3661
lpreco_gasolina	-1.95	1.2405
lrenda_mensal	-1.95	0.4512

Fonte: Elaboração própria com base em resultados da pesquisa (2023)

\*A especificação utilizada foi a do modelo sem intercepto

\*\* Defasagens selecionadas pelo Critério de Informação de Akaike

A partir dos resultados do teste, pode-se concluir que a um nível de significância estatística de 5%, a hipótese nula de existência de uma raiz unitária não é rejeitada para nenhuma das séries analisadas. Isto indica que as variáveis não são estacionárias em nível. Portanto, deve-se testar as variáveis em diferença para se identificar em que ordem se tornam estacionárias.

**Tabela 2 - Teste de raiz unitária em diferença**

Variável	Valor Crítico a 5% de significância	Estatística teste
lconsumo_gasolina_diff	-1.95	-5.4169
lvendas_ev_diff	-1.95	-10.7992
lpreco_gasolina_diff	-1.95	-7.6057
lrenda_mensal_diff	-1.95	-12.1625

**Fonte:** Elaboração própria com base em resultados da pesquisa (2023)

\*A especificação utilizada foi a do modelo sem intercepto

\*\* Defasagens selecionadas pelo Critério de Informação de Akaike

Pode-se notar que no teste da Tabela 2, toda estatística teste de cada variável rejeitou a hipótese nula de não estacionariedade a um nível de significância de 5%. Assim, diz-se que são séries integradas de ordem um e, portanto, precisam ser diferenciadas somente uma vez para se tornarem estacionárias. Após constatar que as séries são I (1), prosseguiu-se com a RLD estimada por MQO. A equação a ser estimada é a eq. (4), que contém as variáveis em diferença e variáveis defasadas (tanto explanatórias quanto dependente), além de uma *dummy* para remover o efeito sazonal presente nas séries. Os resultados da estimação são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Regressão Linear Dinâmica por MQO**

<i>Variável dependente:</i>	
st_lconsumo_gasolina_diff	
st_lconsumo_gasolina_def_diff	-0.340*** (0.121)
st_lvendas_ev_def_diff	0.039 (0.154)
st_lvendas_ev_diff	-0.056 (0.154)
st_lpreco_gasolina_def_diff	0.010 (0.147)
st_lpreco_gasolina_diff	0.232

	(0.146)
st_lrenda_mensal_def_diff	1.085*
	(0.639)
st_lrenda_mensal_diff	2.107***
	(0.615)
season(st_lpreco_gasolina)Feb	-0.109
	(0.110)
season(st_lpreco_gasolina)Mar	-0.096
	(0.077)
season(st_lpreco_gasolina)Apr	0.017
	(0.048)
season(st_lpreco_gasolina)May	0.081
	(0.078)
season(st_lpreco_gasolina)Jun	-0.273*
	(0.145)
season(st_lpreco_gasolina)Jul	0.356***
	(0.086)
season(st_lpreco_gasolina)Aug	0.192
	(0.174)
season(st_lpreco_gasolina)Sep	-0.273***
	(0.089)
season(st_lpreco_gasolina)Oct	-0.185***
	(0.068)
season(st_lpreco_gasolina)Nov	-0.156**
	(0.068)
season(st_lpreco_gasolina)Dec	-0.188**
	(0.093)
Constante	0.039
	(0.059)
<hr/>	
Observações	85
R <sup>2</sup>	0.805
R <sup>2</sup> Ajustado	0.752
Erro padrão residual	0.050 (df = 66)
F Statistic	15.169*** (df = 18; 66)
<hr/>	

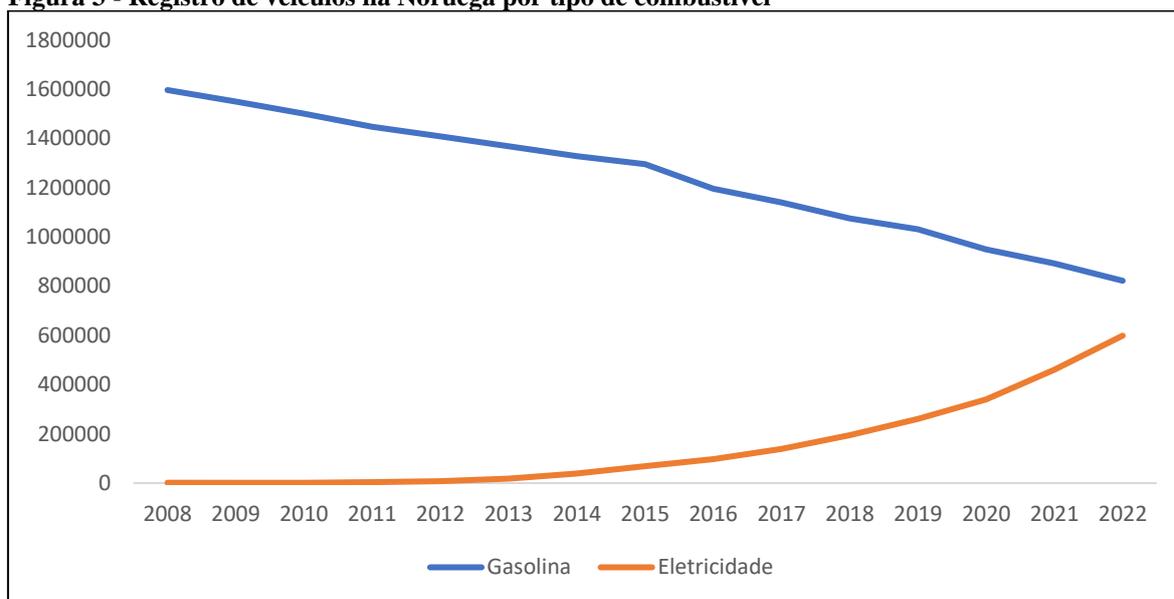
*Nota:* \* p<0.1; \*\* p<0.05; \*\*\* p<0.01

**Fonte:** Elaboração própria com base em resultados da pesquisa (2023)

A elasticidade preço da demanda resultante desta regressão apresentou-se com o sinal trocado (negativo), entretanto a variável não é estatisticamente significativa e o mesmo pode ser dito para sua forma defasada. No curto prazo, então, mudanças no preço da gasolina não explicam a mudanças na demanda. Já a elasticidade renda da demanda, por sua vez com sinal correto, de 2.1 é estatisticamente significativa, bem como a elasticidade renda do período anterior que foi de 1.08. A luz da teoria econômica esse era o resultado esperado já que a gasolina é um bem normal, ou seja, um aumento (decréscimo) na renda do consumidor deveria ser refletido em um consumo maior (menor) de gasolina e é exatamente isto que o resultado da regressão indica.

O coeficiente do consumo de gasolina (-0,34) no período anterior foi significativa, logo pode-se dizer que o consumo de gasolina do período imediatamente anterior impacta o consumo presente. A variável de maior interesse, o *market share* dos carros elétricos apresentou um coeficiente de -0.056 que tem o sinal correto, pois a dinâmica teórica do *market share* dos VEs com o consumo de gasolina (veicular) é a de que com o ingresso de mais veículos elétricos do que a combustão na frota, a necessidade de se consumir gasolina para abastecer os veículos desacelera. Entretanto, como o coeficiente não foi estatisticamente significativo não se pode dizer que essa variável explica a variação no consumo de gasolina na Noruega.

Destaca-se que o resultado da significância do *market share* ir na contramão de sua reconhecida importância para o mercado de automóveis noruegueses pode ser explicado pela janela de tempo analisada ser curta (7 anos) e pela possível maior relevância no longo prazo. Além disso, o estoque de veículos a combustão ainda alto poderia enfraquecer o efeito dos VEs na demanda por gasolina, já que apesar do *market share* atual ser extremamente elevado para esta modalidade veicular, isto não foi verdade pela maior parte da história norueguesa. O número de veículos registrados por tipo de combustível pode ser visto na Figura 3. Apesar da clara tendência de os veículos elétricos superarem os veículos a combustão em número de registros em 2023, o estoque acumulado do segundo permaneceria superior.

**Figura 3 - Registro de veículos na Noruega por tipo de combustível**

**Fonte:** Elaboração própria com base em dados do *Statistics Norway* (2023)

Realizaram-se os testes de Ljung-Box e Breusch-Pagan para avaliar se o modelo tem problemas de autocorrelação e heterocedasticidade respectivamente. Os resultados estão nas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

**Tabela 4 - Teste Ljung-Box**

X-squared = 0.11245

df = 1

p-value = 0.7374

**Fonte:** Elaboração própria com base em resultados da pesquisa (2023)

**Tabela 5 - Teste Breusch-Pagan**

BP = 18.504

df = 18

p-value = 0.4229

**Fonte:** Elaboração própria com base em resultados da pesquisa (2023)

O resultado do teste Ljung-Box teve um p-valor de 0.73 que é maior que 0.05, ou seja, não se pode rejeitar a hipótese nula de que o modelo não tem problema de autocorrelação a um nível de significância de 5%. Assim, pode-se concluir que não há correlação serial dos resíduos da estimação da eq. (4). Adicionalmente, o resultado do teste Breusch-Pagan teve um p-valor de 0.42 que é maior que 0.05, ou seja, não se pode rejeitar a hipótese nula de que o modelo não é heterocedástico a um nível de significância

de 5%, assim tem-se um modelo homocedástico que está alinhado ao que se espera de um modelo estimado por MQO com estimadores eficientes. Como este modelo não tem problema de autocorrelação nem de heterocedasticidade conclui-se que o modelo está bem especificado.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo caracterizou-se por uma investigação empírica sobre os efeitos da expansão da frota de veículos elétricos na demanda de gasolina na Noruega. A opção pela Noruega justificou-se por ser um dos principais países exportadores de petróleo do mundo e concomitantemente incentivar a substituição dos veículos tradicionais pelos elétricos. O número de VEs no país de fato aumentaram com os incentivos da política norueguesa que conferiu inúmeros benefícios tributários e sociais aos donos de VEs, conforme corroboram dados do CNITR e a Figura 1.

O objetivo da monografia consistia em mensurar a relevância do impacto do aumento da frota de veículos elétricos na demanda de gasolina na Noruega e optou-se por fazer uma RLD para fazer essa mensuração. Os resultados apresentados mostraram que o *market share* dos VEs, apesar de sua reconhecida importância no mercado de automóveis norueguês, não é uma variável relevante para explicar a demanda por gasolina na Noruega para o período estudado (janeiro de 2016 a março de 2023). Essa variável (que consta na RLD estimada) mostrou-se não significativa estatisticamente. A variável que se mostrou mais relevante foi a renda dos consumidores, resultado que tem respaldo na teoria econômica (considerando a gasolina como um bem normal).

No curto prazo (a modelagem foi realizada para o curto prazo), então, concluiu-se que os veículos elétricos não tiveram impacto significativo na demanda por gasolina na Noruega. Isso pode ter acontecido porque, mesmo com o avanço rápido dos carros elétricos a janela de tempo da amostra é pequena (7 anos) e talvez esta seja uma variável com maior relevância para explicar a demanda por gasolina no longo prazo, além do estoque de veículos a combustão ainda ser muito elevado frente ao de VEs conforme corroboram os dados da Figura 3. O estudo conduzido por Nappo (2007) para o caso brasileiro também obteve a conclusão de que uma variável reconhecidamente relevante (álcool hidratado) não foi estatisticamente significativa. O estudo de Kah (2018) postula efeitos mais expressivos dos VEs no longo prazo através do enfraquecimento contínuo da

demanda por gasolina. Assim, como um próximo passo, pode ser realizada a modelagem para o longo prazo que verifique esse postulado.

Quanto a estudos futuros, a inclusão do estoque de veículos, como feita por Dahl e Sterner (1991) e Bentzen (1994) apresenta-se como uma futura boa adição para a melhora do modelo, apesar deste já estar bem especificado. Outra possibilidade seria adicionar o custo de energia como variável independente, já que é um dos determinantes diretos para a compra do veículo elétrico (bem como o preço da gasolina o é para os veículos a combustão), assim um possível efeito substituição entre a eletricidade e a gasolina poderia ser avaliado.

É imprescindível destacar que a principal contribuição desta monografia consiste no esclarecimento da relevância dos veículos elétricos para explicar a variação na demanda por gasolina na Noruega no curto prazo. Além disso, sua implicação geral é a de que a variável reconhecidamente relevante – *market share* dos VEs - para o mercado automotivo norueguês não foi significativa no modelo estimado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Denisard CO; DA SILVEIRA BUENO, Rodrigo De Losso. Short-run, long-run and cross elasticities of gasoline demand in Brazil. **Energy economics**, v. 25, n. 2, p. 191-199, 2003.

BANSAL, Ramesh C. Electric vehicles. In: **Handbook of automotive power electronics and motor drives**. CRC Press, 2017. p. 55-96.

BEGGS, Steven; CARDELL, Scott; HAUSMAN, Jerry. Assessing the potential demand for electric cars. **Journal of econometrics**, v. 17, n. 1, p. 1-19, 1981.

BENTZEN, Jan. An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques. **Energy economics**, v. 16, n. 2, p. 139-143, 1994.

ESTATÍSTICAS ofv. **OFV**, 2023. Disponível em: <<https://ofv.no/produkter/#products-list>>. Acesso em: 07 de mai. de 2023

DE WOLF, Daniel; DIOP, Ngagne; KILANI, Moez. **Environmental impacts of enlarging electric vehicles market share**. Core, 2022.

ORÇAMENTO de energia na Noruega. DadosMundiais, 2021. Disponível em: <<https://www.dadosmundiais.com/europa/noruega/orcamento-energia.php>>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

DAHL, Carol; STERNER, Thomas. Analysing gasoline demand elasticities: a survey. **Energy economics**, v. 13, n. 3, p. 203-210, 1991.

DALE, Spencer; SMITH, Thomas D. Back to the future: electric vehicles and oil demand. **Bloomberg New Energy Finance: The Future of Energy**, p. 1-6, 2016.

FIGENBAUM, Erik. Retrospective Total cost of ownership analysis of battery electric vehicles in Norway. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 105, article 103246, 2022.

FIGENBAUM, Erik; KOLBENSTVEDT, Marika. **Learning from Norwegian battery electric and plug-in hybrid vehicle users**. 2016.

FIGENBAUM, Erik; NORDBAKKE, Susanne. **Battery electric vehicle user experiences in norway's maturing market**. 2019.

FRIDSTRØM, Lasse; ØSTLI, Vegard. Direct and cross price elasticities of demand for gasoline, diesel, hybrid and battery electric cars: the case of Norway. **European Transport Research Review**, v. 13, n. 1, p. 1-24, 2021.

ELECTRIC vehicles are forecast to be half of global car sales by 2035. **Goldman Sachs**, 2023. Disponível em: <<https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/electric-vehicles-are-forecast-to-be-half-of-global-car-sales-by-2035.html#:~:text=EV%20sales%20will%20soar%20to,from%202%25%20during%20that%20span.>>. Acesso em: 17 de mai. de 2023

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HAWKINS, Troy R.; GAUSEN, Ola Moa; STRØMMAN, Anders Hammer. Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, p. 997-1014, 2012.

HENDRY, David F. **Dynamic econometrics**. Oxford university press, 1995.

HOLTSMARK, Bjart; SKONHOFT, Anders. The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries?. **Environmental science & policy**, v. 42, p. 160-168, 2014.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2020**. Paris: IEA, 2020. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>. Acesso em: 04 de jun. de 2023.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2021**. Paris: IEA, 2021. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>>. Acesso em: 10 de jun. de 2023.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2016**. Paris: IEA, 2021. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>>. Acesso em: 10 de jun. de 2023.

KAH, Marianne. Electric vehicles and their impact on oil demand: Why forecasts differ. **Center on Global Energy Policy, Columbia SIPA**, p. 1-15, 2018.

NAPPO, Márcio. **A demanda por gasolina no Brasil**: uma avaliação de suas elasticidades após a introdução dos carros bicompostíveis. 2007. Tese de Doutorado.

REN21 - RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21<sup>st</sup> CENTURY. **Renewables 2019 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2019. Disponível em: < [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2019\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf)>. Acesso em: 12 de jun. de 2023

SCHULZ, Felix; RODE, Johannes. Public charging infrastructure and electric vehicles in Norway. **Energy Policy**, v. 160, p. 112660, 2022.

SIOHANSI, Fereidoon; WEBB, Jeremy. Transitioning from conventional to electric vehicles: The effect of cost and environmental drivers on peak oil demand. **Economic Analysis and Policy**, v. 61, p. 7-15, 2019.

STATISTICS NORWAY. Oslo: Ministry of Finance, 2023. Disponível em: <<https://www.ssb.no/en>>. Acesso em: 18 de jun. de 2023.

STEINHILBER, Simone; WELLS, Peter; THANKAPPAN, Samarthia. Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. **Energy policy**, v. 60, p. 531-539, 2013.

WIRTH, Eszter. Los méritos e inconvenientes de la política de incentivos a la compra de vehículos eléctricos: el caso Noruega. **Papeles de relaciones ecosociales y cambio global**, n. 134, p. 93-104, 2016.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à econometria**: uma abordagem moderna. Cengage Learning, 2017.