

Estimando a demanda potencial de energia para veículos elétricos:

Um estudo de caso para o Sul do Brasil e seus possíveis desdobramentos

Autores:

Carlos Echevarria

Mariana Weiss

Talita Borges

Harold del Castillo

Oriol Biosca

Michelle Hallack

Divisão de Energia

NOTAS
TÉCNICAS Nº
IDB-TN-02533

Estimando a demanda potencial de energia para veículos elétricos:

Um estudo de caso para o Sul do Brasil e seus possíveis desdobramentos

Autores:

Carlos Echevarria

Mariana Weiss

Talita Borges

Harold del Castillo

Oriol Biosca

Michelle Hallack

Agosto 2022

Catálogo na fonte fornecida pela

Biblioteca Felipe Herrera do

Banco Interamericano de Desenvolvimento

Estimando a demanda potencial de energia para veículos elétricos: um estudo de caso para o Sul do Brasil e seus possíveis desdobramentos / Carlos Echevarria, Mariana Weiss, Talita Borges, Harold del Castillo, Oriol Biosca, Michelle Hallack.

p. cm. — (Nota técnica do BID ; 2533)

Inclui referências bibliográficas.

1. Electric vehicles-Brazil. 2. Automated vehicles-Brazil. 3. Urban transportation policy-Brazil. I. Echevarría, Carlos. II. Weiss, Mariana. III. Borges, Talita. IV. Castillo, Harold del. V. Biosca, Oriol. VI. Hallack, Michelle, 1983-. VII. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Divisão de Energia. VIII. Série.

IDB-TN-2533

Palavras chave: Veículos Elétricos, Demanda de Eletricidade, Planejamento Energético

Códigos JEL: L90, R41, R42, N76

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desenvolvimento. Esta obra está licenciada sob uma licença Creative Commons IGO 3.0 Atribuição-NãoComercial-SemDerivações (CC BY-NC-ND 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) e pode ser reproduzida com atribuição ao BID e para qualquer finalidade não comercial. Nenhum trabalho derivado é permitido.

Qualquer controvérsia relativa à utilização de obras do BID que não possa ser resolvida amigavelmente será submetida à arbitragem em conformidade com as regras da UNCITRAL. O uso do nome do BID para qualquer outra finalidade que não a atribuição, bem como a utilização do logotipo do BID serão objetos de um contrato por escrito de licença separado entre o BID e o usuário e não está autorizado como parte desta licença CC-IGO.

Note-se que o link fornecido acima inclui termos e condições adicionais da licença.

As opiniões expressas nesta publicação são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a posição do Banco Interamericano de Desenvolvimento, de sua Diretoria Executiva, ou dos países que eles representam.



BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO

**Estimando a demanda potencial de energia para veículos
elétricos: um estudo de caso para o Sul do Brasil e seus
possíveis desdobramentos**

Carlos Echevarria, Mariana Weiss, Talita Borges, Harold del Castillo, Oriol Biosca,
Michelle Hallack.

Agosto de 2022

Sumário

Lista de Figuras.....	4
Lista de Tabelas	5
Agradecimentos.....	7
Resumo.....	8
1. Introdução	9
2. Um passo a passo de como estimar a demanda potencial de energia para veículos elétricos	11
2.1. Estimativa de crescimento das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna 11	
2.2. Estimativa do potencial de inserção dos veículos elétricos.....	13
2.2.1. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de custos de mobilidade.....	14
2.2.2. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista do poder de compra familiar 15	
2.3. Estimativa da demanda elétrica veicular potencial agregada.....	16
3. Estudo de caso: aplicação da estimativa da demanda elétrica veicular por microrregiões no Sul do Brasil	17
3.1. Estimativa de crescimento das vendas combustíveis para veículos de combustão interna nos estados do Sul do Brasil.....	17
3.2. Estimativa de mercado potencial de VE nos estados do Sul do Brasil.....	22
3.2.1. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de custos de mobilidade nos estados do Sul do Brasil.....	22
3.2.2. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de poder de compra familiar nos estados do Sul do Brasil	25
3.3. Estimativa da demanda elétrica veicular potencial dos estados do Sul do Brasil.....	27
3.4. Desagregação espacial da demanda elétrica veicular	28
3.4.1. Critério custo da mobilidade.....	29
3.4.2. Critério poder de compra familiar.....	29
3.4.3. Resultados da Espacialização da Demanda	30
4. Desdobramentos do estudo de caso.....	31
4.1. Distribuição horária da demanda elétrica veicular.....	31
4.2. Impactos da demanda elétrica veicular na rede de distribuição elétrica.....	32
4.3. Investimentos necessários da rede elétrica.....	33
4.4. Possibilidade de um corredor elétrico conectando o Sul do Brasil a países vizinhos	35
5. Elementos para discussão	37
Referências	39
Anexo A – Análise da frota circulante de veículos de combustão interna	41
Anexo B – Análise de consumo de combustível para veículos de combustão interna	48
Anexo C – Análise e tratamento da intensidade de uso de veículos de combustão interna.....	52

Anexo D – Premissas adotadas na distribuição horária da demanda elétrica veicular brasileira	55
Anexo E – Cálculo do Custo Incremental Médio de Longo Prazo (CIMLP) e valores utilizados no estudo de caso	58

Lista de Figuras

Figura 1. Fluxograma da estrutura analítica desenvolvida para estimação da demanda potencial de energia para veículos elétricos por microrregiões.....	11
Figura 2. Estimativa Ponderada do Mercado Potencial de Veículos Elétricos (VE).....	13
Figura 3. Série histórica do volume de venda de combustíveis para veículos de combustão interna (em milhões de m ³ /trimestre) e PIB do Brasil (índice: 1995=100) no período de 2000 até 2020	18
Figura 4. Série histórica do preço médio de venda de combustíveis para veículos de combustão interna no varejo do Brasil (em R\$ constantes de dezembro de 2019/Litro).....	18
Figura 5. Projeção das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna no Brasil no período de 2000 até 2040 (m ³ /ano).....	20
Figura 6. Projeção do volume de vendas de gasolina equivalente para veículos de combustão interna nos estados do Sul do Brasil no período de 2000 até 2040 (m ³ /ano).....	21
Figura 7. Projeção do volume de vendas de diesel para veículos de combustão interna nos estados do Sul do Brasil no período de 2000 até 2040 (m ³ /ano)	21
Figura 8. Evolução da participação de veículos elétricos nas vendas de veículos no Sul do Brasil no período 2020 até 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção	24
Figura 9. Evolução da participação de veículos elétricos na frota de veículos no Sul do Brasil no período 2020 até 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção	24
Figura 10. Estimativa de custo anual de manter um veículo por tipo de veículo no Brasil no período 2010 até 2040, no cenário de Alta Adoção (em milhares de R\$).....	26
Figura 11. Despesa média mensal familiar destinada gastar com transporte privado rodoviário, por estrato de renda, nos estados da região Sul do Brasil no período 2017-2018 (%).....	26
Figura 12. Demanda elétrica veicular por microrregiões do do Sul do Brasil em 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção (em GWh/ano) – Figura destaca cenário de Alta adoção.	29
Figura 14. Domicílios com capacidade de adquirir e manter um veículo elétrico por microrregiões do Sul do Brasil no cenário Alta Adoção, para o ano de 2020 (esquerda) e o ano de 2040 (direita).....	30
Figura 15. Demanda elétrica veicular por microrregiões do Sul do Brasil em 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção (em GWh/ano).....	31
Figura 16. Distribuição horária de consumo elétrico veicular rodoviário e urbano, na microrregião de Curitiba e Lajeado-Estrela (em GWh/ano).....	32
Figura 17. Rede de eletropostos (pontos verdes) no Sul do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai ..	36
Figura 18. Curvas de sucateamento de veículos leves por categoria de veículos no Brasil	43
Figura 19. Curvas de sucateamento de veículos pesados por categoria de veículos no Brasil.....	44
Figura 20. Curva de carga horária urbana por tipo de ponto de carga para veículos elétricos (em %)	56
Figura 21. Projeções da participação horária para carregamento urbano de veículos elétricos nos anos inicial e no 20º ano (em %).....	56
Figura 22. Distribuição horária da demanda de energia elétrica para carregamento de veículos nas rodovias do Sul do Brasil e seus Estados (em %)	57
Figura 23. Volume simulado de viagens de veículos nas rodovias do Sul do Brasil para o ano 2030	57
Figura 24. Volume simulado de viagens de veículos nas rodovias do Sul do Brasil para o ano 2040	58

Lista de Tabelas

Tabela 1. Principais parâmetros de entrada e saída do Modelo para Estimar o crescimento das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna.....	12
Tabela 2. Principais parâmetros de entrada e saída do Modelo de Transferência Tecnologia (MTT)	15
Tabela 3. Principais parâmetros de entrada da estimativa de consumo de combustíveis por VCI utilizados no estudo de caso do Sul do Brasil.....	17
Tabela 4. Principais resultados do ajuste da Estimativa de Consumo de Combustíveis para VCI - estudo de caso do Brasil.....	19
Tabela 5. Principais resultados do ajuste da estimativa de consumo de combustíveis por VCI para os estados da região Sul e outros estados do Brasil	20
Tabela 6. Consumo de combustível (milhões de litros) e distância percorrida (milhões de vkm) dos veículos leves de combustão interna no Brasil nos anos 2020, 2030 e 2040	22
Tabela 7. Projeção do consumo de combustíveis de veículos de combustão interna para os estados do Sul do Brasil nos anos 2019, 2030 e 2040 (em litros/ano).....	22
Tabela 8. Hipóteses de evolução dos custos para veículos de combustão interna nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção	23
Tabela 9. Hipóteses de evolução dos custos para veículos elétricos nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção.....	23
Tabela 10. Participação de veículos elétricos nas vendas e na frota de veículos no Sul do Brasil nos anos 2030 e 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção.....	25
Tabela 11. Principais parâmetros de entrada para Estimativa do Mercado Potencial de VE com base no poder de compra familiar no estudo de caso do Sul do Brasil.....	25
Tabela 12. Domicílios particulares no Brasil e por Grandes Regiões segundo as classes de rendimento mensal domiciliar no ano de 2015 (em %)	27
Tabela 13. Principais resultados da estimativa de mercado potencial de VE com base no poder de compra familiar para o Sul do Brasil no ano 2020 e no ano de 2040, nos cenários BaU e Alta Adoção.	27
Tabela 14. Distância percorrida dos veículos leves transferidos para a tecnologia elétrica no Sul do Brasil para os anos 2030 e 2040 (em milhões vkm)	28
Tabela 15. Consumo de energia elétrica de VE no Sul do Brasil no ano 2030 e no ano de 2040 para o cenário BaU, Intermediário e Alta Adoção (em GWh/ano)	28
Tabela 16. Demanda de energia elétrica (MWmed) e influência da carga (MW) de veículos elétricos no sistema elétrico brasileiro de acordo com diferentes previsões para o ano 2020 e 2040	33
Tabela 17. Custos de expansão e reforço da rede para acomodar VE nos estados do Sul do Brasil, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção até 2040 (mi R\$)	34
Tabela 18. Tipologia de eletropostos atualmente em serviço e sua distribuição geográfica nos Estados do Sul do Brasil e nos países vizinho, Argentina, Paraguai e Uruguai	36
Tabela 19. Dados históricos da frota de veículos por estados do Sul do Brasil no período 1910 até 2019	41
Tabela 20. Características da frota de veículos dos estados do Sul do Brasil de acordo com a categoria e idade do veículo	42

Tabela 21. Características da frota circulante de veículos dos estados do Sul do Brasil de acordo com a categoria e idade do veículo	45
Tabela 22. Proporção da frota circulante no Brasil por tipo de combustível veicular e categoria de veículo	46
Tabela 23. Resumo de frota circulante de veículos dos estados do Sul do Brasil no período 1979 até 2019	47
Tabela 24: Consumo médio por tipo de combustível, categoria e idade de veículos (km/l)	49
Tabela 25. Consumo médio (km/l) ponderado pela idade média (anos) da frota circulante por categoria de veículo, tipo de combustível e estado do Sul do Brasil.....	51
Tabela 26. Intensidade de uso ajustada para veículos leves por categoria de veículos e anos de uso (km/ano).....	52
Tabela 27. Intensidade de uso ajustada para veículos pesados por categoria de veículos e anos de uso (km/ano).....	53
Tabela 28. Fatia de mercado dos pontos de carga urbana para veículos elétricos	55
Tabela 29. Custos médios (Aproximação dos Custos Marginais de Expansão) da COPEL em 2016	59

Agradecimentos

Esta nota técnica é baseada no trabalho desenvolvido no âmbito da cooperação técnica do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) “Estudo de viabilidade de um corredor de veículos elétricos na região sul do país, ligando os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul”.¹

O trabalho faz parte dos esforços da Gerência de Infraestrutura e Energia do BID, por meio de sua Divisão de Energia, para o intercâmbio e disseminação de experiências sobre mobilidade elétrica que possam fornecer lições aos países da América Latina e do Caribe, e promover o diálogo e a discussão sobre aspectos relevantes relacionados a inserção de rotas tecnológicas que contribuam a reduzir emissões nos setores de difícil descarbonização como o transporte.

Este trabalho foi possível graças ao acompanhamento e apoio recebido das autoridades e equipes técnicas das distribuidoras de energia elétrica COPEL, CELESC e CEEE-Equatorial e das empresas de consultoria que participaram na sua execução (*Mcrit Multicriteria Planning*; TTC Soluções em mobilidade; e *Eurecat Centre Tecnològic de Catalunya*).

Gostaríamos também de agradecer ao Grupo de Trabalho sobre Eletromobilidade da Comissão de Integração Energética Regional (CIER), a todos os nossos colegas do BID e outros profissionais que contribuíram para a conclusão deste trabalho. Em especial agradecer os comentários e sugestões dos revisores Arturo Alarcon y Raul Rodriguez Molina.

¹ [Estudo de viabilidade de um corredor de veículos elétricos na região sul do país, ligando os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul](#) (BID, 2021)

Resumo

O presente estudo propõe uma estrutura analítica para estimar a demanda potencial de energia para veículos elétricos (VE), e traz os principais resultados da sua aplicação para um estudo de caso para região sul do Brasil – composta pelos estados de Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Os resultados do estudo de caso estimam que os VE podem alcançar até 10,9% da frota da região Sul do país em 2040, o que corresponde a uma frota até 1,7 milhões de VE em 2040 e um acréscimo de até 5,10% no consumo de energia da região. Desta forma, é possível esperar que este acréscimo na demanda pode ser acomodado pelo sistema de geração e pela rede de transmissão sem grandes dificuldades, porém exigindo alguns investimentos e reforços na rede de distribuição média tensão (MT) e de baixa tensão (BT) para atender a esse aumento de demanda provocado pelos VE. Por fim, foi discutida a possibilidade de conexão do Sul do Brasil com países vizinhos próximos, como a Argentina, Paraguai e o Uruguai – através de um corredor elétrico.

Palavras Chaves: Veículos Elétricos, Demanda de Eletricidade, Planejamento Energético

Códigos JEL: L90, R41, R42, N76

1. Introdução

Com base nas tendências atuais, se estima que as taxas de motorização na América Latina e no Caribe aumentarão em quase 40%, alcançando o patamar de 276 veículos por cada 1.000 habitantes até 2030 (Cavallo *et al.*, 2020). Isto significa um aumento ainda maior da importância do setor de transporte como emissor de gases de efeito estufa (GEE) e como agente poluidor dentro das cidades. De acordo com o PNUMA (2020), o setor de transporte foi responsável por 15 % das emissões de GEE na América Latina e Caribe (ALC) em 2018.

Desta forma, é grande a expectativa com relação à adoção de veículos elétricos (VE) nos próximos anos. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA, da sigla em inglês), cerca de 3 milhões de carros elétricos foram vendidos no mundo em 2020, representando 4,6% das vendas globais de veículo e somando 10 milhões de carros elétricos nas estradas do mundo (IEA, 2021). Apesar da desaceleração econômica causada pela pandemia e a redução de 16% nas vendas de veículos em 2020, as vendas de carros elétricos aumentaram 41%, com destaque principalmente para o mercado europeu e chinês. Os registros de ônibus e caminhões elétricos também se expandiram nos principais mercados, alcançando estoques globais de 600 mil e 31 mil veículos, respectivamente (IEA, 2021).

Ainda segundo a IEA (2021), esta resiliência nas vendas de VE se deve basicamente a três fatores: (i) existência de estruturas regulatórias de apoio ao desenvolvimento do mercado de VE desde antes a pandemia (como a implementação de padrões de emissões de CO₂, proibição de venda de veículos a combustão interna (VCI) e determinação de vendas apenas de veículos com emissão zero); (ii) implementação de incentivos adicionais para proteger as vendas de VE durante a crise econômica; e (iii) aumento do número de modelos de VE, assim como a redução do custo das baterias. Além disso, a grande oscilação e aumentos de preços do petróleo e de seus derivados podem ajudar a justificar a resiliência no nível de vendas de VE, apesar das crises econômicas decorrentes da pandemia do COVID-19.

Na América Latina, os avanços na regulação relativa a VE varia de país para país e por tipo de instrumentos para promoção da mobilidade elétrica. Segundo estudo realizado por PNUMA (2020), em termos de isenção ou redução de imposto de importação de VE, 11 dos 14 países analisados na América Latina já apresentavam ou se mostravam em vias de implementar esse tipo de incentivo em 2019, ao passo em que oito dos 14 países apresentavam ou se mostravam em vias de implementar algum tipo de incentivo ao uso e circulação de VE. Ademais, dos 14 países analisados, cinco contavam com tarifas elétricas diferenciais para carga de VE implementadas ou em fase de implementação, sete com regulação para centros de carga (parcial ou completamente implementada), e 9 com uma estratégia nacional de mobilidade elétrica (implementada ou em fase de implementação). Adicionalmente, oito dos 14 países analisados apresentavam metas de mobilidade elétrica². No caso do Brasil, país considerado neste estudo de caso, ainda não há uma meta clara estabelecida para o mercado de VE. Porém, o país já conta com a isenção de impostos de importação para VE e regulação para centros de carga de VE, além de que, incentivos ao uso e circulação de VE já vem sendo desenhados e estão no caminho de serem implementados.

² Barbados prevê a implementação de uma matriz energética 100% renovável e neutra em carbono até 2050. Chile e Costa Rica se comprometeram a até 2050 ter 100% da sua frota de transporte pública eletrificada. Além disso, Chile e Costa Rica se comprometeram respectivamente a ter 40% e 60% da sua frota privada eletrificada em 2050. Colômbia prevê a existência de 600 mil VE em 2030, ao passo que México comprometeu a ter 500 ônibus em corredores elétricos na Cidade de México já em 2024. Equador por sua vez determinou que todos os veículos a ser incorporado ao transporte público a partir de 2025 deverá ser elétrico e receber tarifas elétricas diferenciadas. A determinação de Paraguai, todavia, abrange veículos estatais – até 2020 todos os veículos estatais devem ser elétricos. Por fim, Panamá fixou uma série de metas para 2030 – até lá devem passar a ser elétricos 10-20% de toda frota de veículos privados, 35-40% das vendas de veículos privados devem ser elétricos, 15-35% da frota de ônibus e 25-50% da frota pública.

O setor de transporte no Brasil é o principal emissor de CO₂ do setor energético, representando 48,8% das emissões líquidas de CO_{2e} deste setor e 14,1% das emissões líquidas total de CO_{2e} em 2016, segundo a 4ª Comunicação Nacional (MCTI, 2021). Assim, o papel da eletrificação do transporte deve ser analisado como um elemento chave da transição energética para o Brasil. De acordo com dados do PNUMA (2020), em 2019, o Brasil apresentava 2.405 VE registrados e um corredor elétrico de 434 km com 6 centros de recarga, conectando os estados de Rio de Janeiro e São Paulo, isenção de imposto na importação e compra de VE, regulação de centros de carga e incentivos para o registro de posse de veículo (PNUMA, 2020; Cavallo *et al.*, 2020).

Contudo, a adoção dos VE necessita considerar as especificidades tanto do setor de transporte quanto do setor elétrico. A eletricidade é caracterizada como uma indústria de rede com grande especificidade temporal (instantaneidade entre a produção e consumo) visto que seu armazenamento em grandes quantidades ainda não se mostra viável do ponto de vista econômico (Di Chiara *et al.* 2022). Desta forma, a introdução de VE exige uma adaptação do parque gerador e o reforço de redes de transmissão e distribuição de modo a atender a esse novo vetor demandante de energia. As características da demanda de energia dependerão também da regulação tarifária e dos incentivos horários a recarga.

De toda forma, há que considerar que a adaptação do sistema elétrico para atender a demanda de eletricidade requerida no abastecimento VE pode abranger investimentos para expansão da geração, introdução de baterias, da otimização da operação do sistema ou da realização de reforços nas linhas de transmissão e distribuição³. Em outras palavras, para que exista uma inserção segura e eficiente de VE é essencial adaptação do sistema elétrico através de investimento e desenvolvimento de novos modelos de negócios que apoiem a remuneração destes investimentos e melhorem a sinalização de preços entre os geradores e consumidores de energia elétrica.

Visto esse contexto, o presente estudo tem como objetivo principal uma proposta de estrutura analítica para estimar a demanda potencial de energia para VE por microrregiões, em um país/região de análise. A estrutura analítica é composta por cinco etapas principais e conta com o auxílio de quatro modelos, desenvolvidos particularmente para assistir as diferentes etapas da estimativa. Ademais, o passo a passo especificado na estrutura é potencialmente aplicável a qualquer país da ALC, mas foi aplicado em um estudo de caso dos estados do Sul do Brasil – Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC). Estes estados se mostram como estratégicos do ponto de vista de construção de um corredor elétrico, dado que poderia se conectar ao corredor elétrico já existente no Estado de São Paulo e ao corredor já existente no Uruguai. Além disso, disso a região apresenta renda superior à média nacional, além de apresentar significativo potencial turístico.

A estimativa da demanda potencial de energia para VE por microrregiões do Sul do Brasil permite melhorar nossa compreensão acerca dos impactos da inserção de VE na rede de distribuição elétrica brasileira e, conseqüentemente, investimentos necessários em infraestrutura. Esses desdobramentos do estudo de caso são analisados neste trabalho. Além disso, também é analisada a possibilidade de conexão do Sul do Brasil com países vizinhos próximos, como a Argentina, Paraguai e o Uruguai – através de um corredor elétrico.

Para este fim, este trabalho é dividido em cinco seções, incluindo essa introdução. A **Seção 2** a seguir, apresenta o passo a passo da estrutura analítica proposta, enquanto a **Seção 3** apresenta os resultados da aplicação da estrutura para o estudo de caso do Sul do Brasil. Já, na **Seção 4** são discutidos os desdobramentos acerca da estimativa da demanda potencial de energia para VE por microrregiões do Sul do Brasil. Por fim, a **Seção 5** expõe os principais elementos de discussão deste estudo.

³ Os VE são um novo demandante de energia elétrica. Diferente das demais aplicações da energia elétrica, o VE tende a ser mais elástico quanto ao sinal de preço, ou seja, existe uma certa flexibilidade quanto ao momento, montante e ao local em que deve ser carregada a bateria. Para entender a interação do potencial impacto da demanda de VE com o setor elétrico é importante considerar a característica de rede deste setor. Isto significa, que é importante considerar a rede de transmissão e parte da rede de distribuição que é malhada para ganhar confiabilidade e tem que ser operada em tempo real. Esta operação impõe a existência de um centro de controle para despachar as usinas e monitorar as condições do sistema.

2. Um passo a passo de como estimar a demanda potencial de energia para veículos elétricos

O objetivo desta seção é apresentar o passo a passo da proposta de estrutura analítica que tem como objetivo, a estimativa da demanda potencial de energia para veículos elétricos (VE)⁴ por microrregiões, em um país/região de análise. A estrutura analítica é dividida em cinco etapas principais que devem seguir uma ordem contínua, uma vez que resultados de uma etapa são utilizados como insumo na etapa seguinte. O fluxograma da **Figura 1** representa a estrutura analítica proposta.

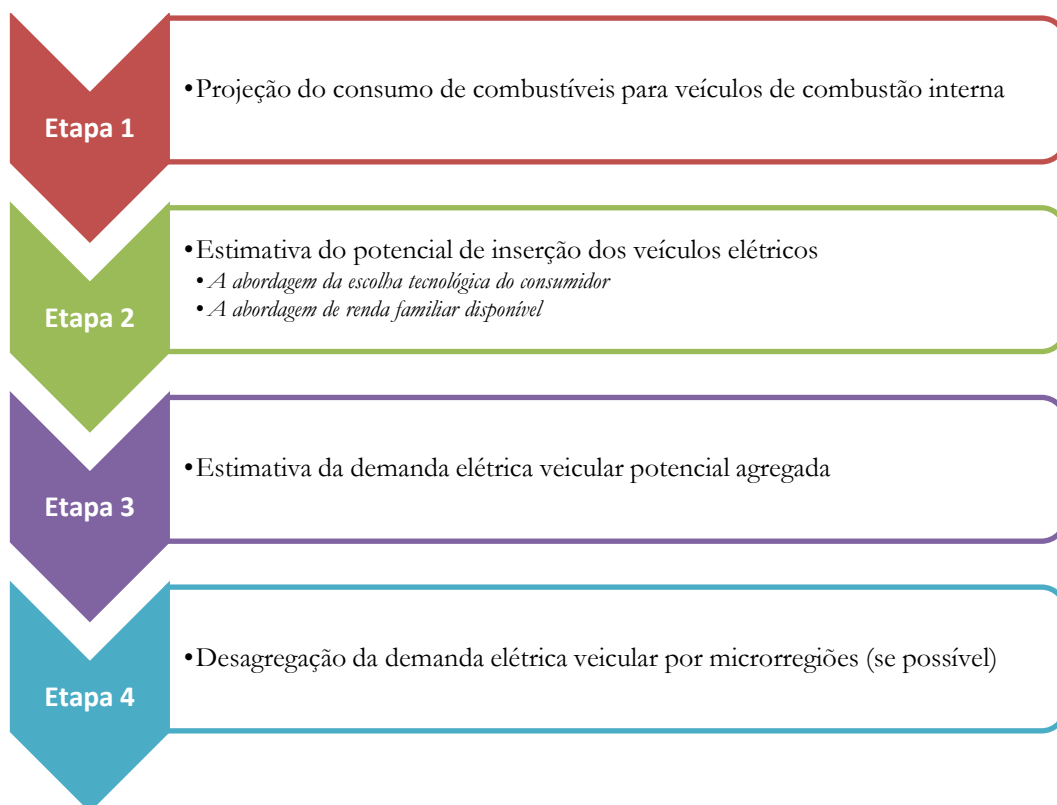


Figura 1. Fluxograma da estrutura analítica desenvolvida para estimar a demanda potencial de energia para veículos elétricos por microrregiões

Fonte: Elaboração própria

2.1. Estimativa de crescimento das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna

A estimativa de crescimento no volume de vendas de combustíveis para veículos de combustão interna (VCI) – também conhecidos como carburantes – de um país/região de análise é a primeira etapa da estrutura analítica proposta.

Inicialmente devem ser determinados os volumes trimestrais e preços médios de revenda no varejo dos combustíveis (como por exemplo, gasolina, etanol e diesel). É importante ressaltar que nos casos de combustíveis compostos, estes devem ser convertidos em um combustível único de acordo com

⁴ Neste trabalho, por veículos elétricos consideramos veículos elétricos leves, mais especificamente carros elétricos.

o percentual da equivalência energética, conforme indicado na **Equação (1)**. Um exemplo de combustível composto é a “gasolina equivalente”, que é composta por gasolina e etanol.

$$\text{Gasolina equivalente} = \text{Gasolina} + 0,7 \times \text{Etanol} \quad (1)$$

Com a série histórica do volume de vendas e preço de combustíveis é possível estimar o crescimento das vendas de combustíveis para VCI através de um modelo econométrico de séries temporais. Este modelo deve relacionar os volumes de vendas trimestrais (em metros cúbicos) e preços no varejo para cada combustível de interesse. É possível utilizar ainda um modelo econométrico de cointegração que ajude a corrigir os erros do modelo econométrico através do uso de séries históricas de diferentes variáveis, como preço de combustíveis para VCI e Produto Interno Bruto (PIB).

Todos os parâmetros de entrada necessários para estimar o crescimento das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna, assim como seus resultados/saídas, podem ser observados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Principais parâmetros de entrada e saída do Modelo para Estimar o crescimento das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna.

Entrada	Saída
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Série histórica do volume total de vendas de VCI novos; ▪ Série histórica do preço dos combustíveis para VCI em preços correntes (gasolina, etanol ou diesel); ▪ Série histórica do preço da energia elétrica; ▪ Série histórica do consumo unitário veicular dos VCI novos; ▪ Série histórica e projeções do PIB do país/região de análise. ▪ Frota atual em circulação por tipologia de VCI e combustível; ▪ Taxa de sobrevivência dos veículos; ▪ Consumo unitário veicular médio da frota atual; e ▪ Percurso médio anual dos veículos da frota atual. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estimativa e Projeção do consumo de combustíveis por VCI; e ▪ Taxa de crescimento das vendas de combustível para VCI.

Nota: VCI = veículo de combustão interna.

Fonte: Elaboração própria

Uma vez estimado o consumo de combustíveis por VCI coerente com a frota circulante de veículos⁵ por categoria e tipo de combustível (número de veículos), é possível projetar este consumo ao longo dos anos. Neste exercício de projeção, é importante analisar se as premissas assumidas nos cenários são coerentes com o comportamento ao longo dos anos os seguintes indicadores:

- a) Indicador de intensidade de uso⁶ do VCI (km/ano): correção de base de dados através da comparação entre o valor calculado de consumo total de combustível e os dados de volume mensal de venda de combustíveis no varejo;
- b) Indicador de quilometragem veicular percorrida (veículos x quilômetros (v.km)): utiliza dados de intensidade de uso em conjunto com estimativa da frota circulante;
- c) Indicador do consumo médio atual de combustíveis para VCI, por tipo de combustível, categoria e idade de veículos (litros de combustível/veículo);
- d) Indicador de Eficiência do consumo médio atual de combustíveis para VCI, por tipo de combustível, categoria e idade de veículos (km/litro de combustível).

⁵ Deve considerar taxas das curvas de sucateamento, de forma a descontar os veículos que não estão mais em circulação. Para mais detalhes, ver **Anexo A**.

⁶ Quantidade de quilômetros que um veículo percorre em média por ano de acordo com sua idade. Para mais detalhes, ver **Anexo C**.

2.2. Estimativa do potencial de inserção dos veículos elétricos

Na segunda etapa da estrutura analítica, é feita uma estimativa sobre o potencial de inserção de VE. O objetivo dessa etapa é providenciar uma projeção sobre a participação de VE no mercado de veículos de em um país/região de análise. Em outras palavras, busca-se um melhor entendimento sobre o crescimento da frota de VE.

Contudo, tal estimativa depende de uma série de fatores, principalmente relacionados aos custos de VE, que apresentam grande incerteza à previsão. Deste modo, se faz necessário a criação de diferentes cenários de penetração de VE, cujas narrativas devem ser determinadas por diferenças nos custos de aquisição dos veículos (e.g. pela queda dos custos de produção e das baterias que irão resultar em menores preços de comercialização dos veículos, ou por subsídios públicos à compra no curto prazo) e na autonomia média dos veículos (e.g. por melhoria tecnológica). A construção das narrativas dos diferentes cenários depende do contexto do país/região de análise, devido à grande variabilidade nos custos de VE ao redor do globo.

Após a criação dos cenários de projeção do consumo de combustíveis para VCI relativos ao contexto específico do país/região de análise é possível estimar, os cenários de potencial de inserção de VE. É importante destacar que esses cenários não consideram mudanças no comportamento da posse total de veículos e na intensidade de uso desses veículos, apenas a transição para a eletromobilidade. Diante disso, foram desenvolvidas duas perceptivas de análise do potencial de inserção de VE ao longo do tempo. A primeira perceptiva de análise busca definir o potencial de inserção de VE com base nos custos das diferentes tecnologias veiculares (abordagem de custos). Já, a segunda perceptiva de análise se baseia na hipótese de que o potencial de inserção de VE dependerá da demanda familiar por transporte privado rodoviário e da renda familiar disponível para aquisição de VE (abordagem de poder de compra familiar).

Uma vez estimado o mercado potencial de VE através da abordagem de custos e da abordagem de poder de compra familiar, é possível ponderar essas duas estimativas e obter o potencial de inserção dos VE agregado ou, por microrregiões, dependendo do objetivo do trabalho e da disponibilidade dados (como ilustrado na **Figura 2**). As duas abordagens são detalhadas nas subseções a seguir.

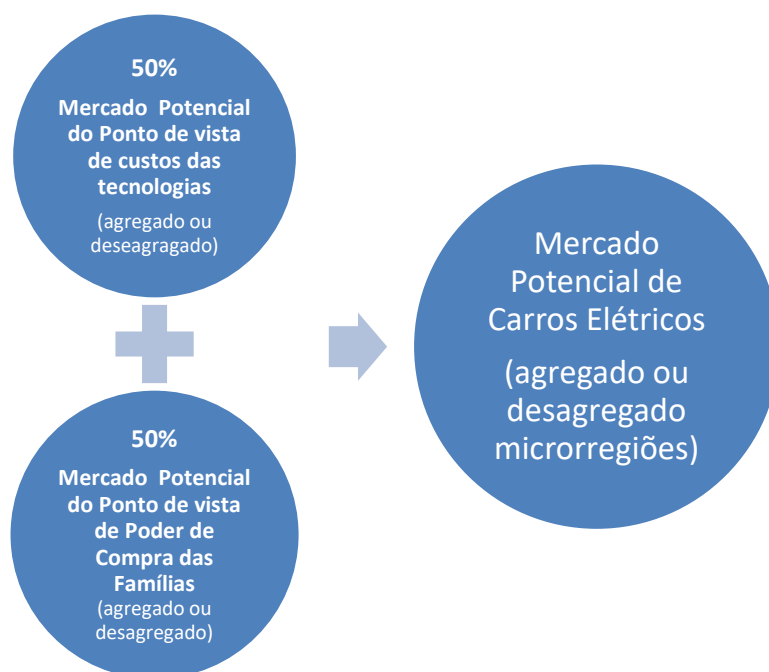


Figura 2. Estimativa Ponderada do Mercado Potencial de Veículos Elétricos (VE).

Fonte: Elaboração própria

2.2.1. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de custos de mobilidade

A primeira abordagem para estimar o potencial de inserção de VE ao longo do tempo, utiliza o **Modelo de Transferência Tecnologia (MTT)**, desenvolvido para estimar a evolução da frota de VE leves na região e sub-regiões de análise – tendo como base a escolha tecnológica do consumidor com base dos custos totais atrelados a cada tecnologia de mobilidade.

O MTT é um modelo econométrico do tipo Logit Multinomial, representado por uma função de probabilidade que busca refletir a escolha de um agente econômico na determinação da compra de um veículo a partir das tecnologias existentes: gasolina, *flex fuel*, diesel e VE. As probabilidades de escolha do tipo de veículo pelo consumidor são dadas pela **Equação (2)** e pela **Equação (3)**:

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum e^{V_i}} \quad (2)$$

$$V_i = \beta' x_i \quad (3)$$

Onde, P_{ni} é a probabilidade de escolha do tipo de veículo i (veículo a gasolina, veículo *flex fuel*, veículo a diesel e VE)⁷; V_{ni} é a componente de utilidade de i que depende da função do custo generalizado que por sua vez é alimentada pelo vetor composto pelos custos atrelados ao tipo de veículo i e β' é um fator constante.

Já a função do custo generalizado é representada pela **Equação (4)**:

$$x_i = \alpha_1 \cdot CO_i + \alpha_2 \cdot CA_i + \alpha_3 \cdot CM_i + \alpha_4 \cdot A_i + D_i \quad (4)$$

Sendo, x_i o custo generalizado por tipo de veículo i (veículo a gasolina, veículo *flex fuel*, veículo a diesel e VE); CO_i o custo de operação por tipo de veículo i ; CA_i o custo de aquisição por tipo de veículo i ; CM_i o custo de manutenção por tipo de veículo i ; A_i a autonomia por tipo de veículo i ; α refere-se a constante de escala atrelada a cada custo específico; e D_i é a constante de percepção para cada tipo de veículo i . As constates perceptivas são especialmente relevantes no caso dos veículos *flex fuel* e nos VE⁸.

Logo, o modelo considera que não há alteração no comportamento dos agentes ao longo do tempo, estes apenas reagem às variações de: (i) custos (de aquisição, operação e manutenção dos veículos para os diferentes tipos de veículos); (ii) autonomia (características técnicas); e (iii) características intangíveis associada a percepção dos usuários (preferências em relação a sustentabilidade, diversidade de modelos e disponibilidade de pontos de recarga). Desta forma, o modelo permite estimar qual será o *market share* ocupado pelo VE frente ao demais tipos de veículos ao longo do

⁷ Na base de dados de ANFAVEA utilizada para o modelo de escolha, os veículos elétricos incluíam as versões elétrico fonte externa, elétrico fonte interna e híbrido (combustível líquido mais elétrico). Os veículos híbridos são então incluídos nas previsões dos veículos elétricos. Não existiam dados para poder desagregar o elétrico do híbrido. Todo este grupo tem sido tratado como veículos elétricos em termos de consumo de energia e alcance.

⁸ No caso dos usuários *flex fuel*, a escolha por esse tipo de veículo tende a ser guiada pela expectativa de ter economias futuras nos preços de abastecimento – expectativas que podem se concretizar ou não. Ademais, os usuários *flex fuel* costumam abastecer-se com etanol em maior medida do que indicaria um mero análise da relação de preços etanol/gasolina, por motivações ambientais ou por mecanismos de cálculo desajustados pelos usuários. Por outro lado, para os VE, acontecem incertezas em relação à disponibilidade de pontos de recarga, na percepção da autonomia dos veículos, sensibilidades ambientais, desconhecimento da tecnologia e suas características, também dos seus custos reais e da possível evolução destes preços no futuro próximo. Todos estes parâmetros podem influenciar na decisão dos consumidores, além das questões de custo estritamente, e de autonomia real dos veículos.

tempo, ou seja, participação de VE na composição da frota veicular futura. Para mais informações sobre a revisão literatura acerca dessa abordagem, ver **Anexo D**.

Na **Tabela 2**, é possível observar os valores de entrada e de saída do MTT. É importante ressaltar que o MTT utiliza os dados de entrada e saída da estimativa de consumo de combustíveis para VCI, logo, seus resultados são relacionados.

Portanto, essa etapa traz como resultado o mercado potencial de VE do ponto de vista de custos de mobilidade. Como estes são altamente dependentes das premissas adotadas, seus resultados normalmente envolvem um significativo nível de incerteza de corrente dos avanços tecnológicos, aceitação de mercado e impactos em custos, é recomendado que esta etapa considere diferentes cenários.

Estes resultados podem ser agregados, ou seja, potencial do país ou desagregados por regiões e/ou microrregiões de acordo com o objetivo do estudo e com a disponibilidade dados.

Tabela 2. Principais parâmetros de entrada e saída do Modelo de Transferência Tecnologia (MTT)

Entrada	Saída
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frota atual em circulação por tipologia de VCI e combustível;* ▪ Taxa de sobrevivência dos veículos;* ▪ Consumo unitário veicular médio da frota atual;* ▪ Percurso médio anual dos veículos da frota atual;* ▪ Taxa de crescimento das vendas de combustível para VCI**; ▪ Custo de investimento para cada tipo de veículo (gasolina, <i>flex fuel</i>, diesel e elétrico); ▪ Vida útil de cada tipo de veículo; ▪ Custo anual de operação para cada tipo de veículo; ▪ Custo anual de manutenção para cada tipo de veículo; e ▪ Autonomia para cada tipo de veículo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeção das vendas de veículos por tipo de tecnologia; ▪ Composição da frota futura por tipo de tecnologia; e ▪ Composição da produção veicular (veículos.km) por tipo de tecnologia.

Nota: VCI = veículo de combustão interna; * São parâmetros de entrada da estimativa de consumo de combustíveis por VCI ** São parâmetros de saída da estimativa de consumo de combustíveis por VCI

Fonte: Elaboração própria

2.2.2. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista do poder de compra familiar

Uma segunda abordagem de análise de transferência tecnológica é proposta para estimar a taxa de penetração de VE ao longo do tempo. Esta abordagem parte da hipótese que o mercado de VE se desenvolverá antes em locais com alta demanda por transporte privado rodoviário e renda familiar suficientemente alta para cobrir os custos dos VE (aquisição, operação e manutenção).

Esta abordagem segue a literatura sobre a relação entre renda e demanda por transporte privado rodoviário, tendo como base os princípios de mobilidade cotidiana de pessoas (Hupkes, 1980; Marchetti, 1994)⁹. Isto posto, o modelo busca calcular o número de unidades familiares (domicílios) com renda suficiente para manter um VE no horizonte de análise, a partir das informações mais granulares possíveis sobre renda das famílias, provenientes de pesquisas domiciliares sobre orçamento familiar, e de custos veiculares mais recentes.

⁹ Marchetti (1994) argumenta que a mobilidade cotidiana das pessoas obedece a princípios básicos baseados na antropologia dos seres humanos. Entre estes princípios básicos, destaca-se o fato de as pessoas alocarem um orçamento de tempo e um orçamento econômico para mobilidade, que não foram alterados desde os inícios dos tempos: (i) aproximadamente uma hora de tempo investido em deslocamentos diariamente; e entre 10% e 15% da renda domiciliar investida em mobilidade (Hupkes, 1980; Marchetti, 1994).

Partindo da hipótese que as pessoas possuem um orçamento fixo para gastar em mobilidade, é possível analisar quantos domicílios no país/região de análise teriam renda familiar suficiente para adquirir e manter um VE hoje e no futuro. Para tal cálculo, deve-se seguir os seguintes passos:

- a) Cálculo da renda mínima, depois de impostos, necessária para manter um VE com base na estimativa do custo anual de operação e manutenção de um VE;
- b) Conversão da renda mínima, depois de impostos, para renda mínima antes de impostos a partir da estimativa de taxas na renda;
- c) Levantamento da distribuição dos domicílios segundo seu rendimento domiciliar;
- d) Projeção da população por faixas de renda e estimativa de aumento da renda no horizonte de análise; e
- e) Cálculo do número de domicílios com renda suficiente para manter um VE ao longo do período de análise: através do cruzamento do valor da renda mínima estimado para cobrir os custos de um VE com a distribuição de domicílios por renda.

O resultado deste exercício é um número potencial de vendas de VE para o país (agregado) ou para as regiões ou microrregiões (desagregado) de análise que fornece a dimensão da penetração de VE ao longo do tempo. Assim como na abordagem anterior, os resultados desta abordagem normalmente envolvem um significativo nível de incerteza decorrente das premissas adotadas com relação aos avanços tecnológicos, aceitação de mercado e impactos em custos. Desta forma, é recomendado que esta etapa de estimativa também considere diferentes cenários.

2.3. Estimativa da demanda elétrica veicular potencial agregada

Uma vez estimada a participação de VE na projeção da frota de veículos – potencial de inserção de VE – de uma país/região, é possível então estimar a demanda elétrica de VE em kWh (C_{VE}), o que configura a quarta etapa da estrutura analítica proposta. Para tal, se estima a quantidade de VCI que deixam de circular por transferência para a tecnologia elétrica, dado o desenvolvimento esperado da eletromobilidade¹⁰. Assim, é possível determinar qual o incremento de consumo elétrico e a redução no consumo total de combustíveis para VCI a partir das seguintes equações:

$$D_{VCI} = C_{VCI} \cdot e_{VCI} \quad (5)$$

$$D_{VE} = D_{VCI} \cdot p_{VE} \quad (6)$$

$$C_{VE} = \frac{D_{VE}}{e_{VE}} \quad (7)$$

Onde, D_{VCI} é a distância percorrida por VCI em vkm; C_{VCI} é o consumo total dos VCI em litro-equivalente; e_{VCI} é a eficiência dos VCI em km/litro; D_{VE} é a distância percorrida por VE em vkm; p_{VE} é a contribuição dos VE na frota veicular; e C_{VE} é o consumo dos VE em kWh que reflete o incremento de consumo elétrico por VE. Os resultados dessas estimativas podem ser agregados ou desagregados por microrregiões. Essa decisão de nível de desagregação depende dos objetivos do estudo e da disponibilidade de dados, e dos supostos com relação ao uso de VE, e a eficiência de eles.

¹⁰ É importante ressaltar que este estudo considerou que a entrada de veículos elétricos não afetará o comportamento do consumidor com relação à demanda total de mobilidade.

3. Estudo de caso: aplicação da estimativa da demanda elétrica veicular por microrregiões no Sul do Brasil

Esta seção apresenta e discute os resultados da aplicação da estrutura analítica proposta para estimativa de demanda elétrica veicular em microrregiões do Sul do Brasil, que engloba os Estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. A seção é, desta maneira, um espelho da **Seção 2**, sendo os resultados do estudo de caso do Sul do Brasil apresentados em cinco etapas, cada um referente a uma subseção.

3.1. Estimativa de crescimento das vendas combustíveis para veículos de combustão interna nos estados do Sul do Brasil

Para o estudo de caso do Brasil, a estimativa do consumo de combustíveis por VCI foi calibrado com os seguintes parâmetros apresentados na **Tabela 3** a seguir.

Tabela 3. Principais parâmetros de entrada da estimativa de consumo de combustíveis por VCI utilizados no estudo de caso do Sul do Brasil

Entrada	Nível de desagregação geográfica	Período	Unidade de medida	Fonte
1 Serie histórica do volume de vendas dos combustíveis veiculares (gasolina, etanol e diesel)	Brasil, estados da região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e municípios dos estados da região Sul	Janeiro de 2000 a abril de 2020*	m ³ /mês	ANP (2020a, 2020b)
2 Serie histórica do preço dos combustíveis veiculares em preços correntes** (gasolina, etanol e diesel)	Brasil	Julho 2001 a março de 2020	Preços correntes foram convertidos para R\$ de dezembro de 2019 utilizando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA (IBGE, 2020e)	ANP (2020a, 2020b)
3 Série histórica do PIB do país/região	Brasil e municípios	1º trimestre de 1996 a 1º trimestre de 2020	Total a preços de mercado, índice encadeado (dessazonalizado – média de 1995=100)	IBGE (2020a, 2020b)
4 Projeções do PIB do país/região	Brasil	1º trimestre de 2020 a 3º trimestre de 2021 e anual de 2020 a 2024	Variação real total trimestral	BACEN (2020)

Nota: * Para os dados de municípios, a série temporal vai até 2018; ** Preços correntes foram convertidos para R\$ de dezembro de 2019 utilizando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA (IBGE, 2020e).

Fonte: Elaboração própria

Os dados históricos de volume de venda de combustíveis para VCI utilizados como entrada para estimativa de consumo de combustíveis para VCI são observados na **Figura 3**, em conjunto com os dados históricos de Produto Interno Bruto (PIB) para o Brasil, para o período de 20 anos, entre 2000 e 2020. Enquanto a **Figura 4** apresenta os dados históricos de preço médio de venda de tais combustíveis.

Lembrando que o combustível chamado de “gasolina equivalente” segue a equivalência energética da Equação (1), apresentada anteriormente na **Seção 2.1**.

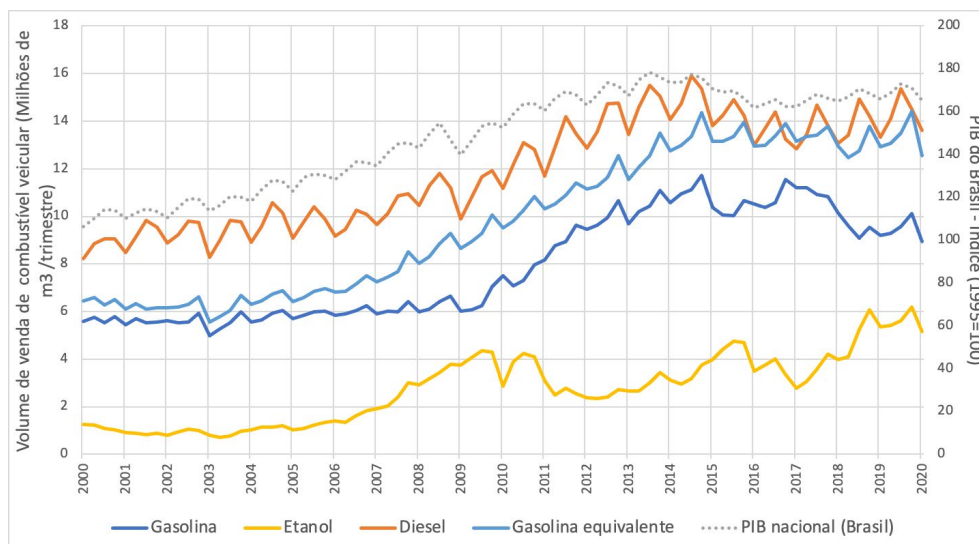


Figura 3. Série histórica do volume de venda de combustíveis para veículos de combustão interna (em milhões de m³/trimestre) e PIB do Brasil (índice: 1995=100) no período de 2000 até 2020

Fonte: ANP (2020a, 2020b)

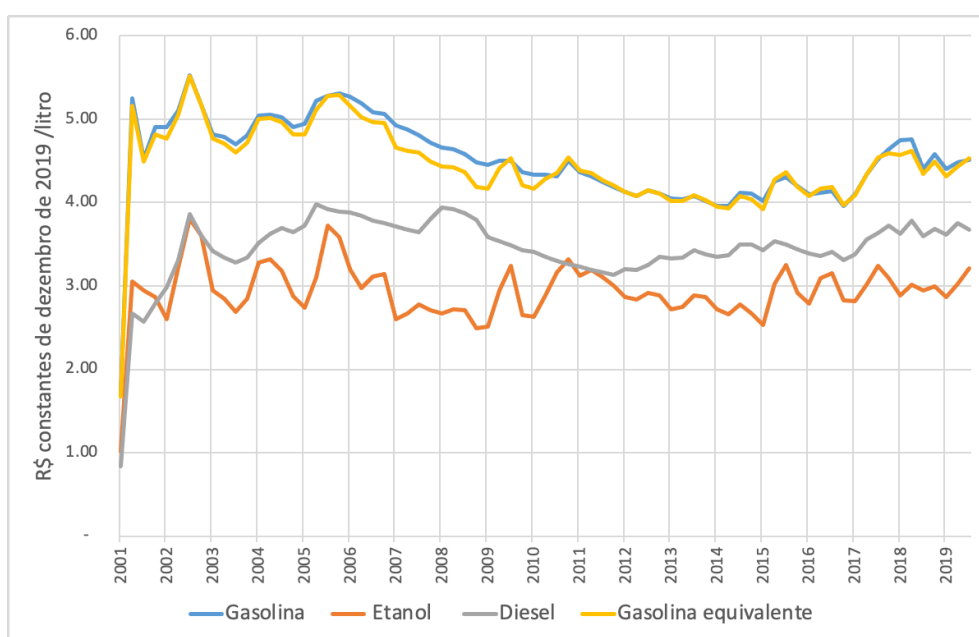


Figura 4. Série histórica do preço médio de venda de combustíveis para veículos de combustão interna no varejo do Brasil (em R\$ constantes de dezembro de 2019/Litro)

Fonte: ANP (2020a, 2020b)

Em relação aos valores futuros, a projeção do PIB do Brasil foi feita com base nas projeções do Banco Central para o período de 2020 e 2024 (BACEN, 2020). Logo, de 2020 a 2024 foram mantidas as projeções do Banco Central e, a partir de 2025, considerou-se fixa a taxa de crescimento anual do PIB projetada para o ano de 2024. Os preços de venda no varejo de combustíveis para VCI observados no 1º trimestre de 2020 (ANP; 2020a, 2020b) foram mantidos constantes até 2040.

A partir dos dados apresentados, foi realizado o ajuste da estimativa de consumo de combustíveis para VCI relacionando o volume de venda trimestral de gasolina equivalente e diesel no Brasil, com PIB e preço dos combustíveis no varejo. Cabe aqui ressaltar que, o PIB agropecuária foi descartado por não contribuir de forma estatisticamente significativa para análise.

Os resultados ajustados da estimativa de consumo e combustíveis por VCI para o Brasil são apresentados na **Tabela 4**. Como indicado na tabela, tanto a gasolina equivalente quanto o diesel apresentam elasticidade-PIB de longo prazo positivas e maiores que um. Isso significa que um aumento no PIB do Brasil acarreta um aumento mais que proporcional no volume de vendas desses combustíveis. No caso da gasolina equivalente, um aumento de 1% no PIB do país gera um aumento na média de 2,34% no volume de vendas trimestrais do combustível. Por outro lado, esse aumento do PIB resulta em um aumento de 1,63% na venda do diesel. Ademais, como era de se esperar, as elasticidades-PIB de curto prazo apresentam um impacto nas vendas menor do que as de longo prazo.

Já a elasticidade-preço dos combustíveis apresenta um valor negativo, em linha com a teoria econômica. Isso significa que um aumento de 1% nos preços da gasolina equivalente e do diesel, provoca uma queda na venda desses combustíveis, igual a 0,27% e 0,14%, respectivamente. A gasolina equivalente se mostra dessa forma, mais sensível a variações do PIB e do preço, quando comparada ao diesel.

Tabela 4. Principais resultados do ajuste da Estimativa de Consumo de Combustíveis para VCI - estudo de caso do Brasil

	Gasolina equivalente	Diesel
Elasticidade-PIB longo prazo*	2,34	1,63
Elasticidade-PIB curto prazo*	1,00	1,42
Elasticidade-preço combustível*	-0,27	-0,14
Epam trimestral**	1,4%	1,4%
Epam anual**	0,4%	0,6%
R-quadrado	0,88	0,94
Erro-padrão da regressão	0,020	0,018
Observações trimestrais	74	74

Nota: (*) Valor-p <0,001 e (**) Epam: erro percentual absoluto médio dos valores estimados em relação aos informados

Fonte: Elaboração própria

A partir dos resultados do ajuste da estimativa do consumo de combustíveis para VCI e da projeção do PIB do Brasil e preços de venda no varejo, foi estimada a projeção de volume de vendas anual de gasolina equivalente e diesel, conforme apresentado na **Figura 5**. A figura também apresenta os valores das séries históricas, como forma de comparar valores observados com estimados, evidenciando uma boa aproximação entre os dois.

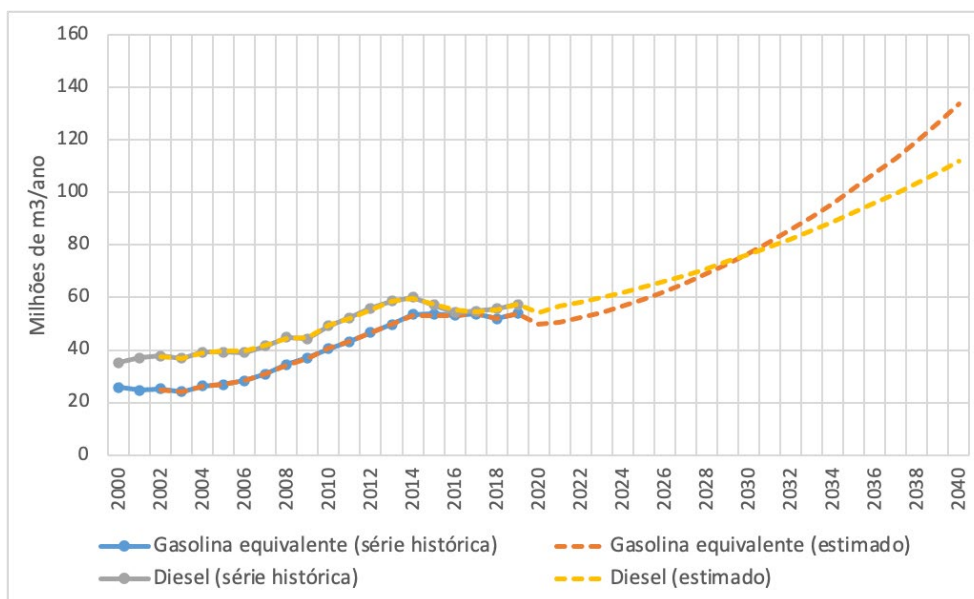


Figura 5. Projeção das vendas de combustíveis para veículos de combustão interna no Brasil no período de 2000 até 2040 (m³/ano)

Fonte: Elaboração própria

Na sequência foi realizado o ajuste da estimativa de consumo de combustíveis por VCI relacionando o volume de venda de gasolina equivalente e diesel dos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e outros estados do Brasil, com o volume total de vendas no Brasil. Os principais resultados do ajuste das regressões constam na **Tabela 5**.

Tabela 5. Principais resultados do ajuste da estimativa de consumo de combustíveis por VCI para os estados da região Sul e outros estados do Brasil

	Gasolina equivalente				Diesel			
	PR	SC	RS	Outros estados	PR	SC	RS	Outros estados
Elasticidade-Brasil*	0,97	0,97	0,82	1,03	0,90	0,80	1,02	1,02
Epam anual**	2,3%	2,5%	1,9%	0,5%	1,8%	1,4%	2,3%	0,7%
R-quadrado	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	1,00	1,00
Erro-padrão da regressão	0,036	0,038	0,026	0,023	0,019	0,032	0,007	0,009
Observações anuais	20	20	20	20	20	20	20	20

Nota: (*) Valor-p <0,001 e (**) Epam: erro percentual absoluto médio dos valores estimados em relação aos informados

Fonte: Elaboração própria

Os resultados apresentados indicam que um aumento no volume de vendas nacionais de gasolina equivalente gera um aumento de menor proporção nos três estados da região Sul e mais que proporcional nos demais estados do Brasil. Dessa maneira, 1% no aumento das vendas nacionais de gasolina equivalente resulta em um aumento das vendas de 0,97% no Paraná (PR) e em Santa Catarina (SC), de 0,82% no Rio Grande do Sul (RS) e 1,03% nos demais estados no Brasil.

Por outro lado, no caso do diesel, um aumento de 1% no aumento das vendas nacionais do combustível, resulta em um aumento das vendas de 0,90% no Paraná, 0,80% em Santa Catarina, e de 1,02% no Rio Grande do Sul e demais estados no Brasil. Isso significa que o volume de vendas da

gasolina equivalente dos estados do Sul é mais sensível a variações das vendas nacionais do que o diesel, com exceção ao Rio Grande do Sul.

Em seguida, a partir dos resultados ajustados da estimativa de consumo de combustíveis para VCI e projeções de volumes de venda de combustíveis para o Brasil, foi feita a projeção do volume de vendas para os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, tanto para a gasolina equivalente (**Figura 6**) quanto para o diesel (**Figura 7**).

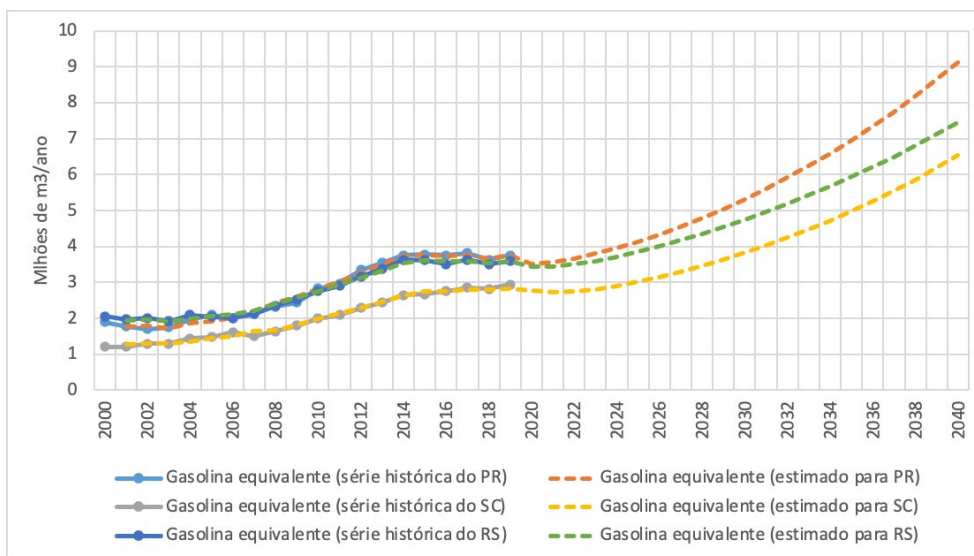


Figura 6. Projeção do volume de vendas de gasolina equivalente para veículos de combustão interna nos estados do Sul do Brasil no período de 2000 até 2040 (m³/ano)

Fonte: Elaboração própria

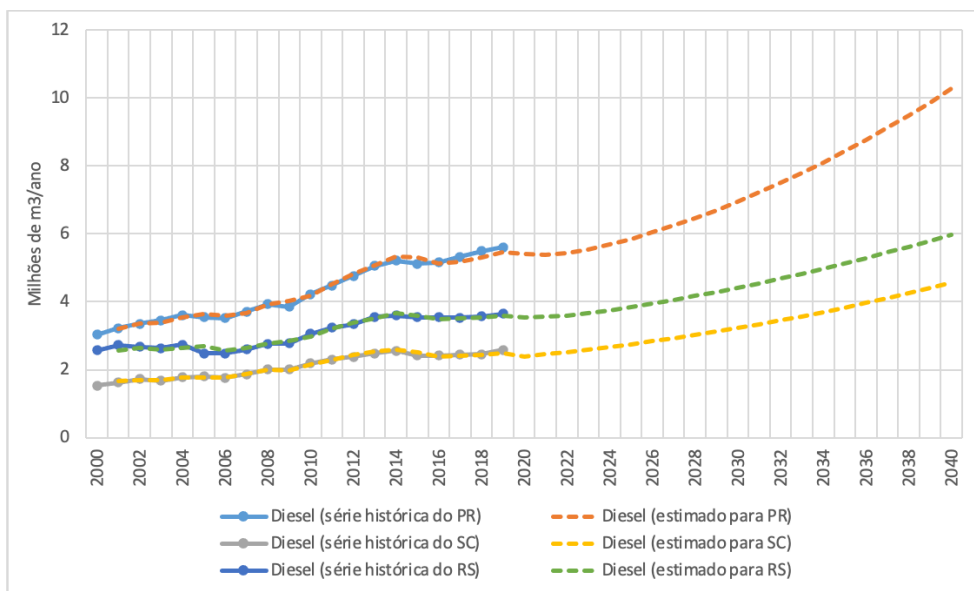


Figura 7. Projeção do volume de vendas de diesel para veículos de combustão interna nos estados do Sul do Brasil no período de 2000 até 2040 (m³/ano)

Fonte: Elaboração própria

A partir do passo a passo descrito na **Seção 2**, é possível estimar o crescimento no consumo de consumo de VCI desagregado por estados do Sul do Brasil. As bases de dados utilizadas para tal e o

detalhamento do procedimento para a estimativa podem ser observados no **Anexo A**, **Anexo B** e **Anexo C**.

A **Tabela 6** apresenta os resultados de consumo de combustível e o percurso total da frota circulante de veículos leves no Brasil, sem considerar transferência para VE. Já a **Tabela 7** apresenta os volumes de consumo de combustíveis estimado para os três estados do Sul.

Tabela 6. Consumo de combustível (milhões de litros) e distância percorrida (milhões de vkm) dos veículos leves de combustão interna no Brasil nos anos 2020, 2030 e 2040

	2020	2030	2040
Consumo de combustível (milhões de litros)	9.600	13.653	22.611
Distância percorrida (milhões de vkm)	104.191	140.565	233.875

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7. Projeção do consumo de combustíveis de veículos de combustão interna para os estados do Sul do Brasil nos anos 2019, 2030 e 2040 (em litros/ano)

Ano	Gasolina equivalente			Diesel		
	PR	SC	RS	PR	SC	RS
2019	3.758.473	2.942.407	3.590.606	43.654.386	3.608.000	2.586.769
2030	5.314.809	3.828.704	4.743.478	63.039.330	6.949.452	3.226.712
2040	9.124.295	6.525.327	7.452.654	111.220.500	10.276.350	4.552.091

Fonte: Elaboração própria

3.2. Estimativa de mercado potencial de VE nos estados do Sul do Brasil

Conforme explicado anteriormente, a estimativa de mercado potencial de VE nos estados do Sul do Brasil depende de uma série de fatores e pode apresentar grande incerteza. Deste modo, este estudo propõe a criação de diferentes cenários de penetração de VE que principalmente levem em conta os custos atrelados às tecnologias disponíveis de transporte privado rodoviários e o poder de compra das famílias.

Duas abordagens da análise da transferência tecnológica foram sugeridas para a estimação do mercado potencial de carros elétricos: (i) análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de custos de mobilidade; e (ii) análise da transferência tecnológica através do ponto de vista do poder de compra familiar. Posteriormente, o estudo sugere que a ponderação do resultado das duas abordagens de forma a considerar ambas as abordagens na estimada de mercado potencial de VE.

A seguir são apresentados as premissas e os resultados dessas duas abordagens para a estimação do mercado potencial de carros elétricos nos estados do Sul do Brasil.

3.2.1. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de custos de mobilidade nos estados do Sul do Brasil

Para a estimativa sobre o potencial de inserção de VE no Sul do Brasil, através da análise do crescimento da frota de VE, foram elaborados três cenários com diferentes narrativas de implementação de VE:

- I. **Cenário “Business as Usual – BaU”:** cenário de implantação lenta de VE;
- II. **Cenário “Intermediário”:** cenário de implementação moderada de VE; e
- III. **Cenário “Alta Adoção”:** cenário de implementação rápida de VE.

Esses cenários são determinados por diferenças nos custos de aquisição dos veículos e na autonomia média dos veículos. Os custos de operação (custo dos combustíveis) e os custos de manutenção dos veículos foram considerados iguais para todos os cenários. As premissas de cada cenário desenvolvido para este estudo de caso são apresentadas na **Tabela 8** e na **Tabela 9**, tanto para o caso de VCI como no caso de VE.

Tabela 8. Hipóteses de evolução dos custos para veículos de combustão interna nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção

Custos	Cenário		
	BaU	Intermediário	Alta Adoção
Aquisição	▪ Estável entre 2020 e 2040.	▪ Estável entre 2020 e 2040.	▪ Estável entre 2020 e 2040.
Operação	▪ Aumento de 100% entre 2020 e 2040, seguindo a expectativa de aumento no preço dos combustíveis (preços correntes incluindo impostos, considerando o IPCA)	▪ Aumento de 100% entre 2020 e 2040, seguindo a expectativa de aumento no preço dos combustíveis (preços correntes incluindo impostos, considerando o IPCA)	▪ Aumento de 100% entre 2020 e 2040, seguindo a expectativa de aumento no preço dos combustíveis (preços correntes incluindo impostos, considerando o IPCA)
Manutenção	▪ Redução de 30% entre 2020 e 2040, de acordo com a tendência real observada entre 2000 e 2020.	▪ Redução de 30% entre 2020 e 2040, de acordo com a tendência real observada entre 2000 e 2020.	▪ Redução de 30% entre 2020 e 2040, de acordo com a tendência real observada entre 2000 e 2020.

Fonte: Elaboração própria

Tabela 9. Hipóteses de evolução dos custos para veículos elétricos nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção

Custos	Cenário		
	BaU	Intermediário	Alta Adoção
Aquisição	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de 0,5% ao ano entre 2020 e 2030; ▪ Redução de 0,2% ao ano entre 2030 e 2040; e ▪ Em relação a 2020, os custos são 10% menores em 2030 e são 15% menores em 2040. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de 1,0% ao ano entre 2020 e 2030; ▪ Redução de 0,3% ao ano entre 2030 e 2040; e ▪ Em relação a 2020, os custos são 15% menores em 2030 e são 12% menores em 2040. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de 1,5% ao ano entre 2020 e 2030; ▪ Redução de 0,5% ao ano entre 2030 e 2040; e ▪ Em relação a 2020, os custos são 20% menores em 2030 e são 25% menores em 2040.
Operação*	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de 4,8% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Aumento de 2,4% ao ano entre 2030 e 2040. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de 4,8% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Aumento de 2,4% ao ano entre 2030 e 2040. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de 4,8% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Aumento de 2,4% ao ano entre 2030 e 2040.
Manutenção**	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de 2% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Redução de 1% ao ano entre 2030 e 2040. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de 2% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Redução de 1% ao ano entre 2030 e 2040. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de 2% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Redução de 1% ao ano entre 2030 e 2040.
Autonomia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de 3% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Aumento de 1,5% ao ano entre 2030 e 2040. <p>Em relação a 2020 os custos com autonomia são 38% maiores em 2030 e 60% maiores em 2040.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de 4% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Aumento de 2,0% ao ano entre 2030 e 2040. <p>Em relação a 2020 os custos com autonomia são 55% maiores em 2030 e 90% maiores em 2040.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de 5% ao ano entre 2020 e 2030; e ▪ Aumento de 2,5% ao ano entre 2030 e 2040. <p>Em relação a 2020 os custos com autonomia são 70% maiores em 2030 e 120% maiores em 2040.</p>

Nota: * Aumento no custo de operação segue o aumento do custo da eletricidade observado no setor residencial entre 2010 e 2020; e ** Aumento no custo de manutenção segue o mesmo padrão observado para veículos de combustão interna. Em relação a 2020, os custos em 2030 são 20% menores e em 2040 um 30%.

Fonte: Elaboração própria

Com base nas hipóteses de evolução de custos de cada cenário, foram estimadas a participação dos VE na venda total de veículos novos e na frota circulante, através da aplicação do MTT para o estudo de caso. A **Figura 8** apresenta os resultados sobre a participação dos VE nas vendas de veículos no Sul do Brasil no período 2020 até 2040, enquanto a **Figura 9**, mostra os resultados sobre a penetração de VE na frota.

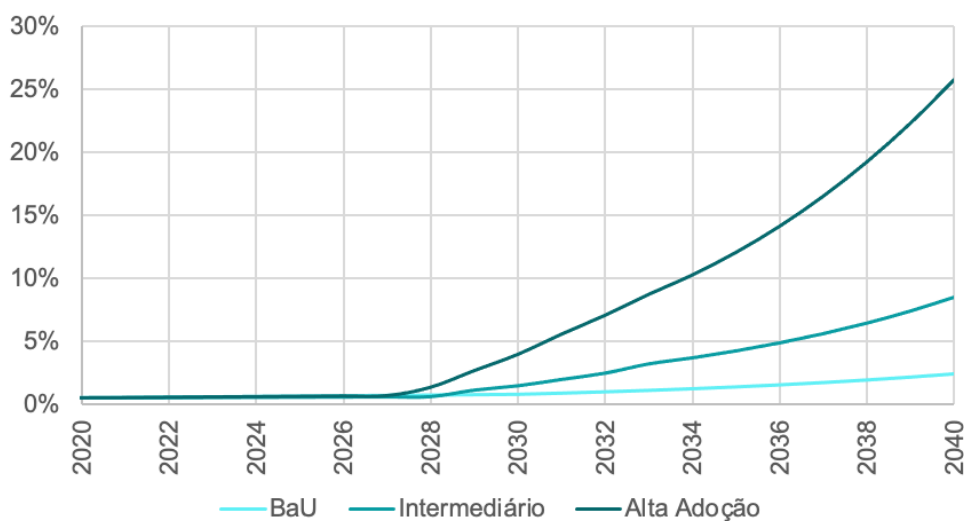


Figura 8. Evolução da participação de veículos elétricos nas vendas de veículos no Sul do Brasil no período 2020 até 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção

Fonte: Elaboração própria

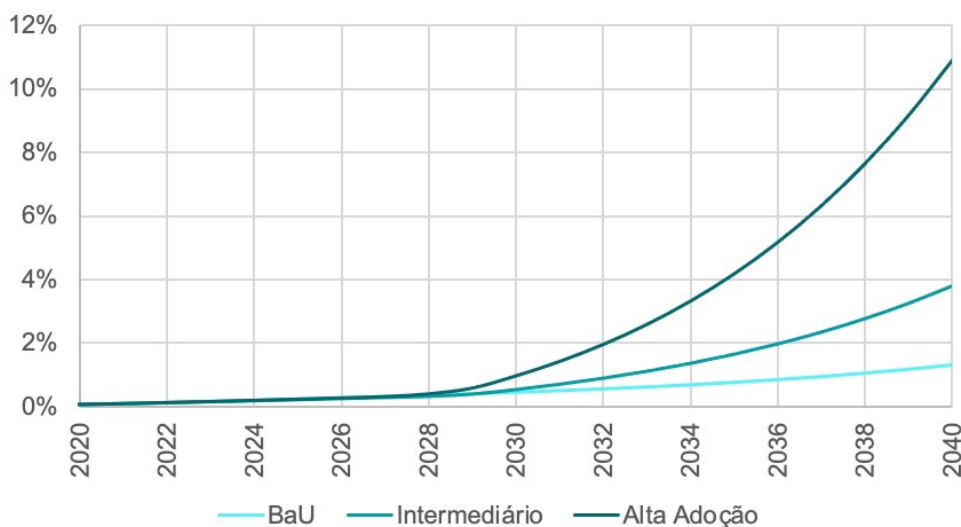


Figura 9. Evolução da participação de veículos elétricos na frota de veículos no Sul do Brasil no período 2020 até 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção

Fonte: Elaboração própria

A diferença dos resultados percentuais entre venda e frota podem ser mais bem percebidas na **Tabela 10**, para o ano 2030 e 2040. É possível observar pela tabela que no ano de 2030, a adoção de VE é relativamente pouco significativa, até mesmo no cenário Alta Adoção. Isso ocorre devido ao pico de vendas de veículos no período 2007-2012 conjuntamente com a queda nas vendas no ano 2015, que causaram alterações significativas na composição da frota, resultando em um período necessário para mudança de vendas de pelo menos 5 a 10 anos.

Contudo, no ano 2040 podem ser percebidas diferenças significativas na divisão da frota para os diferentes cenários. No cenário BaU, 1,3% da frota do Sul do Brasil é de VE, ao passo que, no cenário

Intermediário, esse valor sobe até 3,8 % e no cenário Alta adoção chega-se a um percentual de 10,9% de VE na frota de veículos.

Tabela 10. Participação de veículos elétricos nas vendas e na frota de veículos no Sul do Brasil nos anos 2030 e 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção

Cenário	2030		2040	
	% Vendas	% Frota	% Vendas	% Frota
BaU	0,8%	0,46%	2,4%	1,3%
Intermediário	2,1%	0,54%	8,5%	3,8%
Alta Adoção	5,4%	1,0%	25,8%	10,9%

Fonte: Elaboração própria

3.2.2. Análise da transferência tecnológica através do ponto de vista de poder de compra familiar nos estados do Sul do Brasil

Partindo da hipótese que as pessoas possuem um orçamento fixo para gastar com transporte privado rodoviário, foi analisado quantos domicílios no Sul do Brasil têm uma renda familiar suficiente para adquirir e manter um VE ao longo do período de análise. Esse número de domicílios representa o potencial de inserção de VE na região Sul do Brasil. Os principais dados utilizados nesta estimativa podem ser observados na **Tabela 11**.

Tabela 11. Principais parâmetros de entrada para Estimativa do Mercado Potencial de VE com base no poder de compra familiar no estudo de caso do Sul do Brasil

Entrada	Nível de desagregação geográfica	Período	Unidade de medida	Fonte
1 Evolução no custo anual de operação, manutenção e amortização por tipo de veículo	Brasil, estados da região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e municípios dos estados da região Sul	2010 a 2040	Milhares de R\$	Pesquisa de Mercado
2 Orçamento familiar para fins de mobilidade	Brasil, regiões e estados da região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul)	2017-2018	%	Pesquisa de orçamento Familiares – POF (2017-2018) (IBGE, 2020c)
3 Número de domicílios segundo classes de renda (rendimento mensal domiciliar)	Brasil e grandes regiões	2015	Número de domicílios	Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Contínua – PAND-C (IBGE, 2015, 2020d)
4 Projeções da população do país/região	Brasil	2020 a 2040	Número de domicílios	IBGE (2020f)
5 Evolução tendencial da renda	Brasil	2010 a 2020	%	(FGV, 2020)

Fonte: Elaboração própria

A estimativa sobre os diferentes custos de acordo com o tipo de veículos, para o período 2020 até 2040, é verificada na **Figura 10**. O custo de possuir um VE considerou a soma dos custos de amortização, de operação e manutenção anual do MTT. Portanto, o custo total anual relacionado a VE em 2020 é de R\$ 19.500. Já em 2040, segundo as premissas adotadas nos cenários, ele cai R\$ 18.000 (cenário BaU) e R\$ 16.000 (cenário Alta Adoção). Dessa maneira, quanto maior a penetração de VE ao longo do tempo, menor seu custo total,

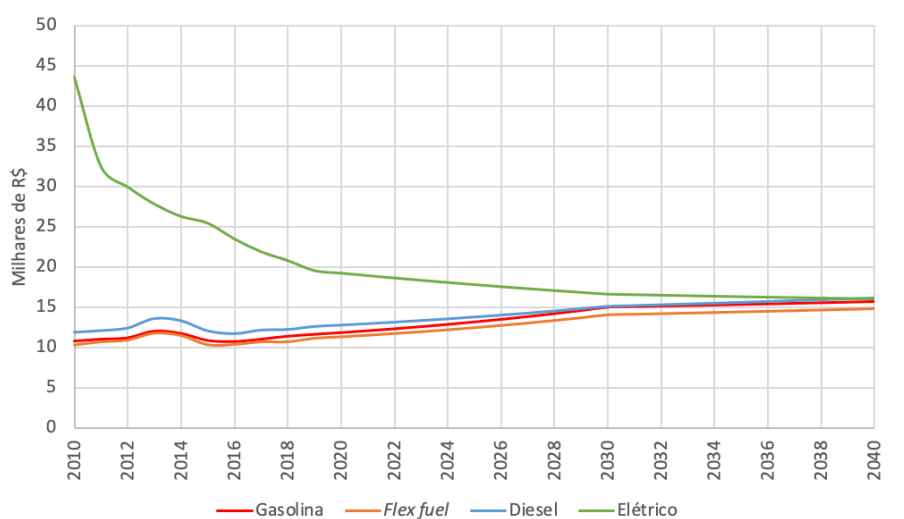


Figura 10. Estimativa de custo anual de manter um veículo por tipo de veículo no Brasil no período 2010 até 2040, no cenário de Alta Adoção (em milhares de R\$)

Fonte: Elaboração própria

Por outro lado, a **Figura 11** mostra o orçamento familiar para fins de gastos com transporte privado rodoviário de acordo com diferentes classes de renda. Percebe-se pela figura que as famílias nas classes de renda mais baixa, gastam um percentual menor de seu orçamento em mobilidade, devido seu orçamento restrito. Já as famílias que ganham entre R\$ 5.724 a R\$ 9.540, são as que destinam maior percentual de suas despesas para mobilidade, nos três estados do Sul analisados. O Paraná é o Estado que mais gasta com mobilidade em quase todas as classes de renda.

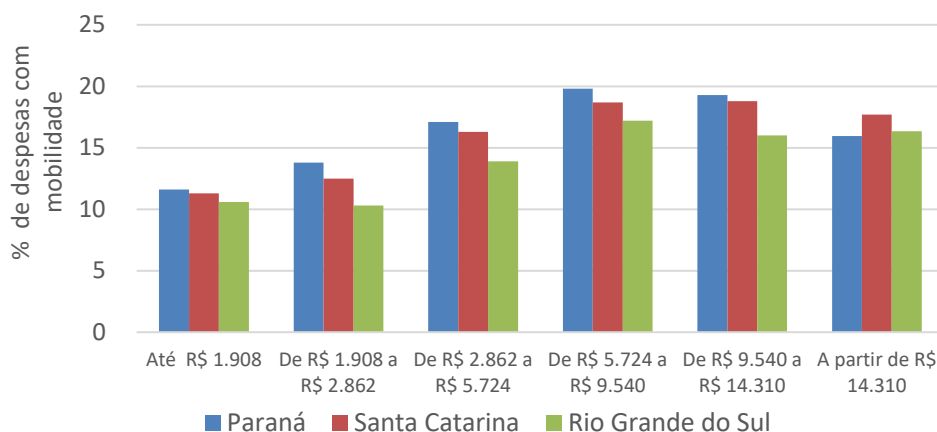


Figura 11. Despesa média mensal familiar destinada gastar com transporte privado rodoviário, por estrato de renda, nos estados da região Sul do Brasil no período 2017-2018 (%)

Nota: O dado considera a despesa monetária e não monetária.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da POF (2017-2018) (IBGE, 2020c)

Em paralelo, a **Tabela 12** mostra a distribuição de domicílio brasileiros por diferentes níveis de renda, expressado em salários-mínimos (s.m.) para o Brasil e grandes regiões. Esta distribuição é utilizada para identificar a quantidade de famílias na região sul com renda suficiente para ter acesso à eletromobilidade, de acordo com a metodologia utilizada.

Tabela 12. Domicílios particulares no Brasil e por Grandes Regiões segundo as classes de rendimento mensal domiciliar no ano de 2015 (em %)

Classes de rendimento mensal domiciliar	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Sem rendimento	0,6	0,3	0,3	0,8	0,6	1,0
Até 1 s.m.	14,1	19,4	26,4	8,9	7,9	9,2
Mais de 1 a 2 s.m.	24,0	10,9	31,3	20,4	19,5	21,4
Mais de 2 a 3 s.m.	17,7	17,9	17,4	17,9	17,3	17,6
Mais de 3 a 5 s.m.	19,9	16,3	12,9	22,9	24,3	22,0
Mais de 5 a 10 s.m.	14,6	9,9	7,2	17,5	19,9	17,6
Mais de 10 a 20 s.m.	5,0	3,1	2,4	6,1	6,5	6,7
Mais de 20 s.m.	1,8	1,0	0,8	2,3	2,0	3,0

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PNAD-C (IBGE, 2015; 2020d)

Além disso, considerou-se que o número total de domicílios na região Sul incrementará 8,7% entre 2020 e 2040, com base nos dados do IBGE (2020f). Adicionalmente, com base nas projeções da FGV (2020), foi considerado que classes de renda altas (mais de 8 s.m. – classes A e B) e médias (entre 2 e 8 s.m. – classe C) vão incrementar sua participação na população da região Sul em 2% e 4% no mesmo período, respetivamente. Ao passo que as classes de renda baixa (menos de 2 s.m. – classes D e E) terão sua participação reduzida em 6% entre 2020 e 2040.

Por fim, a **Tabela 13** apresenta os principais resultados relacionados a abordagem com base no poder de compra familiar disponível. É possível perceber pelos resultados, que o cenário Alta Adoção é o que apresenta melhores estimativas para a inserção de VE no Sul do Brasil, como já era esperado. Neste caso, o custo total (amortização, operação e manutenção) do VE é estimado no valor de R\$ 16.046. Por conseguinte, para arcar com esse custo a família necessitaria de uma renda domiciliar líquida de R\$ 80.230, sendo pertencente a classe de renda de 8 s.m. Como resultado, 15,07% dos domicílios no Sul do Brasil teriam acesso a VE, o que corresponde a uma frota de cerca de 1,7 milhões de VE na região.

Tabela 13. Principais resultados da estimativa de mercado potencial de VE com base no poder de compra familiar para o Sul do Brasil no ano 2020 e no ano de 2040, nos cenários BaU e Alta Adoção.

	2020	2040 (BaU)	2040 (Alta Adoção)
Custo Anual total* com VE	R\$ 19.555	R\$ 18.086	R\$ 16.046
Percentual da despesa líquida total destinada a mobilidade	20%	20%	20%
Renda Anual domiciliar líquida mínima destinada ao VE	R\$ 97.775	R\$ 90.430	R\$ 80.230
Renda Anual domiciliar bruta mínima destinada ao VE	R\$ 120.472	R\$ 110.342	R\$ 96.271
Nível salarial correspondente (s.m.) para ter um VE	10 s.m.	9 s.m.	8 s.m.
Porcentagem de domicílios passíveis de ter acesso a um VE	8,6 %	12,3%	15,07%
Mercado potencial máximo (número de VE)	937.842	1.446.414	1.775.901

Nota: VE= veículos elétricos; s.m. = salários-mínimos; e *Engloba os custos de amortização, operação e manutenção.

Fonte: Elaboração própria

3.3. Estimativa da demanda elétrica veicular potencial dos estados do Sul do Brasil

Para estimar a demanda elétrica veicular potencial para o Sul do Brasil, é preciso primeiro aplicar a porcentagem já estimada da frota de VE para cada um dos três cenários elaborados. Assim, é possível calcular a quilometragem veicular percorrida da frota de veículos leves transferidos para a tecnologia elétrica. Neste estudo de caso, adota-se a hipótese que as viagens não mudarão de padrão ao trocar de um VCI para um VE (mesma quilometragem anual, mesma percurso médio). A **Tabela 14**

apresenta tais resultados. Quanto mais otimista o cenário em relação a penetração de VE, maior é a quilometragem veicular percorrida, sendo o maior valor estimado igual a 25.495 vkm, para 2040 no cenário Alta Adoção.

Tabela 14. Distância percorrida dos veículos leves transferidos para a tecnologia elétrica no Sul do Brasil para os anos 2030 e 2040 (em milhões vkm)

Cenário	2030		2040	
	Frota elétrica	Quilometragem veicular percorrida	Frota elétrica	Quilometragem veicular percorrida
BaU	0,46%	639	1,3%	3.048
Intermediário	0,54%	764	3,8%	8.914
Alta adoção	1,0%	1.366	10,9%	25.495

Fonte: Elaboração própria

Posteriormente, é aplicada a eficiência do VE, no valor de 16,3 km/kWh¹¹, sobre quilometragem veicular percorrida dos veículos que passam para a tecnologia elétrica, para obter o consumo total de energia elétrica veicular na região Sul do Brasil. Os resultados para o consumo de energia elétrica veicular para cada um dos cenários nos anos 2030 e 2040 são vistos na **Tabela 15**.

O cenário BaU, como esperado devido sua narrativa, apresenta o menor consumo elétrico veicular com 628 GWh no ano de 2040, enquanto o cenário Alta Adoção tem o maior consumo, cerca de oito vezes maior, igual a 5.250 GWh em 2040 – o que equivaleria a aproximadamente 1% da demanda de energia elétrica do Brasil ou à 80% da geração solar fotovoltaica total do país em 2019 (EPE, 2022). Ademais, 5.250 GWh também seria o equivalente necessário para abastecer a demanda de eletricidade dos estados de Roraima e do Amapá juntos em 2021 (EPE, 2022).

Tabela 15. Consumo de energia elétrica de VE no Sul do Brasil no ano 2030 e no ano de 2040 para o cenário BaU, Intermediário e Alta Adoção (em GWh/ano)

Cenário	2030	2040
BaU	126	628
Intermediário	150	1.836
Alta adoção	269	5.250

Nota: O consumo elétrico veicular apresentado considera VE.

Fonte: Elaboração própria

É importante destacar que os resultados apresentados anteriormente são referentes a VE. Outras categorias de veículos, como as motocicletas, caminhões e ônibus, não fizeram parte destes resultados. Enquanto algumas dessas categorias ainda possuem incertezas tecnológicas importantes, outras, já são consideradas promissoras no mercado elétrico veicular.

3.4. Desagregação espacial da demanda elétrica veicular

Primeiramente, é importante destacar que, no caso do estudo do Brasil, como os maiores consumidores de combustíveis veiculares se encontram na costa brasileira e no interior da região Norte do país, tanto para 2030 como para 2040, o valor do consumo de combustíveis veiculares muda, mas a distribuição espacial deste consumo pouco muda, sendo impactada sim, pelas projeções de PIB e renda.

¹¹ Os futuros ganhos de eficiência das baterias é uma variável de grande incerteza. Desta forma, este estudo assumiu eficiência constante de forma a obter uma estimativa mais conservadora.

As seções a seguir apresentam os resultados da espacialização da demanda por microrregiões do Sul do Brasil. Primeiramente são apresentados os resultados do método de desagregação proporcional ao consumo de combustíveis. Em seguida os resultados do método de desagregação proporcional a renda e por fim, os resultados finais desagregados por microrregiões a partir da aplicação do MED para o estudo de caso do Sul do Brasil.

3.4.1. Critério custo da mobilidade

A primeira estimativa da distribuição da demanda elétrica veicular por microrregiões assume que esta será diretamente proporcional ao consumo de combustíveis de cada microrregião do Sul do Brasil. Para as projeções futuras da espacialização da demanda de combustível, foi assumido que os padrões territoriais irão se manter estáveis e que os crescimentos dos diferentes territórios seguirão todos as mesmas proporções relativas. Por conseguinte, o consumo veicular de eletricidade estimado por microrregião do Sul do Brasil para o ano de 2040, para os três cenários de análise, pode ser visualizado na **Figura 12**.

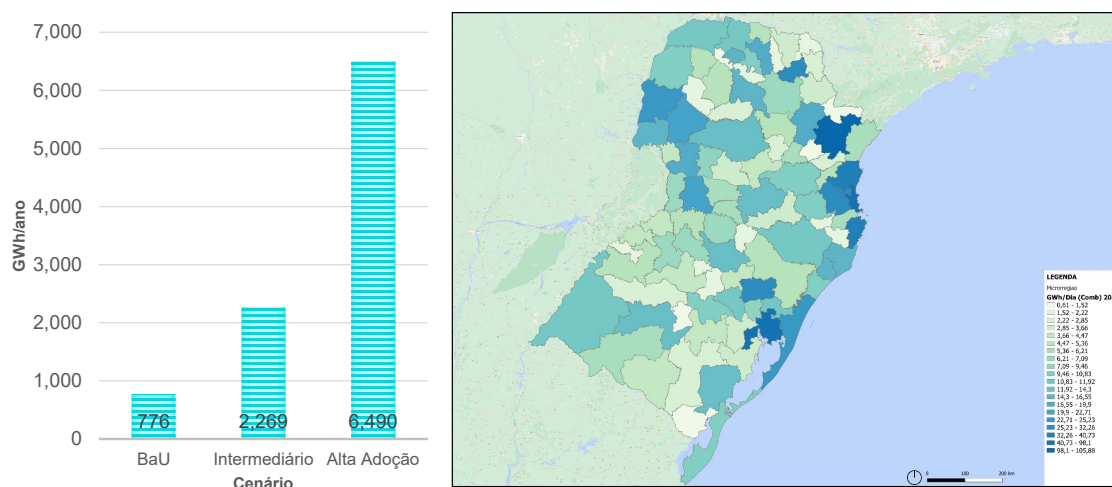


Figura 12. Demanda elétrica veicular por microrregiões do do Sul do Brasil em 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção (em GWh/ano) – Figura destaca cenário de Alta adoção.

Fonte: Elaboração própria

3.4.2. Critério poder de compra familiar

Para a espacialização da demanda com base na renda familiar disponível, foram extraídos os dados da distribuição da renda domiciliar per capita por setor censitário nos estados do Sul do Brasil, a partir do CENSO (2010).

A distribuição de domicílios por renda foi segmentada em salários-mínimos e projetada para os anos 2020 e 2040 a partir da projeção da população (IBGE, 2020f) para cada Estado e o aumento das rendas (FGV, 2020).

Para a espacialização da demanda com base na renda familiar disponível, dados sobre valor estimado de salários-mínimos necessários para arcar com um VE são cruzados com a distribuição de domicílios por renda (em s.m.) para cada setor censitário dos estados do Sul do Brasil, com base em CENSO (2010). O resultado desse procedimento é o número de domicílios totais na região Sul por setor censitário com uma renda suficiente para manter um VE. Por consequência, a **Figura 13** mostra o número de domicílios com capacidade de adquirir e manter um VE no cenário Alta Adoção em 2020 (mais de 10 s.m.) e no ano 2040 (mais 9 s.m.).

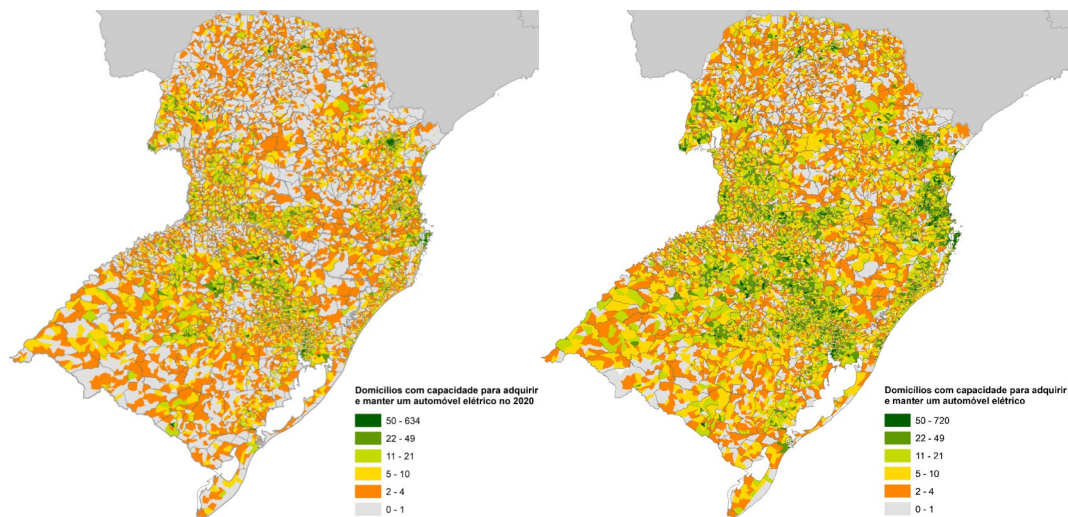


Figura 13. Domicílios com capacidade de adquirir e manter um veículo elétrico por microrregiões do Sul do Brasil no cenário Alta Adoção, para o ano de 2020 (esquerda) e o ano de 2040 (direita)

Fonte: *Elaboração própria.*

3.4.3. Resultados da Espacialização da Demanda

Os resultados agregados por estado da região Sul do Brasil já determinados na **Seção 3.3**, são desagregados e especializados em microrregiões utilizando-se uma ponderação entre critérios custo de mobilidade e poder de compra. Adotou-se a mesma importância para os dois critérios. Assim, a demanda de energia elétrica total por cada estado do Sul se reparte em 50% proporcionalmente ao critério de demanda de mobilidade das microrregiões e em mais um 50% proporcionalmente ao critério da renda destinada ao transporte.

Na **Figura 14**, é possível comparar a projeção de demanda por energia elétrica veicular para o cenário Alta Adoção para o ano de 2040. É possível perceber através da espacialização por microrregiões, que a demanda de eletricidade para carregamento de VE está mais concentrada nas capitais dos estados do Sul e nas microrregiões litorâneas.

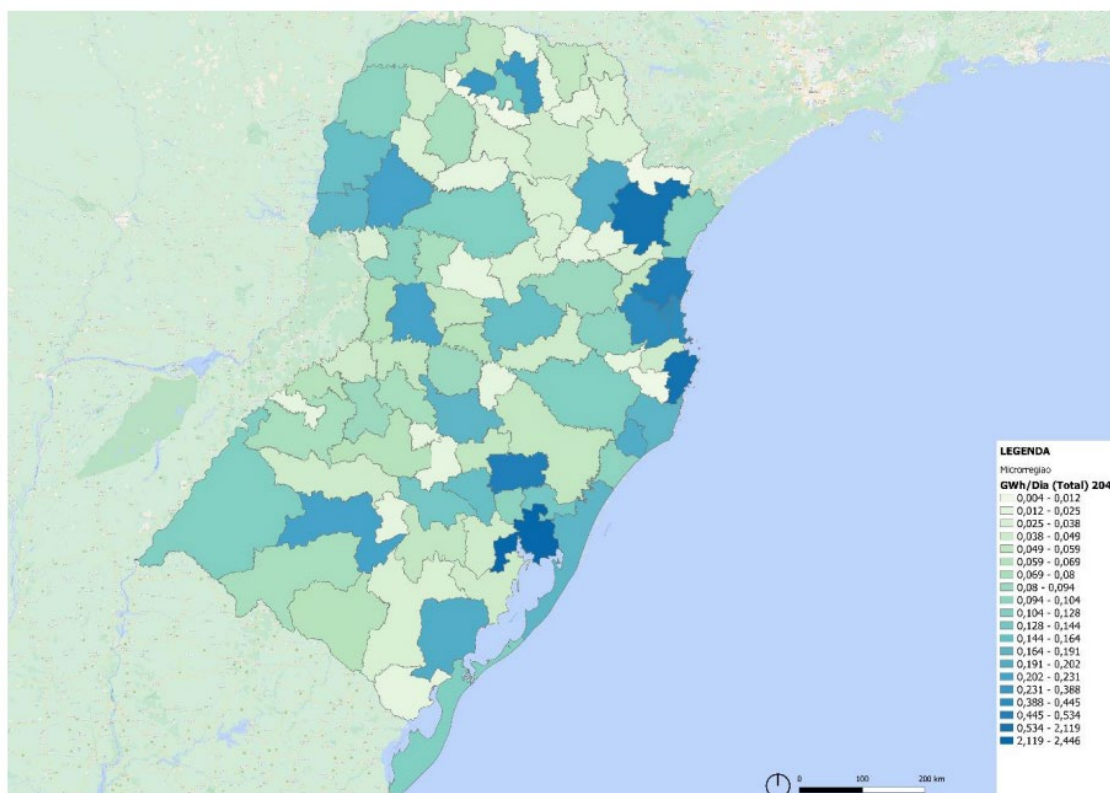


Figura 14. Demanda elétrica veicular por microrregiões do Sul do Brasil em 2040, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção (em GWh/ano)

Fonte: Elaboração própria

4. Desdobramentos do estudo de caso

A aplicação da estrutura analítica proposta no estudo de caso do Brasil apresenta potenciais desdobramentos. A estimativa da demanda potencial de energia para VE por microrregiões do Sul do país, realizada na **Seção 3**, permite melhorar nossa compreensão acerca dos impactos da inserção de VE e de estações de recarga na rede de distribuição elétrica brasileira e, conseqüentemente, investimentos necessários em infraestrutura.

Além disso, é também possível analisar a possibilidade de conexão do Sul do Brasil com países vizinhos próximos, como a Argentina, Paraguai e o Uruguai – através de um corredor elétrico. No entanto, primeiramente se faz necessária uma análise sobre a distribuição horária dessa demanda elétrica veicular estimada. Uma análise do perfil de carga é fundamental para verificar o momento deste consumo elétrico concentrado, o que pode depender de vários fatores que vão além do simples consumo de energia. Avaliar estas demandas críticas é primordial, pois elas definirão a necessidade de reforços ou expansão na rede elétrica.

4.1. Distribuição horária da demanda elétrica veicular

As estações de recarga de VE se caracterizam como um novo tipo de consumidor a ser conectado à rede de distribuição de energia elétrica. Desta forma, a inclusão deste novo consumidor na rede irá demandar mais eletricidade do sistema e possivelmente também irá requerer reforços em infraestrutura para atender o possível aumento de potência em algumas microrregiões específicas e em determinadas horas do dia.

Neste estudo, foram consideradas estações de recarga de 350 kW pico. A potência de estação de recarga varia de acordo com a quantidade de veículos que recargam suas baterias ao mesmo tempo. Todavia, estimou-se que a recarga de cada veículo levaria em média 30 minutos e potência máxima de 50 kW pico.

Para a identificação das necessidades de reforço nas redes elétricas de abastecimento de energia elétrica veicular no Brasil, as estimativas de projeção da demanda total anual por microrregiões dos estados da região Sul do país, foram distribuídas ao longo das 24 horas/dia. Isso é necessário para identificar os períodos de pico de consumo ao longo do dia, que servirão como referencial para dimensionamento do fornecimento de energia elétrica veicular para cada cenário de implementação de VE elaborado e período considerados nesse estudo.

É de se esperar que o impacto da inserção de VE seja absorvido de forma diferente em ambiente urbano e rodoviário. No ambiente urbano, diferentemente do abastecimento de combustíveis para VCI, a propulsão elétrica possibilita uma descentralização dos locais de recarga, permitindo que os VE sejam abastecidos em diferentes locais de carga (e.g. domicílios, trabalho, shopping ou estacionamento). Por outro lado, no ambiente rodoviário a recarga ocorre durante a viagem em moldes similares ao abastecimento de combustíveis de VCI. Dessa forma, optou-se por adotar curvas distintas de distribuição horária da demanda por energia elétrica para uso urbano e uso rodoviário. Ambas as premissas distributivas são apresentadas em detalhes no **Anexo D**.

Aplicando as premissas adotadas neste estudo de caso para a distribuição horária às projeções de consumo de eletricidade veicular para os anos de 2030 e 2040, foram obtidas as tabelas de distribuição horária do consumo elétrico veicular por microrregião dos estados da região Sul do Brasil. Na **Figura 15** são apresentados dois exemplos de distribuição horária de consumo elétrico de microrregiões com diferentes padrões de mobilidade. Um exemplo com uma mobilidade principalmente urbana, representado por Curitiba, e um exemplo que corresponde ao interior da região Sul, com menor porte urbano, resultando em uma mobilidade interurbana (rodoviária) significativamente mais forte – o exemplo de Lajeado-Estrela.

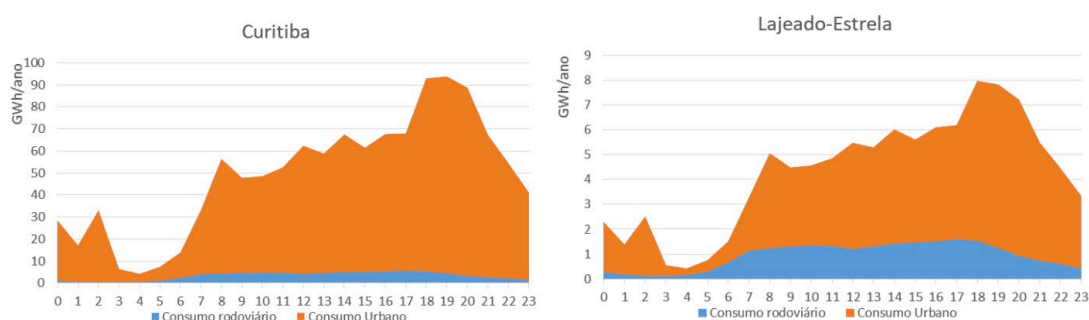


Figura 15. Distribuição horária de consumo elétrico veicular rodoviário e urbano, na microrregião de Curitiba e Lajeado-Estrela (em GWh/ano)

Fonte: Elaboração própria

4.2. Impactos da demanda elétrica veicular na rede de distribuição elétrica

A partir da necessidade de energia e capacidade para carregamento de VE, é possível avaliar se o sistema elétrico brasileiro (geração, transmissão e distribuição) é suficiente para absorver esse impacto e, posteriormente, quanto de investimento é necessário para acomodar a inclusão de VE.

Desta forma, considerando a demanda horária urbana e rodoviária de energia para carregamento de VE, foi estimada a demanda prevista de VE para os três cenários de implementação de VE elaborados para este estudo de caso (BaU, Intermediário e Alta adoção)¹². Os resultados da estimativa podem ser vistos na **Tabela 16**.

A tabela indica que a demanda de eletricidade prevista para VE não é significativa quando comparada a demanda total para o ano 2040. A participação dos VE na demanda elétrica do Sul do Brasil alcança

¹² Com a demanda de energia elétrica prevista para o carregamento, utilizou-se um fator de carga aproximado de 0,51.

a proporção máxima de 5,10% (ou 1.066 MWmed) no cenário Alta Adoção em 2040, sendo apenas de 0,68% no cenário BaU. Em relação a carga, os resultados são similares, sendo a parcela de VE equivalente a 0,85% da carga total no cenário BaU em 2040 e subindo para 6,34% (ou 2.086 MW) no cenário de Alta Adoção.

Tabela 16. Demanda de energia elétrica (MWmed) e influência da carga (MW) de veículos elétricos no sistema elétrico brasileiro de acordo com diferentes previsões para o ano 2020 e 2040

Cenário/Atual	Ano	Unidade de medida	Sem VE	Demanda/Carga dos VE	Parcela do VE
Atual	2020	MWmed	13.000	-	-
		MW	20.889	-	-
BaU	2040	MWmed	17.857	122	0,68%
		MW	28.087	240	0,85%
Alta Adoção	2040	MWmed	20.889	1.066	5,10%
		MW	32.856	2.086	6,34%

Fonte: Elaboração própria

Em termos de transmissão de energia, este valor corresponde a menos que a capacidade de duas linhas de transmissão em 500 kV. Em geral o SIL (*Surge Impedance Load*) de uma linha de 500 kV é de 1000 MW¹³.

Este acréscimo na demanda pode ser acomodado pelo sistema de geração através de inclusão nos leilões de compra da distribuidora que ocorrem no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou na compra direta no mercado livre no Ambiente de Contratação Livre (ACL)¹⁴. Em função do tamanho do montante, é possível também utilizar a geração distribuída (GD) do tipo fotovoltaica onde o carregamento pode se dar diretamente quando da incidência da luz solar ou através de sistemas de armazenamento apropriados.

Desta forma, pode-se concluir que o maior impacto não vai estar nem na geração e nem na transmissão de energia elétrica do sistema elétrico brasileiro. O impacto maior será na rede de distribuição, pois ela é mais sensível a estas variações de potência, principalmente a rede de baixa tensão (BT). Isso, pois o carregamento de VE nas residências utilizam essas redes de BT que podem não estar adequadas a esta demanda. No caso de carregamento em eletropostos, em garagens de edifícios ou pontos comerciais, o consumo será aplicado nas redes de média tensão (MT) que também deverão ser adaptadas para este fim.

Assim, sendo o maior impacto de VE esperado nas redes das distribuidoras, primordialmente nas redes MT e BT, seria interessante avaliar esse impacto em termos de investimento nestas redes. O passo a passo para a estimativa de investimentos na rede é descrito a seguir.

4.3. Investimentos necessários da rede elétrica

Para estimar os investimentos necessários para expansão na rede de distribuição – com o objetivo de acomodar VE – foram adotadas as seguintes premissas:

¹³ O SIL da linha é o valor ideal de capacidade onde a potência capacitiva se iguala à potência reativa natural, ou seja, é o ponto ideal de operação. Caso queira trabalhar com capacidade maior é necessário dispor de compensação reativa.

¹⁴ No ACL, com o fechamento do contrato de compra e venda entre o consumidor e o gerador de energia, há a necessidade de pagamento do transporte, ou a Tarifa de Uso da Rede de Transmissão (TUST) ou a Tarifa de Uso da Rede de Distribuição (TUSD) em função da rede elétrica que ambos estão conectados. É necessário que exista capacidade suficiente para atender ao fluxo resultante desta transação.

- a) Foram utilizados os custos médios por nível de tensão da COPEL (Companhia Paranaense de Energia) estabelecidos na última revisão tarifária. Para mais detalhes sobre os cálculos dos custos e valores, ver **Anexo E**. Ademais, é possível atualizar estes valores para cada área de concessão.
- b) Tanto para o carregamento urbano como para o rodoviário foi definido que a ponta do carregamento ocorre de forma coincidente com a ponta de utilização da rede de distribuição, representando assim o cenário de maior demanda possível que a rede pode vir a necessitar. Esta estratégia é importante uma vez que caracteriza um caso extremo, de forma a estimar o maior investimento possível para futuro reforços na rede. É importante ainda ressaltar que cada distribuidora tem suas próprias características quanto às curvas de cargas típicas que deverão ser utilizadas para definir a responsabilidade consumidor-tipo (no caso carregamento de VE) com rede-tipo.
- c) Não foi considerada nenhuma ação do usuário do VE no momento de carregamento buscando otimizar o seu custo, ou seja, não foi utilizado nenhum sinal econômico para deslocamento do momento de carregamento, ou sistemas de coordenação de carga (que podem ser automatizados).
- d) Para o carregamento urbano, foi considerado que ele ocorre no nível BT em sua totalidade. Já para o carregamento rodoviário, foi considerado que ele ocorre apenas utilizando o nível MT. Em ambos os casos, foram agregados os custos dos níveis de tensão, a montante até a Rede Básica.

Com base nessas premissas e considerando uma extrapolação dos casos individuais para um modelo agregado, a **Tabela 17** apresenta os custos médios anuais de expansão e reforço da rede para acomodar VE de acordo com os três cenários elaborados, para os três estados do Sul do Brasil. Vemos que os custos de expansão e de reforço da rede para acomodar VE até 2040 podem variar do mínimo estimado de R\$ 35,7 milhões em Santa Catarina no cenário BaU até o valor estimado máximo de R\$ 426,7 milhões no Paraná no cenário Alta Adoção.

Tabela 17. Custos de expansão e reforço da rede para acomodar VE nos estados do Sul do Brasil, nos cenários BaU, Intermediário e Alta Adoção até 2040 (mi R\$)

Estado	Cenário	Custo da rede (mi R\$)
Paraná	BaU	51,0
	Intermediário	149,1
	Alta Adoção	426,7
Santa Catarina	BaU	35,7
	Intermediário	104,5
	Alta Adoção	298,8
Rio Grande do Sul	BaU	50,4
	Intermediário	147,5
	Alta Adoção	421,8

Nota: R\$ em valores de 2016.

Fonte: Elaboração própria com base em NT ANEEL 219/16

Com o objetivo de estimar a ordem de magnitude, é interessante tomar como base de comparação os investimentos em redes de distribuição da COPEL, distribuidora atuante no Paraná, no ano de 2021. A distribuidora do Paraná no ano de 2021 previa investir 1,2 bilhão de reais no reforço e

modernização das redes de distribuição¹⁵. Desta forma, os custos de expansão e reforço da rede para acomodar VE dos diferentes cenários traçados para o Estado do Paraná neste estudo corresponderiam entre 4,3% e 35,6% dos investimentos previstos pela companhia no ano de 2021.

4.4. Possibilidade de um corredor elétrico conectando o Sul do Brasil a países vizinhos

De acordo com dados do PNUMA (2020), em 2019, o Brasil contava com um corredor elétrico de 434 km com 6 centros de recarga, conectando os estados de Rio de Janeiro e São Paulo. Os países vizinhos do Cone Sul (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai) também já apresentavam investimentos em corredores elétricos. Uruguai, primeiro país de ALC a instalar um corredor elétrico em seu território, hoje conta com aproximadamente 30 postos de recarga semirrápida (PNUMA, 2020). Argentina apresenta hoje um corredor de 212 km na província de San Luís (PNUMA, 2020).

Já em termos de instrumentos para promoção da mobilidade elétrica, todos os quatro países do Cone Sul têm apresentado avanços. Ademais, além dos quatro países apresentarem hoje isenção ou redução de impostos para a importação de carros elétricos, estes já se encontram também discutindo e desenhando sua estratégia nacional de mobilidade elétrica. Além disso, os países do Cone Sul também vêm discutindo ou implementando alguns incentivos adicionais de uso e circulação de carros elétricos. O Uruguai já prevê incentivos a carros elétricos sobre o imposto de propriedade/circulação do veículo, e o Brasil já apresenta regulação para centros de carga de carros elétricos (PNUMA, 2020).

Estes investimentos somados aos avanços na implementação de instrumentos para promoção da mobilidade elétrica, demonstram o interesse dos países em desenvolver a eletromobilidade em seus territórios. Desta forma, a possibilidade de construção de um corredor elétrico conectando o Brasil a seus países vizinhos da América do Sul (Uruguai, Paraguai e Argentina) se mostra como um investimento em potencial que pode trazer benefícios significativos para a região do Cone Sul.

Ainda, em 2019, Comissão de Integração Energética Regional (CIER) lançou dois grupos de trabalho sobre eletromobilidade tendo um o objetivo específico de estudar a integração do Cone Sul (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai) por meio de corredores elétricos, do qual é importante ressaltar o Projeto Eletrovia Paranaguá e Foz do Iguaçu¹⁶ (ambas cidades no Estado do Paraná no Brasil). Estas iniciativas foram estabelecidas para promover estudos e planos de implementação da integração destes países por meio de corredores elétricos, ou seja, equipando as rodovias ou estradas que interconectam os países dessa sub-região com estações de recarga para VE e instalando infraestrutura de suporte aos veículos. O objetivo inicial é promover a interconexão entre as capitais dos países e os estados do Sul do Brasil.

No Paraguai foi inaugurada a primeira Via Verde da América do Sul. O projeto foi promovido e implementado pelo Parque Tecnológico de Itaipú (PTI). Nesta primeira fase foram instalados quatro eletropostos entre sua capital (*Asunción*) e a fronteira com Brasil (*Ciudad del Este*). A ideia por trás da rota é promover viagens mais longas com acesso mais fácil às estações de carregamento, reduzindo a poluição ambiental. O PTI firmou um convênio com a Administração Nacional de Eletricidade (ANDE), onde o ANDE concorda em reduzir a taxa dos custos de recarga de VE (BNAmericas, 2019).

Até final de 2021, não existia ainda um cadastro oficial público de todos os eletropostos distribuídos pelo Brasil, mas com a nova Regulamentação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), está sendo requisitado dados dos tipos de eletropostos e localidade para posterior controle e divulgação. Não obstante, a **Figura 16** mostra a distribuição de eletropostos na região Sul do Brasil,

¹⁵ Informação disponível no site da distribuidora COPEL. <https://www.copel.com/hpcweb/investimentos-2021-2/>

¹⁶ <https://hub.cier.org/es-uy/Paginas/ProductDetail.aspx?ProductID=https://www.cier.org/es-uy/lists/ponencias/proyecto%20electrov%C3%ADa%20paranagu%C3%A1%20y%20foz%20do%20igua%C3%A7u.pptx/>

Uruguai e Paraguai identificada no âmbito deste projeto, complementando a informação disponibilizada por PNUMA (2020).

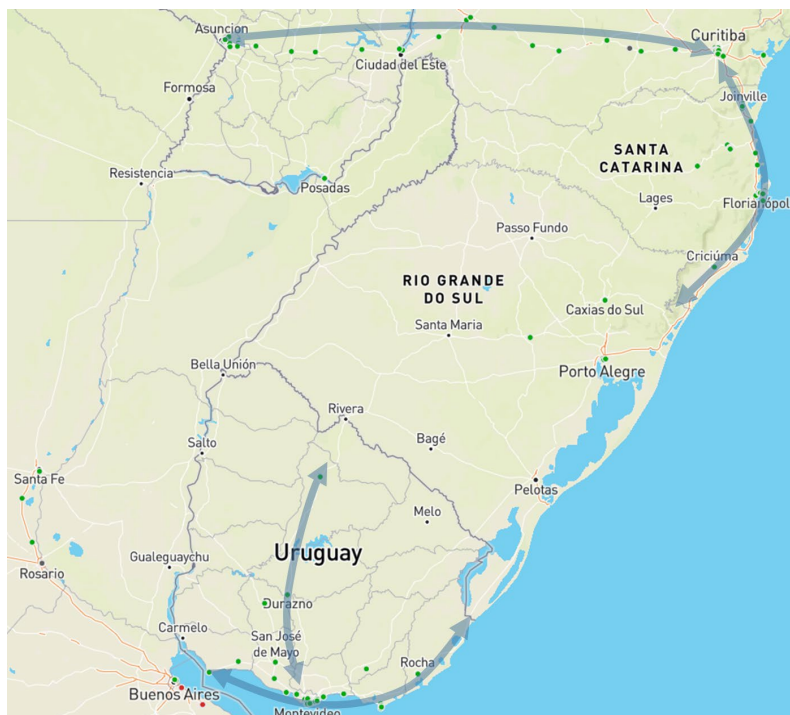


Figura 16. Rede de eletropostos (pontos verdes) no Sul do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai

Fonte: Electromaps (2020)

Tabela 18 apresenta as tipologias de eletropostos atualmente em serviço e sua distribuição geográfica.

Tabela 18. Tipologia de eletropostos atualmente em serviço e sua distribuição geográfica nos Estados do Sul do Brasil e nos países vizinho, Argentina, Paraguai e Uruguai

Local	Conectores	Carregamentos Simultâneas	Distribuição dos eletropostos
Paraná (COPEL)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo 2 - 22 e 50.00 kW ▪ CHAdEMO - 50.00kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dois carregamentos simultâneos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rota Norte conectando Paraná (Curitiba) com Paraguai (Asunción) ▪ Concentração em Curitiba
Santa Catarina (Celesc)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo 2 - 21 e 50.00 kW ▪ CHAdEMO - 50.00kW ▪ NBR 14136 – 4,4 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dois carregamentos simultâneos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rota costeira conectando Paraná com Rio Grande do Sul ▪ Concentração em Joinville e Florianópolis
Rio Grande do Sul	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo 2 – 22 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Um carregamento simultâneo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentração em Porto Alegre
Paraguai	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo 2 – 7, 22 e 43 kW ▪ CHAdEMO - 50.00kW ▪ Schuko 3,3 – 3,7 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Um carregamento simultâneo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rota Norte conectando Paraguai (Asunción) com Brasil (Curitiba - PR)
Uruguai	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo 2 – 22 e 43 kW ▪ Schuko 2,5 – 3,7 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Um carregamento simultâneo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rota Sul conectando <i>Colonia del Sacramento</i> (Paraguai) com <i>Chui</i> (Brasil) ▪ Rota Central conectando Montevideo com Tacuarembó ▪ Concentração em Montevideo
Argentina	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo 2 – 22 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Um carregamento simultâneo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentração em Buenos Aires

Fonte: Elaboração própria

Em geral, pode-se observar que os conectores mais adotados são os Tipo 2, populares na Europa, eles estão presentes em todos os três estados do Sul do Brasil, assim como na Argentina, no Paraguai e no Uruguai. O segundo conector mais presente, principalmente nos eletropostos do Paraná e Santa Catarina, é do tipo CHAdeMO, muito utilizados no Japão. Além disso, a implantação de conectores do tipo CHAdeMO está prevista nos novos projetos de Paraguai, país que já possui um eletroposto com conector deste tipo.

Por fim, pode-se concluir que existe uma compatibilidade entre as diferentes regiões que tem como denominador comum o conector Tipo 2, e em um futuro o conector CHAdeMO. Esta compatibilidade melhora a atratividade dos corredores elétricos entre países já existentes (Paraná-Paraguai) e os futuros (Rio Grande do Sul – Uruguai). Assim como a atratividade de se implementar o corredor elétrico conectando os estados do Sul do Brasil à países vizinhos (Argentina, Paraguai e Uruguai).

5. Elementos para discussão

O presente estudo propõe uma estrutura analítica para estimar a demanda potencial de energia para veículos elétricos (VE), e traz os principais resultados da sua aplicação para um estudo de caso para região sul do Brasil – composta pelos estados de Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Além disso, o presente estudo traz uma discussão acerca de como o possível avanço dos carros elétricos poderia impactar a curva de carga e a demanda de investimento em reforços na rede de distribuição elétrica na região Sul do Brasil, bem como a construção de um corredor elétrico conectando o Sul do Brasil aos países vizinhos poderia trazer benefícios para a região do Cone Sul.

A estrutura analítica é composta por quatro etapas: (i) estimativa do consumo de combustíveis por VCI; (ii) estimativa do mercado potencial de carros elétricos; (iii) estimativa do consumo de eletricidade do mercado potencial de carros elétricos; e (iv) desagregação do mercado potencial e respectiva demanda elétrica por microrregiões (se possível e se for de interesse do estudo).

Adicionalmente, para a análise dos resultados do estudo de caso, foram desenvolvidos três cenários de implementação de VE no Sul do país - um cenário de implantação lenta de VE (*Business as Usual* - BaU), um cenário de implantação moderada (Intermediário), e um cenário de implantação rápida (Alta Adoção).

Primeiro, focando no cenário mais conservador, o BaU, o custo total (amortização, operação e manutenção) de um VE estaria estimado no valor de R\$ 18.086, o que significaria que uma família passível de ter um VE necessitaria de uma renda domiciliar líquida de no mínimo R\$ 90.430 aproximadamente. Como resultado, em 2040, até 12,3% dos domicílios no Sul do Brasil poderiam ter acesso a VE, o que equivaleria a um potencial máximo de 1,4 milhões de VE na região. No entanto, neste cenário, apenas 1,2% da distância percorrida pela frota total seria relativa a VE em 2040. No cenário de Alta Adoção, foi estimada uma demanda elétrica veicular de 628 GWh em 2040, o que representa aproximadamente um incremento de até 0,68%% do consumo de energia da região.

Já, focando no cenário de Alta Adoção, o custo total (amortização, operação e manutenção) do VE foi estimado no valor de R\$ 16.046. Por conseguinte, foi estimado que renda domiciliar líquida para arcar com esse custo seria de R\$ 80.230 aproximadamente. Como resultado, até 15,07% dos domicílios no Sul do Brasil poderiam ter acesso a VE, o que corresponde a uma frota potencial até 1,7 milhões de VE na região. Neste cenário, até 10,9% da distância percorrida seria atrelada a VE. No cenário de Alta adoção, foi estimada uma demanda elétrica veicular de 5.250 GWh em 2040, o que representa aproximadamente um incremento de até 5,10% do consumo de energia da região.

Estimada a demanda potencial elétrica veicular por microrregiões do Sul do Brasil, foi possível analisar alguns desdobramentos do estudo de caso analisado. A estimativa permite melhorar nossa compreensão acerca dos impactos da inserção de VE na rede de distribuição elétrica brasileira e, consequentemente, investimentos necessários em infraestrutura.

Os VE se caracterizam como um novo tipo de consumidor a ser conectado à rede de distribuição de energia elétrica. Desta forma, a inclusão deste novo consumidor na rede irá demandar mais

eletricidade do sistema e possivelmente também irá requerer reforços em infraestrutura para atender o possível aumento de potência em algumas microrregiões específicas e em determinadas horas do dia.

Para a identificação das necessidades de reforço nas redes elétricas de abastecimento de energia elétrica veicular no Brasil, as estimativas de projeção da demanda total anual por microrregiões dos estados da região Sul do país foram distribuídas ao longo das 24 horas/dia. A identificação dos períodos de pico de consumo ao longo do dia, serviu como referencial para dimensionamento do fornecimento de energia elétrica veicular para cada cenário de implementação de VE elaborado nesse estudo.

A partir da necessidade de energia e capacidade para carregamento de VE, foi possível avaliar se o sistema elétrico brasileiro (geração, transmissão e distribuição) é suficiente para absorver esse impacto e, posteriormente, quanto de investimento é necessário para acomodar a inclusão de VE. Como nossos resultados indicam que a demanda de eletricidade prevista para VE deve representar no máximo de 5,10% no consumo de energia e 6,84% da carga da região do país, é possível concluir que o acréscimo na demanda pode ser acomodado pelo sistema de geração e pela rede de transmissão sem grandes dificuldades. Todavia, destaca-se que estes são resultados de uma análise bem preliminar. Estudos mais aprofundados sobre o impacto dos pontos de recarga de veículos elétricos sobre as curvas de carga são extremamente necessários, considerando inclusive a disseminação de ônibus e caminhões elétricos.

Desta forma, chega-se à conclusão de que, o maior impacto será na rede de distribuição, uma vez que esta é mais sensível a variações de potência, principalmente a rede de baixa tensão (BT) e média tensão (MT), que não são adaptadas para este fim. Tomando como exemplo a distribuidora de Paraná, a COPEL, os custos de expansão e reforço da rede para acomodar VE dos diferentes cenários traçados para o estado do Paraná neste estudo corresponderiam entre 4,3% e 35,6% dos investimentos previstos pela companhia no ano de 2021.

Ademais, analisando os investimentos necessários para expansão e reforço da rede elétrica brasileira, de forma a acomodar VE no Sul do Brasil, foi possível constatar que o Paraná é o estado estudado que precisará de maiores investimentos, em todos os cenários analisados. Foi discutida ainda a possibilidade de conexão do Sul do Brasil com países vizinhos próximos, como a Argentina, Paraguai e o Uruguai – através de um corredor elétrico. Os quatro países do Cone Sul já apresentam alguns avanços com relação a investimentos em corredores elétricos e mecanismos de incentivos para promoção de VE e corredores elétricos. Além disso, observamos uma compatibilidade entre as diferentes regiões, que tem como denominador comum o conector Tipo 2, e em um futuro o conector CHAdeMO. Esta compatibilidade melhora a atratividade dos corredores elétricos entre os países e pode se mostrar benefícios para a mobilidade, turismo e a economia da região do Cone Sul da ALC.

Por fim, o estudo demonstra que há um grande potencial para veículos e corredores elétricos na região sul do Brasil, principalmente devido ao nível de renda mais alto somado a capacidade turística da região. Aparentemente, os impactos da introdução de VE sobre as redes de distribuição serão pequenos, exigindo investimentos mínimos para reforços de rede, mesmo num cenário de rápida adoção. Todavia, cabe destacar a importância da realização de estudos mais detalhados acerca do impacto dos VE sobre as redes, considerando inclusive a disseminação de outras categorias de veículos, como ônibus e caminhões elétricos. Outro ponto a ser destacado é a necessidade estabelecimento de regulação adequada específica para os agentes econômicos e equipamentos relacionados ao uso de VE, além da interlocução política para alinhamento das metas de eletromobilidade dos municípios, estados e do país como um todo. Além disso, recomenda-se a realização de estudos futuros que analisem o impacto fiscal decorrente da substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos tanto para transporte privado como para transporte público.

Referências

- ANP (2020a). Dados estatísticos. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>
- ANP (2020b). Anuário Estatístico 2019 - Dados Abertos. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/component/content/article/2-uncategorised/5258-anuario-estatistico-2019-dados-abertos>
- BACEN (2020). Relatório de Mercado Focus.
- BnAmericas (2019). *Parque Tecnológico Itaipu proyecta poner en funcionamiento la Ruta Verde en el 2019*. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/parque-tecnologico-itaipu-proyecta-poner-en-funcionamiento-la-ruta-verde-en-el-2019>
- CAVALLO, E. A.; POWELL, A.; SEREBRISKY, T. (2020) De estruturas a serviços: O caminho para uma melhor infraestrutura na América Latina e no Caribe. <http://dx.doi.org/10.18235/0002505>
- CENSO (2010). Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>
- CETESB (2019). Frota Circulante 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/08/Frota-Circulante-2019.xlsx>.
- CETESB (2017). Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2017. Disponível em: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fcetesb.sp.gov.br%2Fveicular%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F6%2F2019%2F02%2FIntensidade-de-Uso-2017.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>
- Corchero, C. (2015). *European electric vehicle fleet: driving and charging behaviors*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301407733_European_electric_vehicle_fleet_driving_and_charging_data_analysis
- DENATRAN (2020). Estadísticas – Frota de veículos DENATRAN. Dados estatísticos. Disponível em: <https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html>
- Di Chiara L., Lopez Soto D., Weiss M., Carvajal F., Chueca E., Hallack M. (2022). Potencial del uso baterías para arbitraje intertemporal de precios en América Latina: los casos de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Uruguay. IDB. Nota técnica.
- Electromaps (2021). Mapa de eletroposto. Disponível em: <https://www.electromaps.com/mapa>
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2022). Anuário Estatístico de Energia Elétrica.
- FGV (2020). *Panorama de Evolução das Classes Econômicas*. Disponível em: https://www.cps.fgv.br/ibrecps/c2010/PME_CLASSEMEDIA/index-br.htm
- Hupkes, G. (1980). *The law of constant travel time and trip-rates*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016328782900702>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=resultados>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020a). *PIB dos Municípios 2010 a 2017*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020b). *PIB do Brasil*. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020c). *Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2017 e 2018*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html?=&t=downloads>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020d). *Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio Contínua – PNAD Contínua*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?=&t=downloads>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020e). *Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020f). *Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade, 2010-2060*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?edicao=21830&t=resultados>

International Energy Agency – IEA (2021). *Global EV Outlook 2021. Accelerating ambitions despite the pandemic*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

Marchetti (1994). *Anthropological invariants in travel*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040162594900418>

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI. (2021) *Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica*. -- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/4comunicacao/sumario_executivo_4cn_brasil_web.pdf

Nicholas Hall, D., Lutsey, N., 2019, *Quantifying the Electric Vehicle Charging Infrastructure*. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <http://www.theiccct.org>.

PNUMA (2020). *Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe 2019*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe, Panamá.

Anexo A – Análise da frota circulante de veículos de combustão interna

De forma a calcular o indicador de quilometragem veicular percorrida (veículos x quilômetros - vkm) e consequentemente estimar o consumo total de combustíveis de veículos de combustão interna (VCI) para o estudo de caso do Brasil, foram levantados dados referentes à frota de VCI dos estados da região Sul – Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

A frota veicular total de determinado país/região é composta por veículos novos, licenciados ano a ano, e veículos registrados em anos anteriores, formando assim a frota registrada nos órgãos de controle. Porém esta frota registrada também inclui veículos que já saíram de circulação, por diversos motivos, como por exemplo sucateamento, idade, apreensões etc., que, contudo, não foram retirados do sistema. A frota circulante também inclui veículos que não estão registrados nos órgãos de trânsito devido ao não licenciamento deles.

A base de dados da frota utilizada no estudo de caso do Brasil provém do Ministério da Infraestrutura em conjunto com o Departamento Nacional de Trânsito – Denatram (DENATRAN, 2020). A base de dados é constantemente alimentada com as informações de registros de veículos novos que entram no mercado, e as baixas dos veículos que são informadas oficialmente. Entretanto, há um número considerável de baixas que não são informadas aos órgãos de controle, ocasionando que essa base de dados de frota tenda a ter um número maior de veículos que a quantidade que efetivamente circulam nas ruas. Para corrigir essa distorção foram realizados os procedimentos de ajuste que são apresentados ao longo desse anexo. Na **Tabela 19**, são apresentando dados históricos da frota de veículos de estados da região Sul do Brasil.

Tabela 19. Dados históricos da frota de veículos por estados do Sul do Brasil no período 1910 até 2019

Estado	Ano de fabricação	Número de veículos
Paraná	1910 - 1950	2.455
	1951 - 1970	64.913
	1971 - 2000	2.550.080
	2001 - 2019	5.215.377
	Total	7.832.825
Rio Grande do Sul	1910 - 1950	1.894
	1951 - 1970	56.712
	1971 - 2000	2.642.355
	2001 - 2019	4.605.780
	Total	7.306.741
Santa Catarina	1910 - 1950	967
	1951 - 1970	29.630
	1971 - 2000	1.396.949
	2001 - 2019	3.976.261
	Total	5.403.807

Fonte: DENATRAN (2020)

Com base nos dados disponibilizados por tipo de veículo foi estimado a quantidade de veículos dos estados do Sul do Brasil agrupados por categoria e de acordo com a sua respectiva idade de fabricação conforme apresentado na **Tabela 20**.

Tabela 20. Características da frota de veículos dos estados do Sul do Brasil de acordo com a categoria e idade do veículo

Idade (anos)	Automóveis	Comerciais leves Ciclo Otto	Comerciais leves diesel	Motocicletas	Caminhões	Ônibus	Total
40	125.433	4.155	1.460	33.866	8.378	1.412	174.704
39	132.671	4.395	1.544	35.820	8.861	1.494	184.786
38	106.243	3.520	1.237	28.685	7.096	1.196	147.976
37	118.600	3.929	1.380	32.021	7.921	1.335	165.187
36	127.862	4.236	1.488	34.522	8.540	1.440	178.087
35	121.000	4.008	1.408	32.669	8.081	1.363	168.530
34	132.591	4.392	1.543	35.799	8.856	1.493	184.674
33	154.191	5.108	1.795	41.631	10.298	1.736	214.759
32	117.343	3.887	1.366	31.682	7.837	1.321	163.436
31	141.333	4.682	1.645	38.159	9.440	1.591	196.850
30	143.599	4.757	1.671	38.771	9.591	1.617	200.006
29	137.216	4.546	1.597	37.048	9.165	1.545	191.116
28	140.279	4.647	1.633	37.874	9.369	1.580	195.382
27	126.831	4.202	1.476	34.243	8.471	1.428	176.651
26	194.285	6.436	2.261	52.456	12.976	2.188	270.602
25	241.724	8.008	2.814	65.264	16.145	2.722	336.676
24	307.301	10.180	3.577	82.969	20.524	3.460	428.012
23	307.663	10.192	3.581	83.067	20.549	3.464	428.516
22	382.834	12.682	4.456	103.363	25.569	4.311	533.215
21	301.172	9.977	3.505	81.315	20.115	3.391	419.476
20	244.353	8.095	2.844	65.974	16.320	2.752	340.338
19	305.238	10.112	3.553	82.412	20.387	3.437	425.139
18	358.540	11.878	4.173	96.804	23.947	4.037	499.379
17	351.061	11.630	4.086	94.784	23.447	3.953	488.961
16	364.821	12.086	4.246	98.500	24.366	4.108	508.127
15	412.998	13.682	4.807	111.507	27.584	4.651	575.228
14	423.462	14.028	4.929	114.332	28.283	4.768	589.802
13	463.404	15.352	5.394	125.116	30.950	5.218	645.434
12	578.628	19.169	6.735	156.226	38.646	6.516	805.919
11	692.699	22.948	8.063	187.025	46.265	7.800	964.799
10	616.153	20.412	7.172	166.358	41.152	6.938	858.185
9	688.649	22.813	8.016	185.931	45.994	7.755	959.158
8	763.715	25.300	8.889	206.199	51.008	8.600	1.063.711
7	702.471	23.271	8.176	189.663	46.917	7.910	978.410
6	741.152	24.553	8.627	200.107	49.501	8.346	1.032.285
5	636.620	21.090	7.410	171.884	42.519	7.169	886.691
4	442.457	14.658	5.150	119.461	29.551	4.982	616.259
3	351.214	11.635	4.088	94.826	23.457	3.955	489.175
2	394.463	13.068	4.591	106.503	26.346	4.442	549.412
1	468.842	15.532	5.457	126.584	31.314	5.279	653.008
0	454.818	15.067	5.294	122.798	30.377	5.121	633.475
Total (40 anos)	14.015.926	464.316	163.138	3.784.217	936.112	157.827	19.521.536

Fonte: Elaboração própria

Contudo, conforme já mencionado, a frota de uma região possui normalmente veículos que não estão mais em circulação e que, portanto, devem ser descontados para o cálculo de consumo total de combustível dos estados. A seguir será apresentada a metodologia para identificar estes veículos fora de circulação.

A **taxa de sobrevivência** é a estimativa da quantidade de veículos que ao longo dos anos continua em circulação, gerando uma probabilidade de o veículo continuar em circulação de acordo com sua tipologia e idade, apresentadas em curvas sucateamento.

As **taxas de sucateamento** de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus foram obtidas a partir das seguintes funções:

- Automóveis e comerciais leves Ciclo Otto:

$$S(t) = 1 - \exp(-\exp(a + b(t))) \quad (0.1)$$

Onde, t é a idade do veículo em anos; a é igual a 1,798 para automóveis e 1,618 para comerciais leves Ciclo Otto; b é igual a -0,137 para automóveis e -0,141 para comerciais leves Ciclo Otto.

- Para veículos leves de ciclo diesel, caminhões e ônibus foram utilizadas a seguinte função com os seguintes parâmetros:

$$S(t) = \frac{1}{(1 + \exp(a(t - t_0)))} + \frac{1}{(1 + \exp(a(t - t_0)))} \quad (0.2)$$

Na qual, t é a idade do veículo em anos; t_0 é igual a 15,3 para veículos leves de ciclo diesel, 17,0 para caminhões e 19,1 para ônibus; a é igual a 0,17 para veículos leves de ciclo diesel, 0,10 para caminhões e 0,16 para ônibus. Para motocicletas, as taxas anuais utilizadas para para motocicletas de até 200 cilindradas foram: (i) 4% nos primeiros 5 anos; (ii) 5% a 6% até o 10º ano; (iii) 6% do 11º ao 15º ano; e (iv) 8% do 16º ano em diante.

Por fim, as curvas de sucateamento aplicadas a cada categoria de veículo e ilustradas na **Figura 17** e na **Figura 18**.

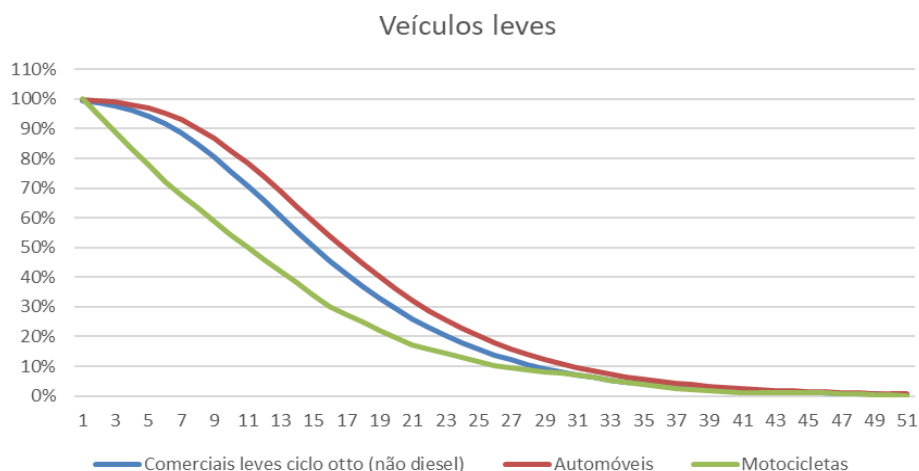


Figura 17. Curvas de sucateamento de veículos leves por categoria de veículos no Brasil

Fonte: Elaboração Própria

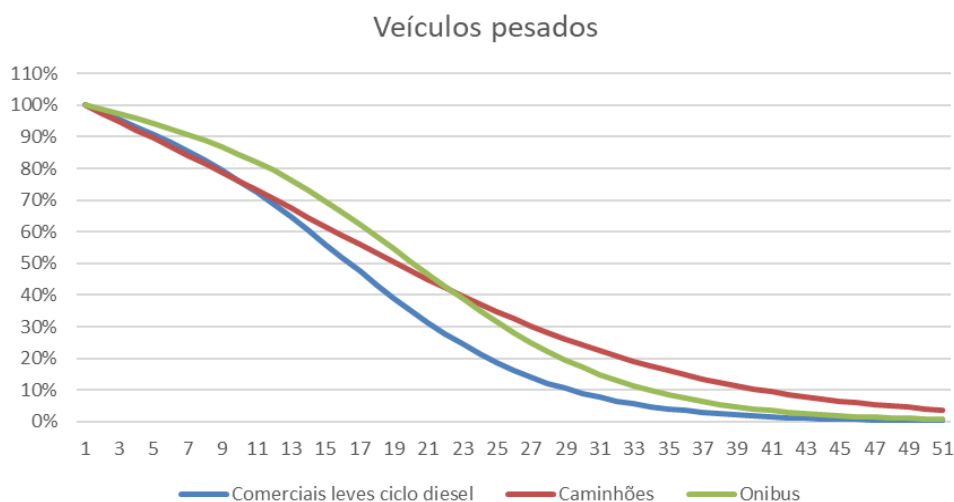


Figura 18. Curvas de sucateamento de veículos pesados por categoria de veículos no Brasil

Fonte: Elaboração Própria

Após aplicadas as taxas de sucateamento para cada categoria de veículo, foi obtida a frota efetivamente circulante, descontados os veículos que não estão circulando, conforme apresentado na **Tabela 21**.

Foram também calculadas as proporções da frota por tipo de combustível, com base na quantidade de veículos por tipo de combustível para cada uma das categorias e idades dos veículos (**Tabela 22**).

Com base em todos os passos citados anteriormente foi estimada a frota circulante por categoria e tipo de combustível para um período que compreende 40 anos, veículos fabricados desde o ano de 1979 até 2019, cujo resumo está apresentado na **Tabela 23**.

Tabela 21. Características da frota circulante de veículos dos estados do Sul do Brasil de acordo com a categoria e idade do veículo

Idade (anos)	Automóveis	Comerciais leves Ciclo Otto	Comerciais leves diesel	Motocicletas	Caminhões	Ônibus	Total
40	3.118	74	22	339	791	48	4.392
39	3.775	90	27	501	917	60	5.370
38	3.460	83	26	516	803	56	4.943
37	4.419	106	34	704	980	72	6.315
36	5.448	131	43	898	1.154	91	7.764
35	5.894	143	48	980	1.191	99	8.355
34	7.380	180	62	1.360	1.422	126	10.530
33	9.801	240	85	1.915	1.799	170	14.010
32	8.514	209	76	1.711	1.488	149	12.147
31	11.696	289	107	2.366	1.944	207	16.609
30	13.543	337	128	2.714	2.140	241	19.103
29	14.736	368	143	2.816	2.213	264	20.539
28	17.136	431	170	3.106	2.443	307	23.593
27	17.603	445	179	3.013	2.381	316	23.937
26	30.596	779	318	4.931	3.924	546	41.094
25	43.127	1.105	457	6.526	5.244	765	57.224
24	62.008	1.600	668	9.459	7.145	1.088	81.968
23	70.074	1.822	767	10.633	7.651	1.213	92.159
22	98.205	2.573	1.088	14.678	10.161	1.670	128.374
21	86.793	2.292	972	12.685	8.513	1.445	112.700
20	78.887	2.102	889	11.216	7.339	1.282	101.715
19	110.042	2.958	1.246	16.153	9.720	1.740	141.859
18	143.826	3.904	1.630	21.490	12.077	2.207	185.135
17	156.072	4.280	1.767	23.506	12.481	2.318	200.423
16	178.950	4.960	2.018	26.989	13.658	2.568	229.143
15	222.417	6.235	2.493	33.452	16.247	3.082	283.926
14	249.028	7.065	2.769	38.873	17.466	3.330	318.532
13	295.825	8.499	3.261	47.544	19.997	3.821	378.947
12	398.409	11.596	4.352	65.615	26.071	4.977	511.020
11	510.913	15.071	5.534	86.031	32.523	6.187	656.259
10	483.291	14.453	5.196	83.179	30.089	5.692	621.900
9	570.105	17.286	6.097	101.147	34.915	6.555	736.104
8	662.180	20.355	7.062	121.245	40.133	7.466	858.440
7	633.025	19.719	6.754	119.867	38.202	7.032	824.599
6	688.989	21.733	7.379	135.272	41.649	7.580	902.602
5	606.273	19.344	6.542	123.756	36.918	6.637	799.471
4	428.966	13.826	4.679	92.702	26.446	4.695	571.313
3	344.800	11.207	3.813	78.895	21.613	3.787	464.115
2	390.460	12.776	4.388	94.574	24.967	4.318	531.485
1	466.417	15.337	5.337	119.496	30.495	5.207	642.289
0	453.732	14.970	5.294	122.798	30.377	5.121	632.292
Total (40 anos)	8.589.934	260.972	93.917	1.645.650	587.686	104.534	11.282.693

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22. Proporção da frota circulante no Brasil por tipo de combustível veicular e categoria de veículo

Categoria	Automóveis			Comerciais leves				Caminhões					Ônibus			Motocicletas	
	Gasolina	Etanol	Flex	Gasolina	Etanol	Flex	Diesel	Semi-Leves	Leves	Médios	Semi-Pesados	Pesados	Urbanos	Micro-ônibus	Rodov	Gasolina	Flex
1979	100%	0%	0%	99%	1%	0%	100,0%	15%	36%	40%	4%	4%	58%	8%	34%	100%	0%
1980	71%	29%	0%	81%	19%	0%	100,0%	21%	48%	21%	5%	5%	55%	7%	38%	100%	0%
1981	71%	29%	0%	77%	23%	0%	100,0%	18%	43%	29%	5%	5%	45%	13%	42%	100%	0%
1982	62%	38%	0%	50%	50%	0%	100,0%	19%	43%	27%	6%	6%	44%	7%	49%	100%	0%
1983	12%	88%	0%	17%	83%	0%	100,0%	18%	42%	26%	7%	7%	39%	5%	55%	100%	0%
1984	5%	95%	0%	7%	93%	0%	100,0%	18%	43%	25%	7%	7%	46%	8%	46%	100%	0%
1985	4%	96%	0%	7%	93%	0%	100,0%	18%	41%	27%	7%	7%	58%	5%	37%	100%	0%
1986	8%	92%	0%	10%	90%	0%	100,0%	17%	39%	31%	7%	7%	48%	7%	45%	100%	0%
1987	6%	94%	0%	10%	90%	0%	100,0%	15%	34%	35%	8%	8%	46%	8%	46%	100%	0%
1988	12%	88%	0%	14%	86%	0%	100,0%	14%	33%	34%	9%	9%	54%	5%	41%	100%	0%
1989	39%	61%	0%	42%	58%	0%	100,0%	14%	33%	32%	10%	10%	52%	6%	42%	100%	0%
1990	87%	13%	0%	87%	13%	0%	100,0%	14%	33%	29%	12%	12%	49%	5%	46%	100%	0%
1991	78%	22%	0%	78%	22%	0%	100,0%	15%	34%	28%	11%	11%	57%	4%	39%	100%	0%
1992	72%	28%	0%	69%	31%	0%	100,0%	12%	28%	28%	16%	16%	60%	3%	37%	100%	0%
1993	75%	25%	0%	71%	29%	0%	100,0%	11%	26%	27%	18%	18%	65%	3%	32%	100%	0%
1994	89%	11%	0%	84%	16%	0%	100,0%	11%	26%	27%	18%	18%	65%	2%	33%	100%	0%
1995	98%	2%	0%	96%	4%	0%	100,0%	11%	26%	30%	16%	16%	63%	3%	34%	100%	0%
1996	100%	0%	0%	99%	1%	0%	100,0%	11%	26%	30%	17%	17%	73%	3%	24%	100%	0%
1997	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100,0%	11%	25%	31%	17%	17%	66%	8%	26%	100%	0%
1998	100%	0%	0%	100%	0%	0%	100,0%	11%	25%	33%	15%	15%	68%	8%	24%	100%	0%
1999	99%	1%	0%	99%	1%	0%	100,0%	13%	30%	31%	13%	13%	61%	10%	29%	100%	0%
2000	99%	1%	0%	100%	0%	0%	100,0%	13%	29%	28%	15%	15%	49%	18%	33%	100%	0%
2001	99%	1%	0%	98%	2%	0%	100,0%	13%	30%	15%	21%	21%	52%	18%	30%	100%	0%
2002	96%	4%	0%	92%	8%	0%	100,0%	11%	29%	15%	23%	21%	56%	18%	26%	100%	0%
2003	94%	3%	3%	90%	3%	8%	100,0%	9%	27%	13%	25%	26%	55%	21%	25%	100%	0%
2004	75%	4%	22%	69%	1%	31%	100,0%	9%	24%	10%	27%	29%	53%	18%	30%	100%	0%
2005	41%	5%	55%	46%	2%	52%	100,0%	10%	25%	11%	29%	26%	58%	15%	27%	100%	0%
2006	19%	0%	81%	33%	0%	67%	100,0%	10%	25%	13%	27%	25%	56%	17%	26%	100%	0%
2007	11%	0%	89%	27%	0%	73%	100,0%	9%	23%	11%	29%	28%	59%	14%	26%	100%	0%
2008	7%	0%	93%	30%	0%	70%	100,0%	7%	21%	10%	31%	32%	62%	13%	24%	100%	0%
2009	5%	0%	95%	30%	0%	70%	100,0%	6%	23%	10%	32%	28%	66%	15%	19%	100%	0%
2010	6%	0%	94%	34%	0%	66%	100,0%	5%	22%	9%	32%	33%	64%	15%	21%	80%	20%
2011	9%	0%	91%	36%	0%	64%	100,0%	5%	23%	8%	34%	31%	65%	14%	21%	60%	40%
2012	6%	0%	94%	29%	0%	71%	100,0%	4%	22%	8%	32%	35%	65%	15%	20%	58%	42%
2013	5%	0%	95%	18%	0%	82%	100,0%	3%	19%	8%	30%	41%	62%	15%	23%	51%	49%
2014	5%	0%	95%	18%	0%	82%	100,0%	2%	20%	8%	32%	37%	60%	13%	28%	51%	49%
2015	8%	0%	92%	2%	0%	98%	100,0%	4%	26%	8%	31%	31%	54%	13%	33%	40%	60%
2016	7%	0%	93%	1%	0%	99%	100,0%	4%	25%	7%	27%	36%	56%	16%	28%	41%	59%
2017	5%	0%	95%	1%	0%	99%	100,0%	3%	22%	8%	25%	42%	49%	19%	32%	50%	50%
2018	5%	0%	95%	0%	0%	100%	100,0%	4%	14%	9%	23%	50%	48%	23%	29%	48%	52%
2019	5%	0%	95%	1%	0%	99%	100,0%	3%	10%	10%	24%	53%	58%	17%	26%	45%	55%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponibilizados pelo CETESB (2019)

Tabela 23. Resumo de frota circulante de veículos dos estados do Sul do Brasil no período 1979 até 2019

Estado	Automóvel			Comercial Leve				Caminhão					Ônibus			Motocicleta		Total
								Semi-Leve	Leve	Médios	Semi-Pesado	Pesado	Urbano	Micro-ônibus	Rodoviário			
	Gasolina	Etanol	Flex	Gasolina	Etanol	Flex	Diesel	Diesel					Diesel			Gasolina	Flex	
PR	701.665	46.179	2.490.869	29.579	1.143	67.499	35.407	14.391	50.609	27.654	59.451	70.105	23.411	5.849	10.263	425.815	192.096	4.251.985
RS	663.816	45.226	2.177.837	27.141	1.135	59.121	31.540	13.200	46.056	25.586	52.932	62.157	20.965	5.202	9.242	378.478	170.465	3.790.100
SC	470.346	25.437	1.968.559	20.688	628	54.038	26.970	9.915	36.947	19.229	45.134	54.319	17.484	4.462	7.654	316.966	161.831	3.240.608

Fonte: Elaboração própria

Anexo B – Análise de consumo de combustível para veículos de combustão interna

Apresentamos neste anexo a base de dados do consumo atual dos veículos, que servirá de entrada nos cálculos de consumo total de combustíveis dos estados do Sul do Brasil. A fonte de dados é o Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo (CETESB, 2019) onde são apresentadas as médias de consumo por categoria de veículo e tipo de combustível conforme mostra a **Tabela 24** seguir.

Para os cálculos de consumo de combustível total futuro foi estimado o consumo médio ponderado pela idade média da frota circulante de VCI para os estados do sul do Brasil, apresentado na **Tabela 25** a seguir.

Tabela 24: Consumo médio por tipo de combustível, categoria e idade de veículos (km/l)

Classe	Automóveis			Comerciais leves				Caminhões leves	Caminhões médios	Caminhões pesados	Caminhões semi-leves	Caminhões semi-pesados	Motocicletas		Ônibus rodoviário	Micro-ônibus	Ônibus urbano
	Etanol	Flex	Gasolina	Diesel	Etanol	Flex	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Flex	Gasolina	Diesel	Diesel
1	-	12,9	13,4	11,1	0,0	10,1	10,9	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	42,0	42,0	2,2	2,6	2,3
2	-	12,9	13,4	11,1	0,0	10,1	10,9	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	41,7	41,7	2,2	2,6	2,3
3	-	13,0	13,1	10,8	0,0	9,7	10,9	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	41,4	41,4	2,2	2,6	2,3
4	-	12,5	12,5	10,8	0,0	9,1	10,4	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	41,1	41,1	2,2	2,6	2,3
5	-	12,0	12,0	10,6	0,0	9,0	10,6	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	40,8	40,8	2,2	2,6	2,3
6	-	11,5	11,5	10,4	0,0	8,3	9,9	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	40,5	40,5	2,2	2,6	2,3
7	-	11,3	11,2	10,4	0,0	8,3	9,0	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	40,2	40,2	2,2	2,6	2,3
8	-	11,0	11,1	10,6	0,0	8,2	10,1	5,6	5,8	3,6	9,1	3,6	39,9	39,9	2,2	2,6	2,3
9	-	11,1	11,2	10,1	0,0	7,9	9,8	5,6	5,6	3,4	9,1	3,4	39,6	39,6	2,2	2,6	2,3
10	-	11,2	10,9	10,0	0,0	8,5	9,2	5,6	5,6	3,4	9,1	3,4	39,3	39,3	2,2	2,6	2,3
11	-	10,4	9,9	9,5	0,0	7,9	8,3	5,6	5,6	3,4	9,1	3,4	-	39,0	2,2	2,6	2,6
12	-	10,3	9,6	9,3	5,8	7,9	7,7	5,6	5,6	3,4	9,1	3,4	-	38,7	2,2	2,6	2,6
13	6,9	10,5	11,3	9,6	5,8	9,0	7,7	5,6	5,6	3,4	9,1	3,4	-	38,4	2,2	2,6	2,6
14	6,9	10,5	11,3	9,6	5,8	9,2	7,7	5,6	5,6	3,4	9,1	3,4	-	38,1	2,2	2,6	2,6
15	8,6	10,4	11,3	9,6	5,8	10,4	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	37,8	2,2	2,6	2,6
16	8,6	9,8	11,4	9,6	5,7	9,8	7,8	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	37,5	2,2	2,6	2,6
17	7,5	9,3	11,2	9,6	5,7	9,3	7,6	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	37,2	2,2	2,6	2,6
18	7,2	-	10,9	9,6	5,7	-	7,6	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	36,9	2,2	2,6	2,6
19	7,0	-	12,0	9,6	5,2	-	7,8	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	36,6	2,2	2,6	2,6
20	7,0	-	11,9	9,6	5,2	-	7,8	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	36,3	2,2	2,6	2,6
21	8,0	-	11,8	9,6	5,3	-	7,8	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	36,0	2,2	2,6	2,6
22	7,4	-	11,8	9,6	5,4	-	7,6	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	35,7	2,2	2,6	2,6
23	7,2	-	11,0	9,6	5,7	-	7,5	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	35,4	2,2	2,6	2,6
24	7,2	-	11,0	9,6	5,8	-	7,4	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	35,1	2,2	2,6	2,6
25	7,5	-	10,4	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	34,8	2,2	2,6	2,6

Classe	Automóveis			Comerciais leves				Caminhões leves	Caminhões médios	Caminhões pesados	Caminhões semi-leves	Caminhões semi-pesados	Motocicletas		Ônibus rodoviário	Micro-ônibus	Ônibus urbano
	Idade (anos)	Etanol	Flex	Gasolina	Diesel	Etanol	Flex	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Flex	Gasolina	Diesel	Diesel
26	7,5	-	10,0	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	34,5	2,2	2,6	2,6
27	8,5	-	11,0	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	34,2	2,2	2,6	2,6
28	8,0	-	11,0	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	33,9	2,2	2,6	2,6
29	8,7	-	11,8	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	33,6	2,2	2,6	2,6
30	8,7	-	11,8	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	33,3	2,2	2,6	2,6
31	8,7	-	11,1	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	33,0	2,2	2,6	2,6
32	8,6	-	10,9	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	32,7	2,2	2,6	2,6
33	8,5	-	10,6	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	32,4	2,2	2,6	2,6
34	8,5	-	10,4	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	32,1	2,2	2,6	2,6
35	8,5	-	10,4	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	31,8	2,2	2,6	2,6
36	8,3	-	10,2	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	31,5	2,2	2,6	2,6
37	7,9	-	9,7	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	31,2	2,2	2,6	2,6
38	7,1	-	8,9	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	30,9	2,2	2,6	2,6
39	7,1	-	8,9	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	30,6	2,2	2,6	2,6
40	7,1	-	8,9	9,6	7,1	-	7,7	5,6	5,6	3,5	9,1	3,5	-	30,3	2,2	2,6	2,6

Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponibilizados pelo CETESB (2019)

Tabela 25. Consumo médio (km/l) ponderado pela idade média (anos) da frota circulante por categoria de veículo, tipo de combustível e estado do Sul do Brasil

Categoria	Combustível	Idade média			Consumo médio		
		PR	RS	SC	PR	RS	SC
Automóveis	Etanol	27,0	28,0	26,0	8,5	8,0	7,5
	<i>Flex fuel</i>	8,0	8,0	7,0	11,0	11,0	11,3
	Gasolina	17,0	17,0	16,0	11,2	11,2	11,4
Comerciais leves	Diesel	10,0	10,0	9,0	10,0	10,0	10,1
	Etanol	28,0	28,0	27,0	7,1	7,1	7,1
	<i>Flex fuel</i>	7,0	7,0	7,0	8,3	8,3	8,3
	Gasolina	15,0	15,0	14,0	7,7	7,7	7,7
Caminhões leves	Diesel	13,0	13,0	12,0	5,6	5,6	5,6
Caminhões médios	Diesel	15,0	16,0	14,0	5,6	5,6	5,6
Caminhões pesados	Diesel	9,0	9,0	8,0	3,4	3,4	3,6
Caminhões semi-leves	Diesel	15,0	16,0	14,0	9,1	9,1	9,1
Caminhões semi-pesados	Diesel	10,0	10,0	9,0	3,4	3,4	3,4
Motocicletas	<i>Flex fuel</i>	5,0	5,0	5,0	40,8	40,8	40,8
	Gasolina	11,0	11,0	10,0	39,0	39,0	39,3
Ônibus rodoviário	Diesel	10,0	10,0	9,0	2,6	2,6	2,6
Micro-ônibus	Diesel	11,0	12,0	10,0	2,2	2,2	2,2
Ônibus urbano	Diesel	11,0	11,0	10,0	2,6	2,6	2,3

Fonte: Elaboração própria

Anexo C – Análise e tratamento da intensidade de uso de veículos de combustão interna

Também foram levantados os dados de **intensidade de uso** que se referem a quantidade de quilômetros que um veículo percorre em média por ano de acordo com sua idade. Estes dados são utilizados em conjunto com a frota circulante para calcular o indicador de quilometragem veicular percorrida (vkm) e, com base no consumo médio apresentado anteriormente, estimar o consumo total de combustível de determinada região.

Inicialmente, foram utilizados os dados de intensidade de uso obtidos do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo (CETESB, 2017). Apesar dessa fonte de informação ser muito precisa e abundante, sem paralelos com outras fontes de partes do Brasil, há a necessidade de sua adequação para outras regiões antes de sua aplicação neste estudo de caso.

Para tanto, primeiro se calculou o consumo total de combustível para os estados da região Sul do Brasil a partir da aplicação dos valores originais de intensidade de uso na frota desses estados. Com base na comparação entre o valor calculado de consumo total de combustível por estado e os dados de volume mensal observados de venda no varejo de combustíveis dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, disponibilizados pela ANP (2020a, 2020b), foi possível corrigir a intensidade de uso para cada um dos estados estudados, visto que cada estado possui características próprias de uso dos veículos por sua população. Este passo estima a intensidade de uso para se adequar à venda de combustíveis observada localmente e pode ser observado na **Tabela 26** e na **Tabela 27**.

Tabela 26. Intensidade de uso ajustada para veículos leves por categoria de veículos e anos de uso (km/ano)

Anos de uso	Automóveis (gasolina)	Automóveis (etanol)	Automóveis (<i>flex-fuel</i>)	Comerciais leves (gasolina)	Comerciais leves (etanol)	Comerciais leves (<i>flex-fuel</i>)	Comerciais leves (diesel)	Motocicletas	Ônibus urbanos
0	5.084	-	7.299	7.6	-	7.722	26.314	5.428	57.796
1	10.17	-	14.597	15.202	-	15.445	52.63	10.856	115.592
2	10.708	-	13.536	14.952	-	17.895	50.622	11.086	109.132
3	11.17	-	12.95	14.682	-	18.576	48.703	11.226	103.45
4	11.558	-	12.716	14.395	-	18.036	46.758	11.285	98.448
5	11.875	-	12.711	14.091	-	16.821	44.671	11.268	94.028
6	12.126	-	12.81	13.773	-	15.475	42.325	11.183	90.092
7	12.313	-	12.892	13.443	-	14.546	39.609	11.036	86.539
8	12.44	-	12.831	13.102	-	13.649	36.402	10.834	83.273
9	12.51	-	12.503	12.753	-	12.753	32.592	10.584	80.196
10	12.527	-	12.498	12.397	-	12.397	29.513	10.293	77.21
11	12.494	-	12.035	10.959	13.521	9.967	74.214	18.653	74.214
12	12.414	11.369	11.671	9.52	13.521	9.614	71.113	18.235	71.113
13	12.291	11.358	11.305	9.185	13.521	9.24	67.804	17.851	67.804
14	12.13	11.325	10.939	8.862	13.521	8.852	64.194	17.495	64.194
15	11.931	11.252	10.577	8.551	13.521	8.457	60.183	15.835	60.183
16	11.701	11.124	10.218	8.256	13.521	8.061	56.823	15.835	56.823
17	11.44	10.923	-	7.978	13.521	-	54.269	15.835	54.269
18	11.153	10.633	-	7.72	13.521	-	51.828	15.835	51.828
19	10.844	10.237	-	7.482	13.521	-	49.499	15.835	49.499
20	10.516	9.717	-	7.266	13.521	-	47.273	15.835	47.273

21	10.172	9.058	-	7.076	13.521	-	45.149	15.835	45.149
22	9.816	8.243	-	6.91	13.521	-	43.119	15.835	43.119
23	9.451	7.015	-	6.774	13.521	-	41.18	15.835	41.18
24	9.08	7.015	-	6.668	13.521	-	39.329	15.835	39.329
25	8.708	7.015	-	6.665	13.521	-	37.56	15.835	37.56
26	8.337	7.015	-	6.665	13.521	-	35.871	15.835	35.871
27	7.97	7.015	-	6.665	13.521	-	34.259	15.835	34.259
28	7.612	7.015	-	6.665	13.521	-	32.718	15.835	32.718
29	7.266	7.015	-	6.665	13.521	-	31.247	15.835	31.247
30	6.934	7.015	-	6.665	13.521	-	29.843	15.835	29.843
31	6.62	7.015	-	6.665	13.521	-	28.501	15.835	28.501
32	6.33	7.015	-	6.665	13.521	-	27.221	15.835	27.221
33	6.064	7.015	-	6.665	13.521	-	25.996	15.835	25.996
34	5.826	7.015	-	6.665	13.521	-	24.828	15.835	24.828
35	5.621	7.015	-	6.665	13.521	-	23.71	15.835	23.71
36	5.451	7.015	-	6.665	13.521	-	34.565	10.374	38.43
37	5.32	7.015	-	6.665	13.521	-	34.565	9.908	38.504
38	5.232	7.015	-	6.665	13.521	-	34.565	9.463	38.817
39	5.234	7.015	-	6.665	13.521	-	34.565	9.037	40.345
40	5.234	7.015	-	6.665	13.521	-	34.565	8.63	40.345

Fonte: Elaboração própria

Tabela 27. Intensidade de uso ajustada para veículos pesados por categoria de veículos e anos de uso (km/ano)

Anos de uso	Micro-ônibus	Ônibus rodoviários	Caminhões semi-leves	Caminhões leves	Caminhões médios	Caminhões semi-pesados	Caminhões Pesados
0	32.916	57.796	38.01	38.01	38.01	52.017	52.017
1	65.832	115.592	76.018	76.018	76.018	104.033	104.033
2	58.571	109.132	70.53	70.53	70.53	102.14	102.14
3	54.325	103.45	65.806	65.806	65.806	100.245	100.245
4	51.31	98.448	61.776	61.776	61.776	98.35	98.35
5	48.973	94.028	58.366	58.366	58.366	96.457	96.457
6	47.064	90.092	55.514	55.514	55.514	94.562	94.562
7	45.448	86.539	53.153	53.153	53.153	92.668	92.668
8	44.05	83.273	51.225	51.225	51.225	90.773	90.773
9	42.817	80.196	49.675	49.675	49.675	88.88	88.88
10	41.713	77.21	48.446	48.446	48.446	86.985	86.985
11	47.491	47.491	47.491	85.09	85.09	86.985	86.985
12	46.766	46.766	46.766	83.198	83.198	86.985	86.985
13	46.226	46.226	46.226	81.303	81.303	86.985	86.985
14	45.83	45.83	45.83	79.408	79.408	86.985	86.985
15	45.546	45.546	45.546	77.515	77.515	86.985	86.985
16	45.341	45.341	45.341	75.62	75.62	86.985	86.985
17	45.186	45.186	45.186	73.726	73.726	86.985	86.985
18	45.052	45.052	45.052	71.831	71.831	86.985	86.985

19	44.923	44.923	44.923	69.938	69.938	86.985	86.985
20	44.777	44.777	44.777	68.043	68.043	86.985	86.985
21	44.599	44.599	44.599	66.148	66.148	86.985	86.985
22	44.379	44.379	44.379	64.255	64.255	86.985	86.985
23	44.107	44.107	44.107	62.361	62.361	86.985	86.985
24	43.779	43.779	43.779	60.466	60.466	86.985	86.985
25	43.395	43.395	43.395	58.573	58.573	86.985	86.985
26	42.954	42.954	42.954	56.678	56.678	86.985	86.985
27	42.464	42.464	42.464	54.783	54.783	86.985	86.985
28	41.933	41.933	41.933	52.889	52.889	86.985	86.985
29	41.374	41.374	41.374	50.996	50.996	86.985	86.985
30	40.802	40.802	40.802	49.101	49.101	86.985	86.985
31	40.236	40.236	40.236	47.206	47.206	86.985	86.985
32	39.701	39.701	39.701	45.313	45.313	86.985	86.985
33	39.222	39.222	39.222	43.419	43.419	86.985	86.985
34	38.828	38.828	38.828	41.524	41.524	86.985	86.985
35	38.552	38.552	38.552	39.631	39.631	86.985	86.985
36	38.43	38.43	37.736	37.736	39.631	86.985	86.985
37	38.504	38.504	35.841	35.841	39.631	86.985	86.985
38	38.817	38.817	33.947	33.947	39.631	86.985	86.985
39	40.345	40.345	32.054	32.054	39.631	86.985	86.985
40	40.345	40.345	30.159	30.159	39.631	86.985	86.985

Fonte: Elaboração própria.

Anexo D – Premissas adotadas na distribuição horária da demanda elétrica veicular brasileira

Distribuição horária da demanda urbana

Em relação as características geográficas, diferentemente do abastecimento de combustíveis para VCI, a propulsão elétrica possibilita uma descentralização dos locais de recarga, permitindo que os VE sejam abastecidos em diferentes locais de carga, como por exemplo nos domicílios, no trabalho, no shopping ou no estacionamento. Essa mudança de paradigma deve acarretar uma alteração substancial nas curvas de carga dos consumidores.

Conseqüentemente, é importante analisar não só a distribuição horária da demanda urbana de energia por VE, mas para isso, também é necessário saber o tipo de ponto de carga onde o VE está sendo abastecido. As premissas definidas para este objetivo são inspiradas no estudo de caso dos Estados Unidos, realizado por Nicholas *et al.* (2019). Nicholas *et al.* (2019) observou 100 áreas metropolitanas mais populosas dos EUA, e quantificou a fatia de mercado dos pontos de carga por tipo de estabelecimento e por hora do dia. A **Tabela 28** apresenta os resultados de Nicholas *et al.* (2019) para 2017 e sua projeção para 2025. Para os anos 2020 e 2030 fizemos uma interpolação linear dos dados disponíveis. Como é possível observar, em 2017, a maior parte dos pontos de carga está concentrada nos domicílios (77,3%), seguido pelo local de trabalho (9,5%), estacionamentos públicos (6,6%) e em pontos espalhados na rua (6,6%).

Tabela 28. Fatia de mercado dos pontos de carga urbana para veículos elétricos

Ano	Domicílios	Trabalho	Estacionamento público	Pontos espalhados na rua
2017	77,3%	9,5%	6,6%	6,6%
2020	74,8%	8,9%	9,7%	6,5%
2025	70,8%	8,1%	14,6%	6,4%
2030	67,0%	7,3%	19,4%	6,3%

Fonte: Elaboração própria a partir de Nicholas *et al.* (2019)

Tabela 28 ainda demonstra um aumento da participação dos estacionamentos públicos ao longo dos anos em detrimento dos outros tipos de ponto de carga. Isso, pois espera-se que recargas no local de trabalho possam ser realizadas por carregadores públicos. Isso vem a ser importante, pois garagens públicas são locais de estacionamento muito comuns na maioria das grandes cidades, mas podem servir a outros usos fora do horário de trabalho tradicional.

Adicionalmente, a **Figura 19** apresenta a distribuição horária das curvas de carga diárias por tipo de ponto de carga. É importante destacar que as curvas não estão sob influência de políticas de preço da energia elétrica e que a distribuição poderá ser influenciada pela existência de políticas de incentivo a VE focalizadas em um dado grupo de consumidores.

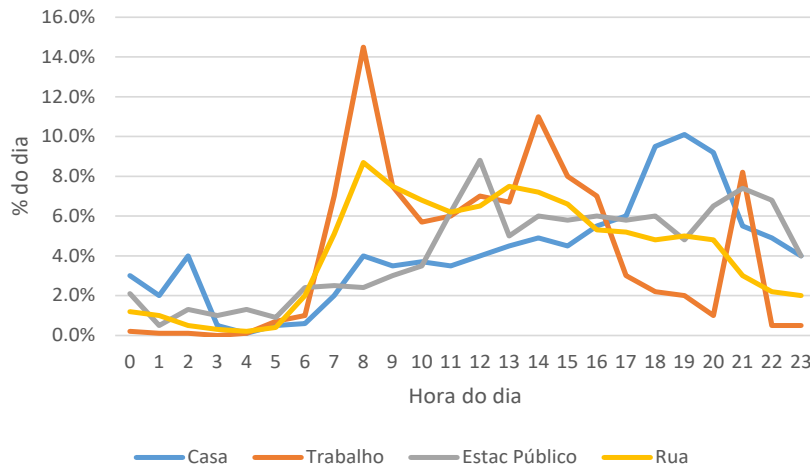


Figura 19. Curva de carga horária urbana por tipo de ponto de carga para veículos elétricos (em %)
 Fonte: Elaboração própria a partir de Nicholas *et al.* (2019)

Com base nas projeções de Nicholas *et al.* (2019), estimamos as curvas de carga horária urbanas para um horizonte de 20 anos. Como observado na **Figura 20**, o comportamento da curva é bastante semelhante ao ano base, característico de um alimentador com alta percentagem de carga residencial.

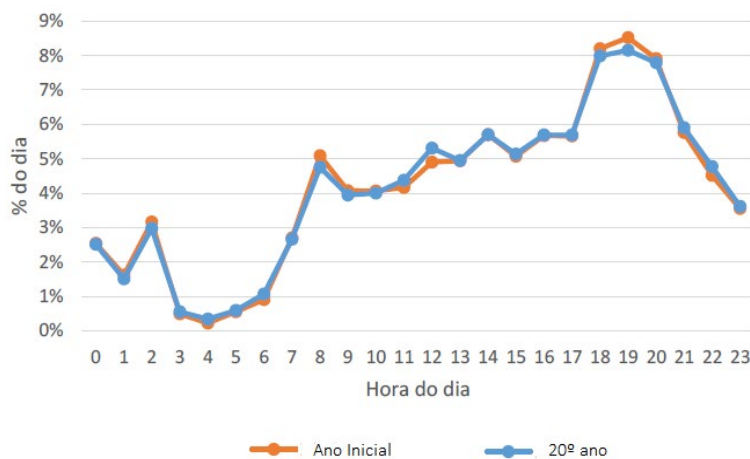


Figura 20. Projeções da participação horária para carregamento urbano de veículos elétricos nos anos inicial e no 20º ano (em %)
 Fonte: Elaboração própria

Distribuição horária da demanda rodoviária

No ambiente rodoviário, foram considerados dois grupos de usuários: (i) aqueles que realizam viagens menores que a autonomia veicular, e, portanto, não têm a necessidade de realizar recarga do veículo na rodovia; e (ii) os que realizam viagens maiores que a autonomia veicular, e que necessitam, por isso, recarregar o veículo ao longo da viagem. Foi colocado como premissa, que o comportamento do primeiro se encaixa como uma demanda urbana. Já para o segundo grupo, a demanda se dá durante o uso do veículo, e, portanto, é diretamente proporcional ao volume veicular nas rodovias.

A **Figura 21** apresenta a curva de demanda de energia elétrica para recarga de veículos elétricos nas rodovias dos três Estados da região Sul do Brasil, estimadas com base nos seus fluxos de veículos descritos no PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego. É possível observar que o comportamento dessa distribuição é muito similar entre os três estados. Dessa forma, optou-se por utilizar nos cálculos uma curva única para a região Sul, identificada em azul na **Figura 21**.

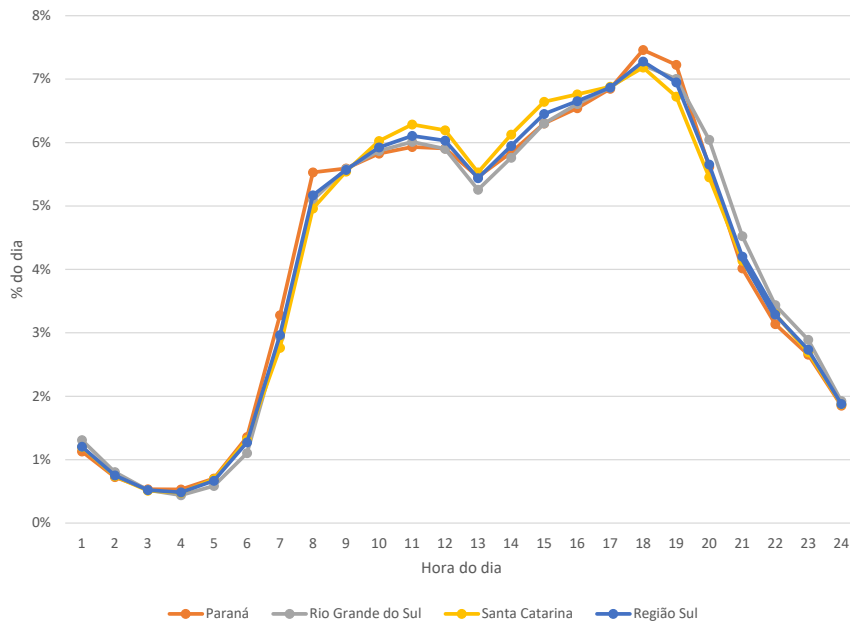


Figura 21. Distribuição horária da demanda de energia elétrica para carregamento de veículos nas rodovias do Sul do Brasil e seus estados (em %)

Fonte: Elaboração própria

Proporção entre demanda urbana e demanda rodoviária

Conforme descrito anteriormente, foram consideradas demandas rodoviárias aquelas que utilizam as rodovias para viagens maiores que a autonomia veicular. As autonomias médias para automóveis consideradas foram de 220 km em 2030 e de 290 km em 2040.

A **Figura 22** e a **Figura 23** apresentam o volume veicular nas principais rodovias da região Sul para os anos de 2030 e 2040, com base nas projeções de aumento da frota de VE e nos dados do PNCT através de um modelo do tipo origem-destino. É interessante destacar que as cores da figura falam sobre a extensão médias das viagens, sendo laranja quando a viagem é menor que a autonomia, e vermelho quando são maiores.

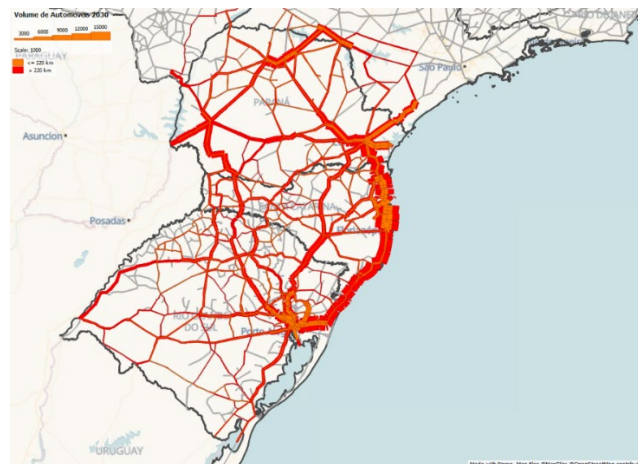


Figura 22. Volume simulado de viagens de veículos nas rodovias do Sul do Brasil para o ano 2030

Fonte: Elaboração própria

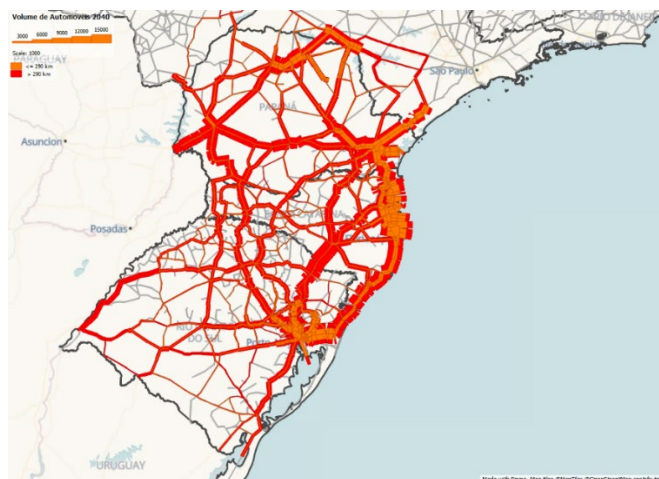


Figura 23. Volume simulado de viagens de veículos nas rodovias do Sul do Brasil para o ano 2040

Fonte: Elaboração própria

Com essa informação, foi calculado o consumo veicular das viagens consideradas rodoviárias dentro de cada microrregião, e, confrontando-o com o consumo total da microrregião, obteve-se a proporção de consumo rodoviário e urbano (1-rodoviário) de cada zona.

Anexo E – Cálculo do Custo Incremental Médio de Longo Prazo (CIMLP) e valores utilizados no estudo de caso

As distribuidoras de energia elétrica são responsáveis pelo planejamento da sua rede e obrigadas a informar ao regulador, a sua base de ativos assim como os investimentos em expansão. Isto é importante pois a remuneração destes ativos é definida a cada revisão tarifária visto que é o consumidor final da rede que irá remunerar tanto as despesas de capital (CAPEX, da expressão em inglês *capital expenditure*) como as despesas com operação (OPEX, da expressão em inglês *operational expenditure*) através da tarifa de usos do sistema de distribuição. Assim, com base na projeção da demanda elétrica, as distribuidoras traçam seu plano de investimentos. Neste plano, é também determinado o valor anual do CAPEX e do OPEX.

De posse das despesas totais anuais e da evolução do crescimento de carga, relacionam-se essas despesas ao incremento de demanda máxima de energia elétrica obtendo o **Custo Incremental Médio de Longo Prazo (CIMLP)** para a rede analisada. A fórmula para obtenção do CIMLP é apresentada na **Equação (8)**.

$$CIMLP = \frac{\sum_t \frac{DT_t}{(1+TMA)^t}}{\sum_t \frac{Dm_t}{(1+TMA)^t}} \quad (8)$$

Onde, DT_t são as despesas totais do ano t , Dm_t é o incremento da demanda máxima no ano t , TMA é a taxa mínima de atratividade de cada empresa, que muitas vezes por ser definida pelo órgão regulador no processo de revisão tarifária das distribuidoras.

Como o custo incremental pode variar significativamente de um ano para outro em virtude da indivisibilidade dos investimentos, é mais prudente, sob o ponto de vista tarifário, que se busque uma média dentro do horizonte de planejamento. Uma vez que o nosso estudo de caso discute a introdução de VE na região Sul do Brasil, vamos utilizar como exemplo o CIMLP utilizado pelo regulador deste país – a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – para estabelecer as tarifas de uso do sistema de distribuição (**Tabela 29**).

Tabela 29. Custos médios (Aproximação dos Custos Marginais de Expansão) da COPEL em 2016

Nível de tensão (kV)	Custo médio (R\$/kW)
138	R\$ 104,32
69	R\$ 96,63
34,5	-
13,8	R\$ 326,98
< 2,3	R\$ 320,32

Fonte: Nota Técnica ANEEL 219/2016

Estes valores de custo podem ser aplicados para medir o impacto e o custo de adaptação decorrente da adoção de unidades de carregamento por consumidores de grande porte ou grupos agregados de pequenos consumidores como os carregamentos de VE.

Por fim, é importante destacar que o impacto à rede de distribuição dependerá do grau de penetração dos postos de carregamento que podem afetar o montante de demanda previsto. No entanto, é importante observar que se o nível de penetração de VE for elevado, uma possível solução para evitar a necessidade de grandes investimentos na rede MT e nos abaixamentos para o BT pode ser a mudança da estrutura tarifária, como por exemplo a mudança da tarifa monômnia para a tarifa binômnia ou mesmo para uma tarifa horo sazonal. Isto faria com que o consumidor evitasse de carregar o VE na hora da ponta deslocando o carregamento para os horários a partir das 23h00, por exemplo.