FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

# ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA E VEÍCULOS ELÉTRICOS

**Fabrício Cristiano Pangoni**

**2023** **CAMPO GRANDE|MS**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

**FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

# ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA E VEÍCULOS ELÉTRICOS

**FABRÍCIO CRISTIANO PANGONI**

Trabalho de Conclusão do Curso para defesa do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração de Eficiência Energética

**Orientador: Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva**

**CAMPO GRANDE**

**NOVEMBRO / 2023**

Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**FABRÍCIO CRISTIANO PANGONI**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA E VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado pela Banca Examinadora em 27 de fevereiro de 2024, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do titulo de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

**Banca examinadora:**

**Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva - ( Orientador)**

**Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa.**

**Dr. Aureo Cezar de Lima.**

Documento assinado eletronicamente por **Andrea Teresa Riccio Barbosa**, **Coordenador(a) de Curso de Pós-graduação**, em 04/03/2024, às 11:45, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Aureo Cezar de Lima**, **Usuário Externo**, em 05/03/2024, às 15:07, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Ramon Eduardo Pereira Silva**, **Professor Permanente**, em 05/03/2024, às 16:21, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4699322** e o código CRC **D59DC214**.

**COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**
Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária
Fone:
CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Àquele que é o começo e o fim, autor e consumador da minha fé, ao que foi pregado na cruz do madeiro em meu lugar, ao meu salvador: Jesus, o Cristo.

Aos meus pais, Irineu Pangoni e Ilce Pilan Pangoni que nunca mediram esforços para o meu desenvolvimento.

A minha esposa, Martha Juliana Meneses Amaya, que despendeu seu tempo com nossos filhos para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

Aos meus preciosos filhos, que fazem meu mundo melhor, Benjamin Pangoni Meneses e Samuel Pangoni Meneses

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira Silva.

Aos professores do Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade da UFMS, em especial a prof.ª Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa e o prof. Dr. Frederico Silva Moreira.

Ao prof. Dr. Ruben Barros Godoy, prof. Dr. Vitor Cardoso por seus preciosos conhecimentos e atenção em dúvidas pertinentes.

Ao meu amigo e colega de mestrado Marlon César Souza da Silva.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

*“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento; porque é melhor a sua mercadoria do que artigos de prata, e maior o seu lucro que o ouro mais fino. Mais preciosa é do que os rubis, e tudo o que mais possas desejar não se pode comparar a ela. Vida longa de dias está na sua mão direita; e na esquerda, riquezas e honra. Os seus caminhos são caminhos de delícias, e todas as suas veredas de paz”.*

*Provérbios 3:13-17.*

**RESUMO**

Os veículos elétricos têm sido apontados como uma das maneiras de reduzir o impacto ambiental e o aquecimento global. Porém, a troca de tecnologias passa também pelo critério econômico do consumidor. Assim, o objetivo desse trabalho é contribuir com informações técnicas sobre economia para os consumidores e sobre sustentabilidade pela substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos, alimentados por geração renovável fotovoltaica. Para isso, foi utilizada a análise técnica e econômica comparando a utilização de veículos a combustão interna e veículos elétricos em quatro casos, segundo suas categorias: Caso 1 os subcompactos *Fiat Mobi Like* e *Jac e-JS1*; Caso 2 os compactos *Hyundai HB20 Sense* e *Peugeot E-208 GT*; Caso 3 os médios *Nissan Versa Sense* e *BYD Dolphin GS 180EV*; o Caso 4 para os grandes *Nissan Leaf Tekna* e *Toyota Corolla Cross XR 20*. Desta forma, três cenários foram simulados, em que a distância diária percorrida foi de 10%, 50% e 100% da autonomia do veículo elétrico. Ainda se considerou a utilização dos combustíveis gasolina (Hipótese 1) e etanol (Hipótese 2) para os veículos a combustão; para o veículo elétrico considerou-se a utilização da energia elétrica proveniente da concessionária (Hipótese 3); e com a instalação de um Sistema Fotovoltaico Veicular Conectado à Rede (SFVCR) (Hipótese 4) para uma residência na cidade de Campo Grande - MS para um período de 96 meses, iniciando-se em agosto de 2023. Para a viabilidade técnica, foi feito o dimensionamento do SFVCR, a análise das instalações elétricas da residência para a instalação da estação de recarga, com análise de demanda, proteções, quadro elétrico e dimensionamento do circuito que energizará a estação. Foram calculados os custos com o SFVCR, estação de recarga, veículos e para a residência. Por fim, foi realizado o estudo da viabilidade econômica utilizando o Valor Presente Líquido (VPL) para todos os casos e determinado a quilometragem em que o veículo elétrico é mais viável que o de combustão interna. A análise concluiu a seguinte ordem de melhores investimentos: para o Cenário 1 (10%) dos Casos 1 (subcompacto), 2 (compacto), 3 (médio) e 4 (grande): Hipótese 2 (etanol), Hipótese 1 (gasolina), Hipótese 4 (fotovoltaica) e Hipótese 3 (concessionária); para o Cenário 2 (50%) dos Casos 1, 2 e 4: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Caso 3 (médios) a seguinte ordem: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1. Para o Cenário 3 (100%) dos Casos 1 e 4: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1 e Hipótese 3. Para o Caso 2: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para

o Caso 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1. Assim, esse trabalho demonstrou que, em cada categoria pesquisada, a viabilidade dos veículos elétricos está condicionada à distância diária percorrida para que o seu custo operacional compense o maior custo com a aquisição do veículo se comparado ao veículo a combustão interna.
**Palavras-chave**: análise técnica, análise econômica, veículo elétrico, sistema fotovoltaico, infraestrutura.

**ABSTRACT**

Electric vehicles have been identified as one of the ways to reduce environmental impact and global warming. However, the exchange of technologies also depends on the consumer's economic criteria. Therefore, the objective of this work is to contribute to consumer savings and sustainability by replacing internal combustion vehicles with electric vehicles powered by renewable photovoltaic generation. For this, technical and economic analysis was used comparing the use of internal combustion vehicles and electric vehicles in four cases according to their categories: Case 1 the Fiat Mobi Like and JAC e-JS1 subcompacts; Case 2 the compact Hyundai HB20 Sense and Peugeot E-208 GT; Case 3 the midsize Nissan Versa Sense and BYD Dolphin GS 180EV; Case 4 for the large Nissan Leaf Tekna and Toyota Corolla Cross XR 20. 3 scenarios were used in which the daily distance traveled was 10%, 50% and 100% of the electric vehicle's autonomy. The use of gasoline fuels (Hypothesis 1) and ethanol (Hypothesis 2) is still considered for combustion vehicles and for electric vehicles the use of electrical energy from the dealership (Hypothesis 3) and with the installation of a system are considered. grid-connected photovoltaic system (SFVCR) (Hypothesis 4) for a residence in the city of Campo Grande - MS for a period of 96 months, starting in August 2023. For technical feasibility, the sizing of the SFVCR was carried out, the analysis of the residence's electrical installations for the installation of the charging station, with demand analysis, protections, electrical panel and sizing of the circuit that will energize the station. The costs for the SFVCR, charging station, vehicles and the residence were calculated. Finally, an economic feasibility study was carried out using the Net Present Value (NPV) for all cases and finally the mileage at which the electric vehicle is more viable than the internal combustion vehicle was determined. As a result, the analysis concluded that they presented the following order of best investments, for Scenario 1 of Cases 1, 2, 3 and 4: Hypothesis 2, Hypothesis 1, Hypothesis 4 and Hypothesis 3. For Scenario 2 of Cases 1, 2 and 4: Hypothesis 2, Hypothesis 1, Hypothesis 4 and Hypothesis 3. For Case 3 the following order: Hypothesis 4, Hypothesis 3, Hypothesis 2 and Hypothesis 1. For Scenario 3 of Cases 1 and 4: Hypothesis 4, Hypothesis 2 , Hypothesis 1 and Hypothesis 3. For Case 2: Hypothesis 2, Hypothesis 1, Hypothesis 4 and Hypothesis 3. For Case 3: Hypothesis 4, Hypothesis 3, Hypothesis 2 and Hypothesis 1. Thus, this essay demonstrated that in each category researched, the viability of electric vehicles is conditioned

on the daily distance traveled so that their operating cost compensates for the higher cost of purchasing the vehicle compared to internal combustion vehicles.

**Keywords**: Technical analysis, economic analysis, electric vehicle, photovoltaic system, infrastructure.

**LISTA DE FIGURAS**

NENHUMA ENTRADA DE ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES FOI ENCONTRADA.

Figura 1 – Fatores críticos de sucesso para os veículos elétricos. ..... 28
Figura 2 – Linha do tempo para os veículos elétricos. ..... 38
Figura 3 – Tendências de desenvolvimento associados aos veículos elétricos. ..... 39
Figura 4 – Representação esquemática dos subsistemas de uma VEB. ..... 41
Figura 5 – Evolução da capacidade das baterias desde 1980. ..... 42
Figura 6 – Esquema de funcionamento de uma bateria de íon lítio ..... 43
Figura 7 – Classificação dos métodos de recarga ..... 44
Figura 8 – Carregadores veiculares da marca WEG. ..... 46
Figura 9 – Tempo de recarga de acordo ao carregador e o veículo elétrico ..... 48
Figura 10 – Proteção para um carregador veicular com DR tipo B ..... 49
Figura 11 – Conexões para o *Wemob Wall G2*. ..... 50
Figura 12 – Tipos de conectores elétricos. ..... 51
Figura 13 – Eficiência do combustível e perdas de energia em um carro em velocidade de cruzeiro. ..... 52
Figura 14 – ACV de eficiência energética de um VEB considerando várias fontes de energia renovável ..... 54
Figura 15 – Definições de arranjo fotovoltaico (do inglês *array*), série fotovoltaica (*string*), e sistema fotovoltaico. ..... 57
Figura 16 – Tecnologias na confecção de módulos fotovoltaicos. ..... 58
Figura 17 – Detalhe construtivo de um módulo solar de silício cristalino ..... 58
Figura 18 – Eficiência das células solares pela tecnologia empregada e ano. ..... 59
Figura 19 – Eficiência garantida pela empresa para o modelo MF00450 Empalux. ..... 60
Figura 20 – Área necessária para a instalação de 1kWp dado diferentes tecnologias comerciais. ..... 60
Figura 21 – Curva I-V para o painel modelo MF00450 Empalux ..... 61
Figura 22 – Resposta espectral para células de Silício cristalino (c-Si) e silício amorfo (a-Si). ..... 62
Figura 23 – Representação de um sistema fotovoltaico conectado à Rede (SFVCR). ..... 63
Figura 24 – Irradiância solar e Hora Solar Pico. ..... 66

Figura 25 – Irradiação solar média diária no coletor inclinado 10ºN para a cidade de Rio Branco no Acre.....67
Figura 26 – Curva de eficiência de um inversor. .....69
Figura 27 – Variação da tensão em função da temperatura relacionando a faixa de operação do inversor.....71
Figura 28 – Tarifas aplicadas ao Grupo B e modalidades tarifários. .....73
Figura 29 – Funções de custo e componentes tarifários da TUSD. .....73
Figura 30 – Funções de custo e componentes tarifários da TE. .....74
Figura 31 – Fatura de energia da Energisa apresentada para uma microgeração. .....78
Figura 33 – Sistema de Compensação de energia. .....78
Figura 34 – Análise técnica efetuada. .....81
Figura 35 – Custos analisados para cada Hipótese. .....81
Figura 36 – Detalhe da residência com a indicação do norte geográfico. .....83
Figura 37 – Consumo mensal de energia elétrica para a residência. .....84
Figura 38 – Curva de carga típica para a residência adotada para os sistemas fotovoltaicos. 86
Figura 39 – Detalhes do resultado de consumo e autoconsumo anual para a residência. ...101
Figura 40 – Regressão linear para a determinação do custo de aquisição do SFV. .....102
Figura 41 – Diagrama unifilar do Quadro da Residência (QD01). .....103
Figura 42 – Detalhes do traçado do cabeamento. .....104
Figura 43 – Detalhes conexão da estação de recarga. .....107
Figura 44 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*. .....109
Figura 45 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais. .....109
Figura 46 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais. .....110
Figura 47 – Custo inicial para o Caso 1. .....112
Figura 48 – Custo da residência para o Caso 1. .....113
Figura 49 – Componentes do custo geral para o Caso 1. .....115
Figura 50 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$) para o Caso 1. .....116
Figura 51 – Componentes do custo do veículo para o Caso 1. .....117
Figura 52 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 1 ....117

Figura 53 – Custo total ($C_T$) para o Caso 1. ..... 118
Figura 54 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 1. ..... 119
Figura 55 – Custo final ($C_F$) para o Caso 1. ..... 119
Figura 56 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 1. ..... 121
Figura 57 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*. ..... 123
Figura 58 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais. ..... 123
Figura 59 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais. ..... 124
Figura 60 – Custo inicial para o Caso 2. ..... 126
Figura 61 – Custo da residência para o Caso 2. ..... 127
Figura 62 – Componentes do custo geral para o Caso 2. ..... 129
Figura 63 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$). ..... 130
Figura 64 – Componentes do custo do veículo para o Caso 2. ..... 131
Figura 65 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 2. ..... 131
Figura 66 – Custo total ($C_T$) para o Caso 2. ..... 132
Figura 67 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 2. ..... 133
Figura 68 – Custo final ($C_F$) para o Caso 2. ..... 133
Figura 69 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 2. ..... 135
Figura 70 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*. ..... 137
Figura 71 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais. ..... 137
Figura 72 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais. ..... 138
Figura 73 – Custo inicial para o Caso 3. ..... 140
Figura 74 – Custo da residência para o Caso 3. ..... 141
Figura 75 – Componentes do custo geral para o Caso 3. ..... 143
Figura 76 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$) para o Caso 3. ..... 144

Figura 77 – Componentes do custo do veículo para o Caso 3. .....145
Figura 78 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 3.....145
Figura 79 – Custo total ($C_T$) para o Caso 3. .....146
Figura 80 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 3. .....147
Figura 81 – Custo final ($C_F$) para o Caso 3.....147
Figura 82 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 3. .....149
Figura 83 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*. .....151
Figura 84 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais. .....151
Figura 85 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais. .....152
Figura 86 – Custo inicial para o Caso 4. .....154
Figura 87 – Custo da residência para o Caso 4. .....155
Figura 88 – Componentes do custo geral para o Caso 4. .....157
Figura 89 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$) para o Caso 4. .....158
Figura 90 – Componentes do custo do veículo para o Caso 4. .....158
Figura 91 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 4.....159
Figura 92 – Custo total ($C_T$) para o Caso 4. .....160
Figura 93 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 4. .....160
Figura 94 – Custo final ($C_F$) para o Caso 4.....161
Figura 95 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 4. .....162
Figura 96 – Ficha técnica para o Módulo Empalux MF00500. .....218

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Análise de documentos presentes na pesquisa inicial exploratória sobre o tema.29
Tabela 2 – Custo médio específico por quilômetro para veículos elétricos e a combustão....33
Tabela 3 – Tabela comparativa de consumo energético entre VEBs e VCIs por categoria.....55
Tabela 4 – Irradiância solar diária média no plano horizontal para Campo Grande-MS (kWh/m².dia). .....68
Tabela 6 – Cenários criados para os 4 casos analisados. .....83
Tabela 7 – Dados de consumo dos veículos. .....85
Tabela 8 – Índice percentual incidente (R) sobre a componente de custo da tarifa de energia. .....93
Tabela 9 – Índice percentual médio utilizado para as componentes da tarifa. .....93
Tabela 10 – Alíquota para a cobrança da COSIP no município de Campo Grande/MS para a classe residencial .....95
Tabela 11 – Orçamento para instalação e infraestrutura do sistema fotovoltaico. .....102
Tabela 12 – Revisão da corrente elétrica e proteções existentes. .....104
Tabela 13 – Dimensionamento do cabo pelo critério da corrente. .....105
Tabela 14 – Dimensionamento do cabo pelo critério da queda de tensão. .....105
Tabela 15 – Análise da ocupação do eletroduto existente. .....106
Tabela 16 – Dimensionamento de eletroduto para o cabo de 6 mm². .....106
Tabela 17 – Orçamento para infraestrutura de instalação da estação de recarga. .....107
Tabela 18 – Dados de consumo e distância para o Caso 1. .....108
Tabela 19 – Dados de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 1. .....108
Tabela 20 – Cálculo de consumo e energia injetada para a geração distribuída. .....110
Tabela 21 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 1. .....111
Tabela 22 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3. .....113
Tabela 23 – Custos revisão para o Caso 1. .....114
Tabela 24 – Custos com licenciamento para o Caso 1. .....114
Tabela 25 – Custos com IPVA para o Caso 1. .....114
Tabela 26 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 1. .....115

Tabela 27 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 120
Tabela 28 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 120
Tabela 29 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 120
Tabela 30 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 1. ..... 121
Tabela 31 – Dados de consumo e distância para o Caso 2. ..... 122
Tabela 32 – Dados de entrada e resultado para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 2. ..... 122
Tabela 33 – *Cálculo de* consumo e energia injetada para a geração distribuída. ..... 124
Tabela 34 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 2. ..... 125
Tabela 35 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3. ..... 127
Tabela 36 – Custos revisão para o Caso 2. ..... 128
Tabela 37 – Custos com licenciamento para o Caso 2. ..... 128
Tabela 38 – Custos com IPVA para o Caso 2. ..... 128
Tabela 39 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 2. ..... 129
Tabela 40 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 134
Tabela 41 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 134
Tabela 42 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 134
Tabela 43 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 2. ..... 135
Tabela 44 – Dados de consumo e distância para o Caso 3. ..... 136
Tabela 45 – Dados de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 3. ..... 136
Tabela 46 – *Cálculo de* consumo e energia injetada para a geração distribuída. ..... 138
Tabela 47 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 3. ..... 139

Tabela 48 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3. ..... 141
Tabela 49 – Custos revisão para o Caso 3. ..... 142
Tabela 50 – Custos com licenciamento para o Caso 3. ..... 142
Tabela 51 – Custos com IPVA para o Caso 3. ..... 142
Tabela 52 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 3. ..... 143
Tabela 53 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 148
Tabela 54 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 148
Tabela 55 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 148
Tabela 56 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 3. ..... 149
Tabela 57 – Dados de consumo e distância para o Caso 4. ..... 150
Tabela 58 – Dados de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 4. ..... 150
Tabela 59 – *Cálculo de* consumo e energia injetada para a geração distribuída. ..... 152
Tabela 60 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 4. ..... 153
Tabela 61 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3. ..... 155
Tabela 62 – Custos revisão para o Caso 4. ..... 156
Tabela 63 – Custos com licenciamento para o Caso 4. ..... 156
Tabela 64 – Custos com IPVA para o Caso 4. ..... 156
Tabela 65 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 4. ..... 157
Tabela 66 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 161
Tabela 67 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 161
Tabela 68 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL. ..... 162

Tabela 69 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 4. .....163
Tabela 70 – Resumo dos custos utilizados no trabalho, parte 1. .....180
Tabela 71 – Resumo dos custos utilizados no trabalho, parte 2. .....182

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Resumo com os principais pontos dos VEB. ---------- 40
Quadro 2 – Modos de carga para veículos elétricos ---------- 45
Quadro 3 – Classificação das estações de recarga conforme norma IEC 62196. ---------- 46
Quadro 4 – Normas técnicas nacionais sobre sistemas fotovoltaicos. ---------- 64
Quadro 5 – Níveis de tensão requerida pela distribuidora dada a potência instalada. -------- 65
Quadro 6 – Proteções mínimas requeridas em função da potência instalada. ---------- 65
Quadro 8 – Veículos analisados e sua referida categoria ---------- 79
Quadro 9 – Hipóteses criadas. ---------- 80
Quadro 10 – Relação de materiais e serviços e as fontes de referência onde os dados foram retirados. ---------- 90
Quadro 11 – Veículos encontrados na Tabela FIPE para o cálculo do IPVA. ---------- 99

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| $B_{Tarifária\ (n)}$: | Valor da bandeira tarifária cobrado do consumidor no mês n (R$/kWh) |
| $B_{TarifáriaANEEL(n)}$: | Valor da bandeira tarifária divulgado pela ANEEL para o mês n (R$/kWh) |
| $C_{AQSFVCR}$: | Custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico que somente se aplica no mês 0 (R$) |
| $C_{AQSFVCR}$: | Custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico que somente se aplica no mês 0 (R$) |
| $C_{I(n)}$: | Custo inicial |
| CE: | Consumo energético em MJ/km no ciclo urbano ou estrada |
| $CE_C$: | Consumo energético combinado urbano e estrada |
| $CE_S$: | Consumo energético estrada |
| $C_{EE(n)}$: | Custo com energia elétrica no mês n (R$) |
| $CE_{ext}$: | Consumo de energia elétrica de fonte externa ao veículo em Wh/km |
| $CE_U$: | Consumo energético urbano |
| CiI: | Custo total mensal do serviço de iluminação pública do município |
| $C_{LSFVCR(n)}$: | Custo de limpeza do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$) |
| $COFINS_{(n)}$: | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social incidente no mês *n* (%) |
| $COSIP_{(n)}$: | Contribuição de Serviço de Iluminação Pública no mês *n* (R$) |
| $C_F$: | Custo final (R$). |
| $C_{R(n)}$: | Custo referente à residência no mês *n* (R$) |
| $C_{RA(n)}$: | Custo total acumulado referente à residência no mês *n* (R$). |
| $C_{REE(n)}$: | Custo de energia elétrica da residência no mês *n* (R$) |
| $C_{RSFVCR(n)}$: | Custo apropriado a residência do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$) |
| $C_{SFVCR(n)}$: | Custo do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$) |
| $C_{SINV(n)}$: | Custo de substituição do inversor no mês *n* (R$) |
| $C_{T(n)}$: | Custo total no mês *n* (R$). |
| $C_{TA(n)}$: | Custo total acumulado no mês *n* (R$). |
| $C_{V(n)}$: | Custo do veículo no mês *n* (R$) |
| $C_{VA(n)}$: | Custo total acumulado do veículo no mês *n* (R$). |
| $C_{VAq(n)}$: | Custo de aquisição do veículo que se aplica somente no mês 0 (R$) |
| $C_{VEE(n)}$: | Custo com energia elétrica apropriado ao veículo no mês *n* (R$) |
| $C_{VEn(n)}$: | Custo com o consumo de energia pelo veículo no mês *n* (R$). Para o VE, energia elétrica ($C_{VEE}$) e para o VCI a gasolina pelo veículo ($C_{Vgas}$) |
| $C_{Vgas(n)}$: | Custo energético com o consumo de gasolina no mês *n* (R$). |
| $C_{VGeral\ (n)}$: | Custo geral do veículo no mês *n* (R$). |
| $C_{VInfr(n)}$: | Custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga que se aplica somente no mês 0 (R$). |
| $C_{VIPVA(n)}$: | Custo com o IPVA no mês *n* (R$). |
| $C_{VLic\ (n)}$: | Custo com a taxa de Licenciamento do veículo no mês *n* (R$). |
| $C_{VOP(n)}$ | Custo operacional do veículo. |
| $C_{VRev(n)}$: | Custo com as revisões de 10 mil km ou 12 meses no mês *n* (R$) |

$C_{VSFVCR(n)}$: Custo apropriado para o veículo com a aquisição e instalação do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$)

DETRAN MS Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso do Sul.

EE: Energia elétrica

$E_{R\ (n)}$: Consumo de energia elétrica pela residência no mês *n* (kWh).

$E_{SFVCR}$: Energia média mensal gerada pelo SFV, considerado 30 dias (kWh).

$E_{V(n)}$: Consumo de energia elétrica pelo veículo elétrico no mês *n* (R$/l)

F: fase

FCt: Fluxo de Caixa no enésimo período

FIPE: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

$G_{SFVCR(n)}$: Geração de energia elétrica no mês *n* (kWh)

HSP: Hora solar pico (h)

I: Investimento

$ICMS_{(n)}$: Imposto Estadual de Circulação de Mercadorias e Serviços incidente no mês *n* (%)

IGP-M: Índice Geral de Preços do Mercado

$I_{imax}$: Corrente máxima CC admitida na entrada do inversor (A)

IPVA: Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

$I_{SC}$: Corrente de curto circuito do painel fotovoltaico nas condições de STC (A).

TA: Taxa de atratividade ou taxa de juros para atualizar o fluxo de caixa.

TR: Taxa de juros para atualizar o valor de revenda do veículo

*n:* mês de referência

N: Neutro

$N_{paineis}$: número de painéis do SFV

$N_{pseries}$: número de painéis em série no arranjo

$n_{SFV}$: eficiência do SFV (%)

$P_{(n)}$: Preço do combustível

$PIS_{(n)}$: Programa de Integração Social incidente no mês *n* (%)

$P_{SFV}$: Potência pico sistema fotovoltaico (Wp)

$Q_{(n)}$: Quantidade de combustível

SFV: Sistema fotovoltaico

SFVCR: Sistema fotovoltaico conectado à rede

$T_{ANEEL(n)}$: Valor da tarifa divulgado pela ANEEL para o mês *n* (R$/kWh)

$T_{EE\ (n)}$: Valor da tarifa cobrado do consumidor no mês *n* (R$/kWh)

VCI(s): Veículo(s) a combustão interna

VE(s): Veículo(s) elétrico(s)

$V_{imax}$: Tensão máxima CC suportada pela entrada do inversor (V)

$V_{iSPPMmax}$: Máxima tensão CC de operação do SPPM do inversor (V)

$V_{iSPPMmin}$: Mínima tensão CC de operação do seguimento do ponto de potência máxima (SPPM), e do inglês MPPT, do inversor (V)

$V_{mpTmax}$: Tensão de potência máxima (Vmp) de um módulo FV na maior temperatura de operação prevista (V)

$V_{mpTmin}$: Tensão de potência máxima (Vmp) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista (V)

$V_{ocTmin}$: Tensão em circuito aberto (Voc) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista (V)

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO ---- 26**

**1.1 Objetivos ---- 34**

1.1.1 Objetivo geral ---- 34

1.1.2 Objetivos específicos ---- 34

**2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ---- 35**

**2.1 Veículos elétricos ---- 35**

2.1.1 História resumida dos veículos elétricos ---- 36

2.1.2 Tendências de desenvolvimento ---- 38

2.1.3 Veículos Elétricos a Bateria (VEB) ---- 40

2.1.4 Armazenador de energia ---- 42

2.1.5 Métodos de recarga ---- 44

2.1.6 Estação de recarga ---- 46

2.1.7 Comparação energética entre os veículos a combustão interna e elétricos. ---- 51

**2.2 Sistema fotovoltaico (SFV) ---- 56**

2.2.1 Terminologias ---- 56

2.2.2 Tecnologia empregadas nos módulos fotovoltaicos ---- 57

2.2.3 Eficiência dos painéis fotovoltaicos de silício cristalino ---- 59

2.2.4 Fatores que afetam as características elétricas da célula fotovoltaica (CFV) ---- 61

2.2.5 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) ---- 62

2.2.6 Normas vigentes ---- 63

2.2.7 Dimensionamento de um SFVCR ---- 65

2.2.8 Avaliação solar ---- 66

**2.3 Faturamento de energia elétrica para a geração distribuída ---- 72**

2.3.1 Estrutura tarifária das concessionárias de energia ---- 72

2.3.2 Legislação vigente ---- 75

2.3.3 Sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) ---- 77

**3 METODOLOGIA ---- 79**

**3.1 Delimitação do período de análise ---- 82**

**3.2 Cenários ---- 82**

**3.3 Caracterização da residência ---- 83**
3.3.1 Consumo de energia elétrica da residência ($E_{REE}$) ---- 84
**3.4 Caracterização do consumo de energia dos veículos ---- 84**
**3.5 Estação de recarga ---- 85**
**3.6 Sistema Fotovoltaico ---- 86**
**3.7 Caracterização dos custos ---- 87**
3.7.1 Custos mensais, acumulados, totais, inicial e final ---- 87
3.7.2 Atualização monetária ---- 89
3.7.3 Custo de aquisição e infraestrutura da estação de recarga ($C_{VInf}$) ---- 89
3.7.4 Custos com o sistema fotovoltaico conectado à rede ---- 90
3.7.5 Custos com energia elétrica ($C_{EE}$) ---- 91
3.7.6 Custos com consumo de combustível ---- 96
3.7.7 Custos para o Veículo ---- 97
**3.8 Viabilidade financeira ---- 100**
**4 RESULTADOS E DISCUSSÕES ---- 101**
**4.1 Resultados comuns a todos os casos ---- 101**
4.1.1 Autoconsumo da residência ---- 101
4.1.2 Determinação dos custos do sistema fotovoltaico ---- 101
4.1.3 Instalação da estação de recarga ---- 103
**4.2 Caso 1 (veículos subcompactos) ---- 107**
4.2.1 Dados iniciais ---- 107
4.2.2 Sistema fotovoltaico ---- 108
4.2.3 Custos ---- 111
4.2.4 Custo total ($C_T$) ---- 118
4.2.5 Economia com o sistema fotovoltaico ---- 118
4.2.6 Custo final ($C_F$) ---- 119
4.2.7 Análise de viabilidade financeira ---- 119
**4.3 Caso 2 (veículos compactos) ---- 121**
4.3.1 Dados iniciais ---- 121
4.3.2 Sistema fotovoltaico ---- 122
4.3.3 Custos ---- 125
4.3.4 Custo total ($C_T$) ---- 132

4.3.5 Economia com o sistema fotovoltaico ---------- 132
4.3.6 Custo final ($C_F$) ---------- 133
4.3.7 Análise de viabilidade financeira ---------- 133
**4.4 Caso 3 (veículos médios) ---------- 135**
4.4.1 Dados iniciais ---------- 135
4.4.2 Sistema fotovoltaico ---------- 136
4.4.3 Custos ---------- 139
4.4.4 Custo total ($C_T$) ---------- 146
4.4.5 Economia com o sistema fotovoltaico ---------- 146
4.4.6 Custo final ($C_F$) ---------- 147
4.4.7 Análise de viabilidade financeira ---------- 147
**4.5 Caso 4 (veículos grandes) ---------- 149**
4.5.1 Dados iniciais ---------- 149
4.5.2 Sistema fotovoltaico ---------- 150
4.5.3 Custos ---------- 153
4.5.4 Custo total ($C_T$) ---------- 159
4.5.5 Economia com o sistema fotovoltaico ---------- 160
4.5.6 Custo final ($C_F$) ---------- 160
4.5.7 Análise de viabilidade financeira ---------- 161
**4.6 Análise entre os casos ---------- 163**
**5 CONCLUSÃO ---------- 165**
**REFERÊNCIAS ---------- 168**
**APÊNDICE A - Resumo dos custos para os cenários e hipóteses ---------- 180**
**APÊNDICE B - Artigo Científico ---------- 184**
**ANEXO A - Dados associados ao sistema fotovoltaico conectado à rede ---------- 218**

# 1 INTRODUÇÃO

Os carros elétricos têm sido implementados em uma busca para a redução das emissões dos gases do efeito estufa para veículos de transporte de pessoas, conforme o acordo de Paris de 2015, em que tem sido proposto a substituição dos atuais Veículos a Combustão Interna (VCI) pelos Veículos Elétricos (VE) (NEALER, REICHMUTH e ANAIR, 2015).

Estimativas apontam que a área de transporte é responsável por cerca de 10% das emissões globais de Gases do Efeito Estufa (GEE) e do Potencial de Aquecimento Global (GWP - *Global Warming Potential*). Segundo relatórios sobre frota de veículos de IBGE (2023), foi estimado que, em 2022, o Brasil tinha 115.116.532 veículos contra os 76.137.191 veículos de 2012. Este incremento de veículos de 51,2% em uma década, demanda mais energia para o setor de transportes, e, principalmente, mais petróleo, resultando em aumento da poluição atmosférica, afetando a saúde humana e a economia. Todavia, os VEs podem ser inseridos como uma alternativa de mitigação desse efeito colateral. Segundo relatórios de 2022 até setembro de 2023 da Anfavea (2023), os VE são 0,46% do total de automóveis e comerciais leves licenciados no Brasil.

Segundo Hawkins *et al.* (2013) discorrendo sobre a mesma problemática no contexto europeu, afirmam que a fase de produção do VE é mais ambientalmente agressiva que a dos VCI em todas as categorias de impactos, com exceção do potencial de acidificação dos solos. Porém, a fase de uso do VE compensa os problemas ambientais iniciais, mas, isto depende da maneira que a energia é gerada.

Na pesquisa de Nealer, Reichmuth e Anair (2015), onde foram comparados o VCI Tesla Model S com o VEB Nissan Leaf, por serem os mais populares à época no contexto dos EUA, concluiu que o VEs são menos poluentes, gerando em média apenas a metade das emissões de GEE de Veículos Movidos a Gasolina (VCIg) ao longo de sua vida útil, mesmo quando incluídas as mais altas emissões na cadeia produtiva. Outra conclusão, foi que, entre 6 e 16 meses de uso, o VEB já compensa as emissões de GEE provenientes do processo de fabricação dele. A fase de operação e uso, considerando o mix energético dos EUA, o VEB reduz em 45% o GWP comparado ao VCIg. As emissões de GEE associadas ao VE dependem da fonte de geração elétrica, sendo que são menores as emissões quanto mais renovável seja a fonte geradora de energia elétrica. Acrescenta que em uma rede composta por 80% de energias

renováveis (o que seria o caso do Brasil), resultaria em 25% de redução de $CO_2$ na manufatura e 84% na fase de operação e uso.

Alguns países já estabeleceram leis determinando a proibição da fabricação de VCIs a partir de determinado ano, com por exemplo, a Noruega em 2025, Dinamarca em 2030 e Espanha e França a partir de 2040 (WAPPELHORST, 2020).

Além de que, outros países têm implementados medidas de incentivos econômicos para a aquisição dos veículos elétricos pelo consumidor, entre os quais a isenção de taxas de importação, o bônus ambiental que se reverte em desconto para a aquisição do veículo, a revisão do regime tributário de veículos, sendo reduzidos os valores com registro de veículos e licenciamento, e não participação em rodízios de veículos promovidos em cidades (VIEIRA *et al.*, 2021).

Segundo notícia veiculada por Rádio e Televisão *Record* S.A. (2023), no Brasil, porém, ainda não foram promulgadas leis federais, estaduais e municipais com incentivos econômicos para os veículos elétricos tais como redução no Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços e Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI).

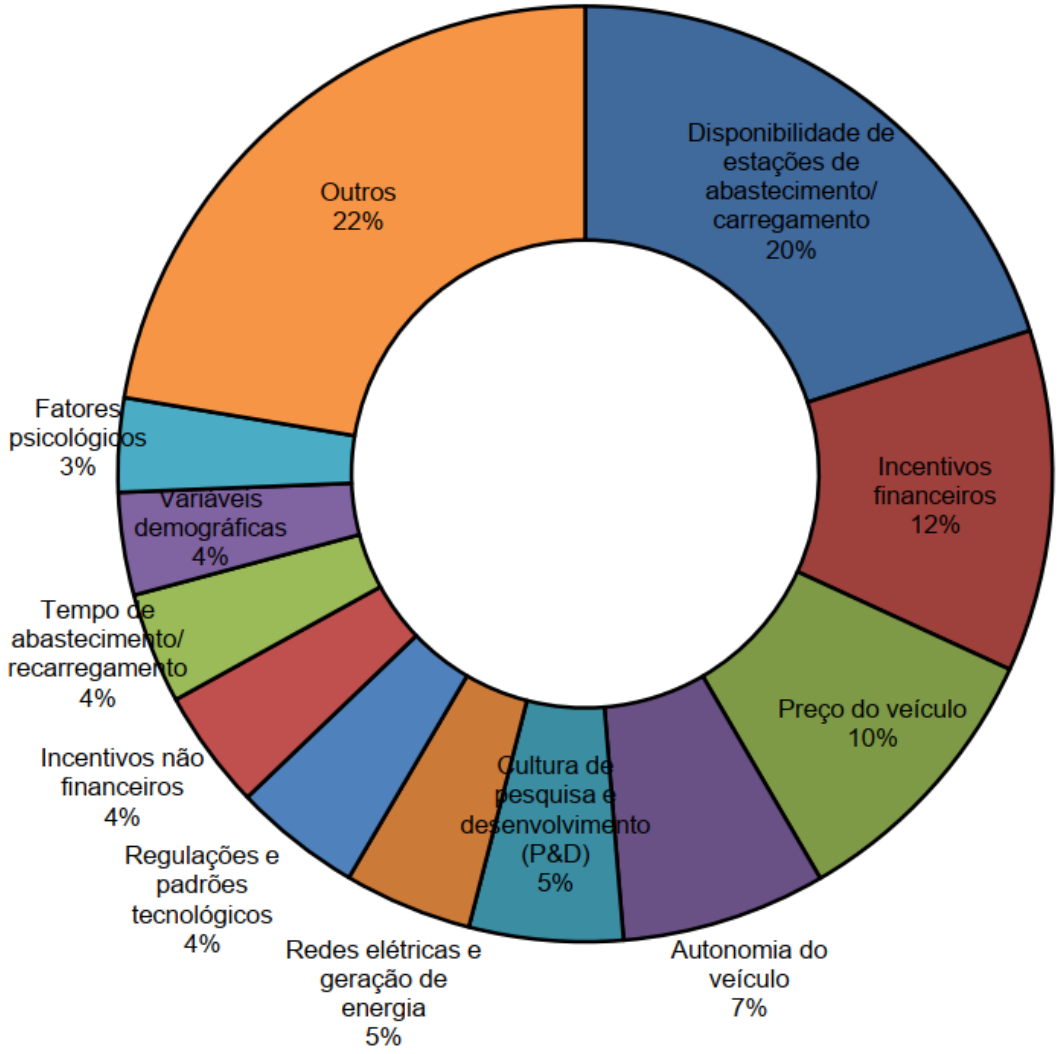
De acordo a S&P GLOBAL (2023), o ano de 2023 tem apresentado uma redução nas vendas mundiais de VEs em decorrente de fatores tais como: redução ou fim de subsídios, crise Energética na Europa agravada pela guerra russo-ucraniana, inflação e possível recessão nos EUA. Porém, permanece com a projeção de aumento de vendas para o horizonte até 2030 nos mercados europeus, chinês e norte-americano.

Conforme Vieira *et al.* (2021), uma das preocupações do consumidor referente aos veículos elétricos são: o custo elevado para aquisição, falta de infraestrutura para recarga e autonomia do veículo. Sendo que o custo elevado tem um fator impeditivo na substituição da frota de VCIs por VEs.

Segundo investigação realizada por Sinigaglia (2023) que compilou diversos estudos estrangeiros, principalmente europeus, norte-americanos e chineses, com referência aos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) que impactam os VEs, classificando-os em fatores político-sociais, tecnológicos, econômicos, marketing e ambientais. O autor cita que os FCS mais citados nos estudos pesquisados foram: 20% referente a disponibilidade de estações de carregamento ou reabastecimento, indicando que esse é um requisito indispensável; 12% referente aos incentivos financeiros como reduções ou isenções de impostos; 10 % associado

ao preço do veículo. Sendo que todos os FCS influenciam no comércio e no ciclo de vida da tecnologia. O resultado da pesquisa para esses fatores está mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Fatores críticos de sucesso para os veículos elétricos.




Fonte: Sinigaglia (2023).

Para a análise exploratória inicial do tema desse trabalho, foi utilizada a busca no portal de periódicos da CAPES (2023) com as palavras chaves: veículo elétrico e viabilidade financeira, as quais resultaram em 2 documentos encontrados. Também, foi feita a busca em Google Acadêmico (2023) para o período entre 2018 até 2023 com as palavras chaves: viabilidade técnica, financeira, veículo elétrico, fotovoltaico, fotovoltaica, delimitando-se aos 50 primeiros documentos. Foi refeito a busca, porém, com a palavra chave Nissan Leaf e custo, delimitando-se aos primeiros 100 trabalhos apresentados. Das buscas efetuadas, foram desconsiderados 122 documentos pela análise do título, o qual foi verificada a não compatibilidade com o tema desse trabalho. Para o restante dos documentos foi feita a

análise de conteúdo permitindo considerar ou não o documento encontrado de acordo ao tema desse trabalho. A relação por tipo de documentos está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise de documentos presentes na pesquisa inicial exploratória sobre o tema.

| Análise | Tipo | Google Acadêmico | Periódico CAPES | Total Geral |
|---|---|---|---|---|
| Considerado | Artigo | 7 | 1 | 8 |
| | Dissertação Mestrado | 2 | 0 | 2 |
| | Monografia graduação | 5 | 0 | 5 |
| Considerado Total | | 14 | 1 | 15 |
| Desconsiderado | Artigo | 5 | 1 | 6 |
| | Dissertação Mestrado | 4 | 0 | 4 |
| | Monografia graduação | 5 | 0 | 5 |
| | Notícia | 1 | 0 | 1 |
| | Trabalho Iniciação Científica | 1 | 0 | 1 |
| Desconsiderado Total | | 16 | 1 | 17 |

Fonte: Autoria própria.

Assim, dos 152 documentos encontrados no total, 15 apresentaram alguma conexão com o tema desse trabalho, para os quais foram feitos breves resumos que estão descritos a seguir.

Oliveira, Kolodzei e Costa (2018) avaliaram técnica e econômicamente a implantação de um estacionamento fotovoltaico no campus Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná com o objetivo de redução dos custos com energia elétrica da instituição. O local possui modalidade tarifária Horária Verde, subgrupo A4. Utilizou-se os indicadores *Payback* descontado, VPL e TIR na análise. Conclui-se que o projeto possui um retorno de investimento em 7 anos.

Antunes (2018), faz uma abordagem informativa sobre VEs e seus benefícios. Em seu trabalho apresenta o custo com a energia elétrica de 0,06 R$/km para São Paulo no ano de 2018, citando o valor de 0,30 R$/km para veículo a combustão interna a gasolina e etanol, com base em notícia veiculada, mostrando que esse é um dos benefícios do VE, seu custo de operação.

Segundo Casagrande Junior *et al.* (2019) analisam a emissão de $CO_2$ do VE *Nissan Leaf* 2018, utilizando um SFVCR. Utilizam dados de consumo do veículo de 7,3 km/kWh. Utilizam a ideia de aproveitar o excedente de geração de energia de um escritório para carregar o automóvel. Conclui que, 683,28 kg$CO_2$ seriam economizados em um ano utilizando o VE frente ao VCI *Chevrolet Ônix*.

Pg Abas *et al.* (2019) apresesentam um estudo de viabilidade técnica e econômica e análise ambiental comparando o VE Mitsubishi i-MiEV, com o VEH Toyota Prius e os VCIs Toyota Vios e Toyota Corolla Altis para o mercado de Brunei na Ásia. Em sua metodologia utiliza o Custo de Ciclo de Vida (CCV) para 12 anos e uma distância percorrida anual de 14.235 km, incluindo os seguintes custos: aquisição; operação com as componentes de custo combustivel e eletricidade, custos com seguros anuais e licenciamento; manutenção com as componentes de custo de revisão, troca de bateria e troca de pneus. Eles consideram o valor residual da bateria e do valor de venda do veículo como sucata no fim da vida do veículo. Informam que a eletricidade e a gasolina possuem valores subsidiados pelo governo. Seu estudo demonstrou, que para esse mercado, a ordem de menores custos foram: o VCI *Toyota Vios*, o VEH *Toyota Prius*, o VE *Mitsubish i-MiEV* e por último o VCI *Toyota Corolla Altis*. Eles também resumem estudos para o ano de 2015 em que os CCVs dos VEs variam de país para país, apresetando custos menores do que os VCIs quando possuem subsídios e incentivos fiscais do governo.

Vasco (2020) apresenta uma pesquisa bibliográfica sobre o retorno financeiro, entre o *Tesla EV* e um veículo a Diesel para o mercado americano, e o custo de energia por km para o mercado europeu entre o *Renault Zoe* e o *Renault Sandero*.

Dutra (2020) faz um estudo de caso de viabilidade econômica para uma casa inteligente no Ceará, que entre as variáveis do trabalho, apresenta a utilização do Nissan Leaf 2018, concluindo que o "EV não é benéfico em termos de dinheiro", para essa situação com a casa inteligente.

Pezerico (2020) apresenta um estudo de caso de viabilidade econômica utilizando o *Net Present Cost*(NPC) para a instalação de um SFVCR em uma residência inteligente para um cliente da empresa 3E Energia na cidade de Cruz Alta-RS e de um veículo elétrico, considerando-se a aplicação da tarifa branca de energia elétrica. O veículo considerado foi um Nissan Leaf com bateria de 40 kWh e distâncias percorridas de 30 km/dia e 150 km/dia. Não considerou perdas de eficiência no processo. Apresentou 3 cenários distintos, um sem usar o SFVCR, outro utilizando o SFVCR e outro utilizando o VE para suprir parte da energia da residência. Assim, conclui que a utilização do SFVCR reduz o NPC pela metade para os cenários de 30 km e 150 km percorridos.

Coimbra, Araujo e Faesarella (2020) fizeram a análise econômica para a instalação de uma estação de recarga com duas saídas de 7,4 kVA em um estacionamento existente na

universidade São Francisco, no campus de Itatiba - SP, comparando-o com a alimentação de energia elétrica fornecida pela concessionário e por um SFV. Considerou o custo de 0,64 R$/kWh e atualização monetaria anual de 12%. Sendo apresentados 2 cenários, 1 com 4 VEs e outro com 6 VEs. Para o investimento inicial consideraram o valor do SFV de R$ 60.000,00 e R$ 90.000,00 e desconsideram o valor da estação de recarga. Consideram a troca do inversor no décimo ano. Utilizam o VPL, com taxa de atratividade de 7% e período de 25 anos no valor de R$ 320.220,65 e R$ 498.663.35, com *Payback* simples para os dois cenários menor do que 5 anos.

Félix (2021), estudou a viabilidade técnico econômica para a instalação de um SFV na Indústria Pão de Mel localizada em Setúbal, Portugal. Propõem 4 cenários de análise. Um cenário utiliza VEs, o *Nissan E-NV200*, alimentado por SFV, o segundo cenário, utiliza um sistema de armazenamento de bateria. Outro cenário somente com a energia proveniente do SFV para fornecer a energia à indústria. O quarto cenário utiliza um SFV como Geração Distribuída (GD), proveniente de outras unidades da indústria, não contando com os VEs. Na análise financeira são utilizados o *Payback* descontado, VPL, TIR e o *Levelized Cost of Energy* (LCOE). Nos cálculos não foi considerado o custo com a aquisição do VE. Para o dimensionamento do SFV, foi utilizado o programa PVSOL. Em todos os cenários pesquisados pelo autor possuem viabilidade financeira.

Thomé (2021) fez a análise de viabilidade econômica para a substituição da frota de 47 VCIs por VEs de uma unidade da Base Aérea localizada na cidade de Santa Maria – RS, atendido por rede de MT 13,8 kV e com planta solar de 125 kW. Na pesquisa foi considerada a autonomia total do veículo na determinação do consumo de energia elétrica, sendo analisados 3 cenários diferentes. O primeiro com a energia elétrica proveniente da concessionária em que é considerado um custo médio de R$ 0,84 kWh, isto geraria uma redução de custos de 49,6% com abastecimento dos VCIs. O segundo cenário, as recargas dos VE serão provenientes do sistema fotovoltaico o que resultou em uma redução de 100% em relação a frota de VCIs. O terceiro com o SFV e a recarga proveniente da energia armazenada em baterias foi desconsiderado pelo custo associado a esse cenário. Apesar de ser citado o *Nissan Leaf* no trabalho, não é apresentado a viabilidade financeira com esse veículo.

Cavalcante Júnior e Couras (2021) estudaram o resultado econômico entre 2 veículos, em que os dados de consumo utilizados foram os fornecidos pelas montadoras dos veículos e pelo Inmetro, considerando somente o trajeto urbano e a utilização de gasolina, nos modelos

VCI *Chevrolet Onix*, o veículo híbrido *Toyota Corolla Hybrid* e o VE *Chevrolet Bolt*. Elencou os pontos negativos dos VEs, maior valor de aquisição e uma autonomia menor que um VCI. Para o aspecto positivo é o custo por quilômetro rodado e custo de revisão, os quais foram utilizados na obtenção dos custos. Concluíram que em 4 anos os custos associados ao VE seriam 80% do VCI.

Lucca (2021) analisou a viabilidade técnica de geração de energia elétrica de um SFV para a Universidade Federal de Santa Maria que pertence ao grupo tarifário A4, alimentado em média tensão, substituindo-se a frota atual de VCIs por VEs, afirmando que teria um retorno econômico a instituição em “poucos anos”, mesmo considerando o valor de aquisição do VE.

Andrade (2022) fez um estudo com os custos de energia elétrica referente ao carregamento do Nissan Leaf 2018 em uma viagem de ida e volta realizada entre Santo Tirso e Miranda de Douro em Portugal, cuja distância é de 277 km, onde foram utilizados os preços da energia fornecida pelos eletropostos para a recarga do veículo.

Souza *et al.* (2022) fizeram uma análise de viabilidade econômica para a instalação do SFV e estações de recarga rápida com a substituição da frota de 1.267 VCIs por VEs em Fernando de Noronha, Brasil. Utilizaram os índices de análise de investimento VPL, TIR e *Payback*. Concluíram que o projeto seria viável para um investimento de R$ 4.296.177,00 com um *Payback* de 6 anos e 10 meses e VPL de R$ 7.884.741,72 e TIR de 24%.

Zanella (2022) analisou a viabilidade de um SFVCR para um cliente do Grupo A, em que a energia elétrica foi comercializada, considerando um valor fixo de R$ 0,73 por kWh a ser pago à concessionária e R$ 0,95 kWh para a venda, utilizando 4 tipos de estação de recarga, com 150 kW, 60 kW, 22 kW e 7,5 kW. Utilizou um período de 13 anos, sendo que o único caso víavel seria o de 22 kW com um investimento de R$ 1.388.305,00, VPL de R$12.916,30 e TIR de 11,83%.

Menezes (2022) utilizou ferramentas estatísticas para comparar diversos veículos dos grupos *hatch*, *sedan e SUVs* sendo eles elétricos e híbridos como substitutos plausíveis para os VCIs na composição de uma frota de 12 veículos. No trabalho considerou a vida útil de 150.000 km, sendo realizada uma média de custo pela distância da vida útil para os custos de aquisição, manutenção, combustível e revenda. Concluiu que a melhor solução é a implentação de 25 % da frota composta pelo VE Renault *Zoe* e o VEH *Corolla Hybrid* onde não

seja possível utilizar somente veículos elétricos. A Tabela 2 mostra os custos médios encontrados.

Tabela 2 – Custo médio específico por quilômetro para veículos elétricos e a combustão.

| Elétrico | R$ / km | Combustão | R$ / km |
|---|---|---|---|
| *Jac e-JS1* | 0,53 | *HB20 Comfort* | 0,79 |
| *Renault Zoe* | 0,57 | *Renault Kwid* | 0,63 |
| *Peugeot e-208* | 0,62 | *Fiat Argo* | 0,78 |
| *Fiat E500* | 0,57 | *Chevrolet Onix* | 0,67 |
| *Chevrolet Bolt EV* | 0,61 | *VW Gol* | 0,68 |
| *Nissan Leaf* | 0,7 | *Fiat Mobi* | 0,72 |

Fonte: Adaptado de Menezes (2022).

Galeski (2023) apresenta um artigo sobre 3 veículos elétricos, 2 *Nissan Leaf* 2018 e um *BYD*, utilizados pela Polícia Militar de São Paulo. O trabalho apresenta a quantificação de custos para um período de 3 meses em uma distância percorrida de 23.811 km para as três viaturas, como resultado obteve uma redução de 71% dos custos comparando as viaturas à gasolina e 73% as comparadas a etanol. Não há apresentação de custos com manutenção, pelo tempo de apenas 3 meses do estudo.

Dada a pesquisa bibliográfica inicial, verificou-se que o presente trabalho se justifica, pois, faz a análise técnica e econômica comparando VE e VCI em 4 categorias. Na análise técnica considerou a infraestrutura necessária para a instalação de um sistema fotovoltaico e da estação de recarga, bem como comparativos de consumo específico dos dois veículos. Na análise econômica, apresenta o levantamento, cálculo e estimativas de custos de Energia Elétrica (EE), combustível, custos de revisão dos veículos, custos de aquisição, impostos e taxas, tais como IPVA, licenciamento, ICMS, PIS, COFINS e COSIP, todos estes com sua devida taxa de atualização monetária. A pesquisa foi implementada com 3 cenários e 4 hipóteses, em um estudo de caso de uma residência, com ligação trifásica e faturamento do consumo de energia elétrica B1 (residencial), localizada em Campo Grande, MS. A análise de viabilidade econômica considerou o indicador de Valor Presente Líquido (VPL).

Além disso, sob o aspecto de sustentabilidade, o VE é uma tendência mundial de utilização, com uma eficiência energética melhor que o VCI. Esse tipo de veículo sendo carregado a partir de uma matriz energética, majoritariamente, proveniente de fontes renováveis, como a brasileira, promove a redução de Gases do Efeito Estufa. E se utilizado a

energia fotovoltaica, também será sustentável visto que é uma fonte renovável, disponível, acessível e incentivada.

Do ponto de vista tecnológico, a utilização do VE e do SFVCR, promove a autossuficiência de combustíveis fósseis e reduz a dependência da energia elétrica proveniente da concessionária.

Sob o viés econômico, salienta-se o aumento da energia elétrica de 114% entre 2015 e 2022 (ANEEL, 2023), da gasolina em 228% (BRASIL, 2023) e da inflação de 48% (IBGE, 2024). Além da justificativa social, pois o presente trabalho pode servir de guia decisório para a aquisição desses tipos de veículos.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Esse trabalho tem o objetivo geral de contribuir com subsídios técnicos e econômicos que levarão a economia dos consumidores e para a sustentabilidade pela substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos alimentados por geração renovável fotovoltaica. Apresentar o estudo de viabilidade econômica e técnica da aquisição dos veículos à combustão interna e elétricos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

a. Obter o consumo específico de veículos a combustão interna e elétricos;
b. Apresentar o estudo de formas variadas de consumo para a análise de viabilidade técnica e econômica
c. Determinar a economia com os custos dado a utilização do SFVCR.
d. Determinar a distância diária percorrida em que o veículo elétrico se torna viável economicamente em comparação ao veículo a combustão interna.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho abarca quatro grandes assuntos que estão interligados entre si. A primeira unidade trata sobre os Veículos Elétricos à Bateria (VEB), a segunda sobre Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), tarifação da energia elétrica para a geração distribuída e, a última, sobre a análise econômica.

## 2.1 Veículos elétricos

Os carros elétricos têm sido a principal solução para a diminuição dos gases do efeito estufa (GEE) para veículos de transporte de pessoas. Sob o tema da mobilidade elétrica, tem-se implementado políticas públicas e incentivos fiscais para que os VEs substituam gradativamente os veículos a combustão interna (VCIs) (HAWKINS *et al.*, 2013).

FGV ENERGIA (2017, p. 15) apresenta a definição de VEs:

> Veículos elétricos (VEs ou EVs, da sigla em inglês Electric Vehicles) são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para propulsão. O combustível dos veículos elétricos é a eletricidade, que pode ser obtida de diferentes maneiras: conectando diretamente à fonte externa de eletricidade, por meio de plugs ou utilizando cabos aéreos; recorrendo ao sistema de indução eletromagnética; a partir da reação do hidrogênio e oxigênio com água em uma célula de combustível; ou por meio da energia mecânica de frenagem (frenagem regenerativa, ao se frear o veículo). Essa eletricidade, em seguida, é armazenada em baterias químicas que alimentam o motor elétrico.

Segundo a FGV Energia (2017), nem todo carro considerado elétrico é movido exclusivamente por energia elétrica. Existem no mercado 4 tipos diferentes de tecnologias associados ao VE, os elétricos à bateria, híbridos, célula combustível e os alimentados por cabos externos.

Os VEB ou BEV (*Battery Electric Vehicle*), que traduzido significa: veículos elétricos a bateria, são veículos totalmente elétricos, movidos com motor elétrico alimentados pela energia armazenada nas baterias que são carregadas por uma fonte externa (plug-in), isto é, conectado a tomada. Portanto, também são denominados *Plug-in Electric Vehicle* (PEVs). Por utilizar somente energia elétrica como combustível, eles são classificados como *all-electric* (FGV ENERGIA, 2017).

Os veículos elétricos híbridos (VEH) são veículos que possuem dois ou mais sistemas de energia para propulsão. Eles são classificados em: série e paralelo. São denominados série,

quando se utiliza o motor elétrico para impulsionar o carro e o motor a combustão interna (MCI) para fornecer energia ao motor elétrico. Os chamados paralelos utilizam tanto o motor elétrico como o motor a combustão para a propulsão. (FGV ENERGIA, 2017).

Uma subclassificação para os híbridos é denominada de puro, ou o *Hibrid Electric Vehicle* (HEV), onde a função do motor elétrico é melhorar a performance do motor a combustão interna (MCI) , que é o responsável pela propulsão do carro, acrescentando torque nas acelerações. Outra subclassificação para o VEH é denominada de paralelo ou veículo elétrico híbrido *plug-in* em que o MCI é o motor principal, e o elétrico é utilizado para pequenas distancias e permite receber energia diretamente de uma fonte externa. Os híbridos de longo alcance são chamados *Extended Range Electric Vehicle* (E-REV), são do tipo série, em que o principal motor é o motor elétrico (FGV ENERGIA, 2017).

A grande vantagem dos carros híbridos sobre os puramente elétricos é a autonomia. Pois, o MCI permite ao carro percorrer distâncias maiores e, claro, se beneficiar da infraestrutura de postos de combustíveis espalhados pelo mundo para reabastecimento (FGV ENERGIA, 2017).

Os híbridos movidos a hidrogênio, *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV), são aquelas cuja reação química do hidrogênio com o oxigênio produz a eletricidade necessária para alimentar o motor elétrico. Essa reação gera calor e água sem emissões de GEE na fase de uso. Estes veículos possuem autonomia semelhante aos de combustíveis fósseis. Também podem ser conectados à rede de energia elétrica externa ou não. (FGV ENERGIA, 2017)

Por fim, existem os veículos elétricos alimentados por cabos externos, *Road Powered Electric Vehicle* (RPEV) que possuem a alimentação vindos de cabos elétricos externos. Estes veículos possuem a um sistema de conexão a esses cabos. São exemplos destes os *trolley buses* (trólebus) e os Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs).

### 2.1.1 História resumida dos veículos elétricos

Os VE foram desenvolvidos antes dos VCI, há informações, de que já existiam, pelo menos, 27 anos antes. Tiveram seu desenvolvimento logo após a descoberta da interação entre corrente elétrica e campo magnético, o que proporcionou o desenvolvimento de motores elétricos.

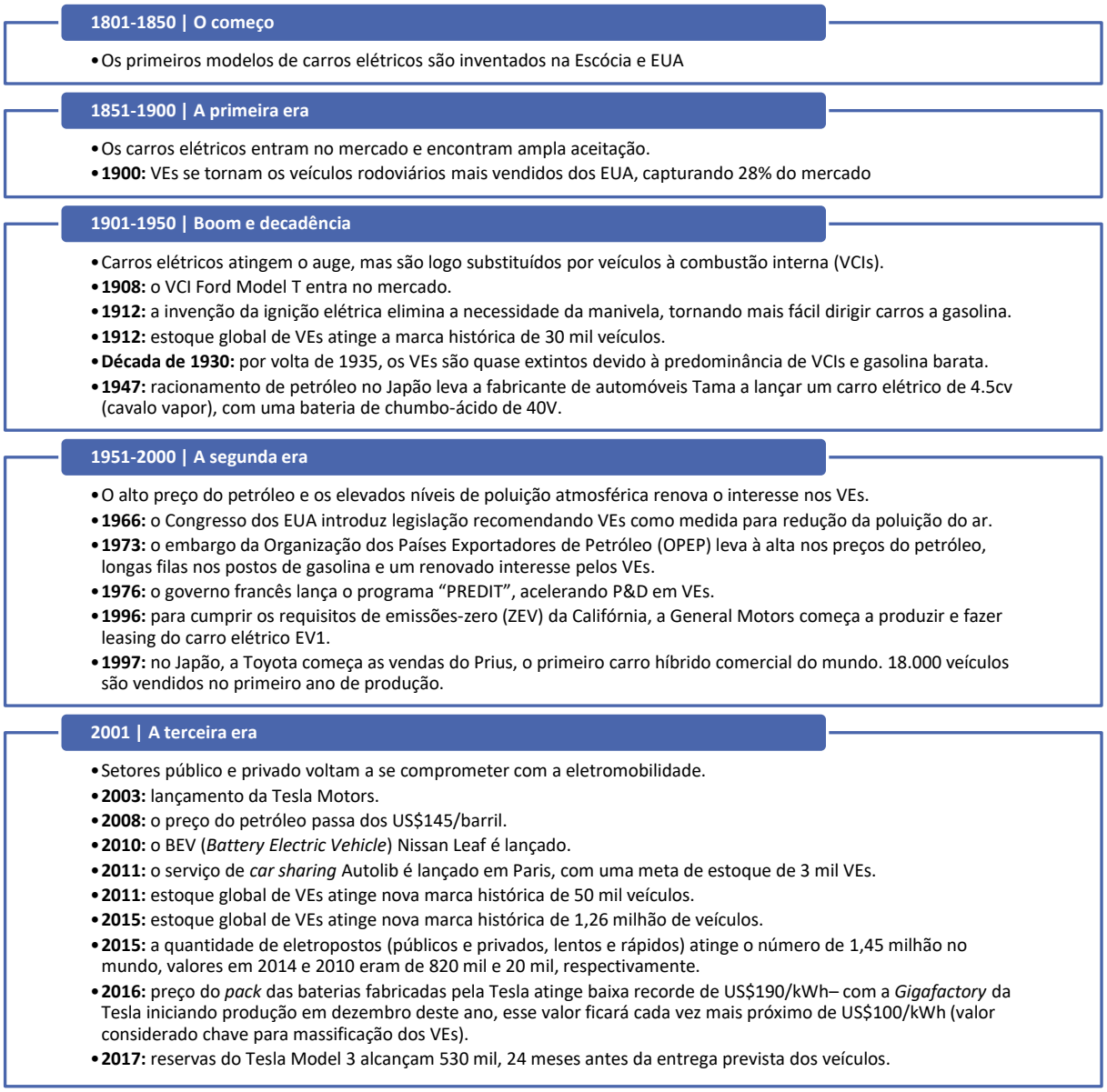
Conforme Souza (2022), o trabalho de Michael Faraday em 1821 intitulado Rotação Eletromagnética, principiou o uso dos motores elétricos. Larminie e Lowry (2012) informam que o primeiro motor elétrico de corrente contínua do tipo comutador capaz de girar máquinas foi inventado pelo cientista britânico William Sturgeon em 1832.

#### 2.1.1.1 Linha do tempo dos veículos elétricos no mundo

No período de quase 190 anos desde sua invenção, os VEs utilizados para o transporte rodoviário, já foram demandados e quase extintos por pelo menos 3 vezes. No início dos anos 1900, ele chegou a ser concorrente dos VCI, mas dado fatores econômicos, tiveram sua utilização reduzida a poucos ambientes. Porém, toda vez que o mundo foi impactado pelas crises do petróleo, essa tecnologia novamente foi trazida à tona. A partir da década de 1990, os problemas ambientais pela emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE), enfermidades respiratórias e acordos mundiais na mitigação das mudanças climáticas promoveram novamente a utilização do VE como uma solução viável para a mobilidade urbana.

De acordo a FGV Energia (2017), pode-se montar uma linha do tempo com os principais fatos que marcaram a história dos veículos elétricos que estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Linha do tempo para os veículos elétricos.

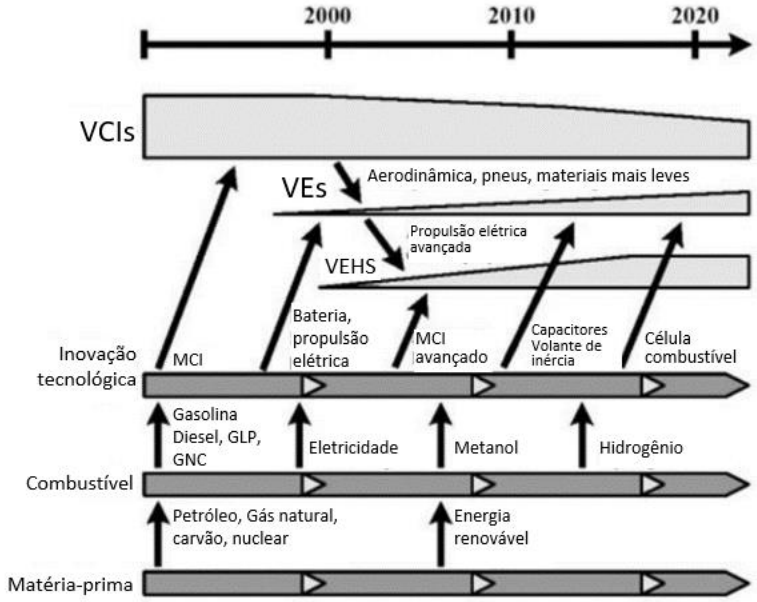



Fonte: Adaptado de FGV Energia (2017).

### 2.1.2 Tendências de desenvolvimento

A Figura 3 foi criada por Lalith, Ghatge e Setloor (2021), que investigaram as tendências de desenvolvimento dos VEs contidos de artigos científicos publicados em várias conferências internacionais nos últimos anos.

Figura 3 – Tendências de desenvolvimento associados aos veículos elétricos.




Fonte: Adaptado de Lalith, Ghatge e Setloor (2021).

Segundo os autores, O *Internal Combustion Engine Vehicle* (ICEV) ou VCI é a tecnologia mais madura e desenvolvida atualmente. A partir dessa tecnologia, foram utilizados os conceitos e estudos de aerodinâmica, pneus e leveza dos materiais, sistemas de armazenamento de energia que poderiam ser aplicados aos *Electric Vehicle* (EVs) ou VEs e *Hybrid Electric Vehicle* (HEVs) ou VEHs. O desenvolvimento de combustíveis como o metanol e o hidrogênio, tem permitido o desenvolvimento de tecnologias como a célula combustível que podem ser aplicados os VEs.

Esses mesmos autores comentam que para o sistema de propulsão, têm sido dominantes os trabalhos de pesquisa sobre acionamentos de motores de indução (MI) e acionamentos de motores de ímã permanente (PM). Já para os acionamentos de motor CC, tem havido uma redução de trabalhos publicados e acionamentos de motor de relutância comutada (SR) estão em um estágio inicial.

Com respeito à tendência de desenvolvimento de pesquisa de várias fontes de energia, tais como: baterias de chumbo-ácido (PbAB), baterias de níquel (NB), baterias de lítio (LB), células de combustível (FC) e ultracapacitores/volantes (UC), o número de artigos publicados sobre LB, FC e UC estão se tornando cada vez maiores, embora PbAB e NB ainda estejam em constante aperfeiçoamento.

### 2.1.3 Veículos Elétricos a Bateria (VEB)

Os VEB são veículos movidos com motor elétrico alimentados pela energia armazenada nas baterias e/ou ultracapacitores, sendo carregadas de uma fonte externa, normalmente proveniente do sistema elétrico de potência. Como características, não possuem emissão de GEE na fase uso, possuem uma autonomia menor comparadas ao VCI e um alto custo inicial. Os maiores desafios para sua implementação são: o custo, o desenvolvimento de baterias com maior energia específica, a mudança da frota de VCIs por VEs pode vir comprometer o sistema elétrico de potência e normalmente requer a instalação de novos circuitos nos edifícios onde serão implementados podendo sobrecarregar a infraestrutura elétrica, requerendo custos adicionais. O Quadro 1 apresenta um resumo com os principais pontos referente ao VEB (LALITH, GHATGE e SETLOOR, 2021).

Quadro 1 – Resumo com os principais pontos dos VEB.

| Sistemas | Descrição |
|---|---|
| Propulsão | Motores elétricos |
| Sistema de energia | Bateria |
| | Ultracapacitor |
| Fonte de energia e infraestrutura | Sistema elétrico de potência |
| Características | Emissão zero |
| | Independência de combustíveis fósseis |
| | Baixa autonomia 100-200 km |
| | Alto custo inicial |
| | Disponível comercialmente |
| Maiores desafios | Bateria e gerenciamento da bateria |
| | Alto desempenho do sistema de propulsão |
| | Sobrecarregamento das instalações |

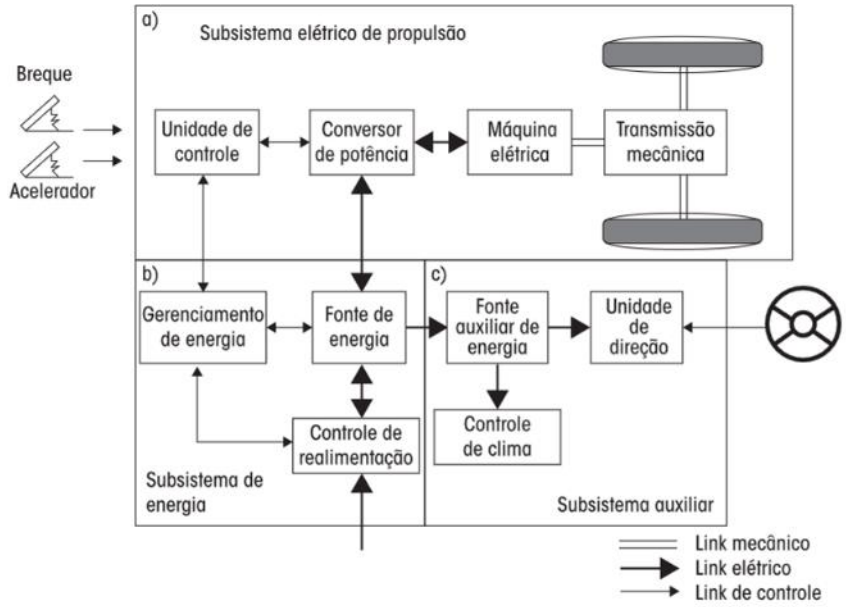
Fonte: Adaptado de Lalith, Ghatge e Setloor (2021).

Em comparação aos VCI, o VEB possui uma autonomia menor e a falta de infraestrutura para carregamento da bateria e o tempo dessa recarga (SANTOS, 2020).

A Figura 4 apresenta o esquema de operação do veículo baseado na arquitetura de três subsistemas presentes no VEB: o de propulsão, o de energia e o auxiliar. Os pedais de aceleração e de freio enviam os sinais ao controlador do veículo, que por sua vez atua no subsistema de energia, regulando o fluxo de energia entre o motor elétrico e a fonte de energia e vice-versa. Por outro lado, os sentidos das setas indicando que o fluxo de energia está vindo da máquina elétrica para a fonte de energia, mostra a energia proveniente da

frenagem regenerativa, em que a máquina elétrica se comporta como gerador. Nessa situação a unidade de gerenciamento de energia envia sinais ao controlador do veículo, atuando na recuperação de energia. O gerenciamento de energia também trabalha conjuntamente com o controle de realimentação no carregamento do sistema de energia proveniente de uma fonte externa. Por fim, fazem parte do subsistema auxiliar, o volante que está conectado a direção elétrica, a climatização do veículo e a unidade de alimentação auxiliar (SANTOS, 2020).

Figura 4 – Representação esquemática dos subsistemas de uma VEB.




Fonte: Santos (2020)

O sistema de propulsão do VEB é formado por motores elétricos, conversores de energia e controladores eletrônicos. Os motores elétricos fazem a conversão da energia elétrica em energia mecânica, e na frenagem atuam como geradores, carregando o sistema de armazenamento de energia, que podem ser baterias, ultracapacitores ou células combustíveis (SANTOS, 2020).

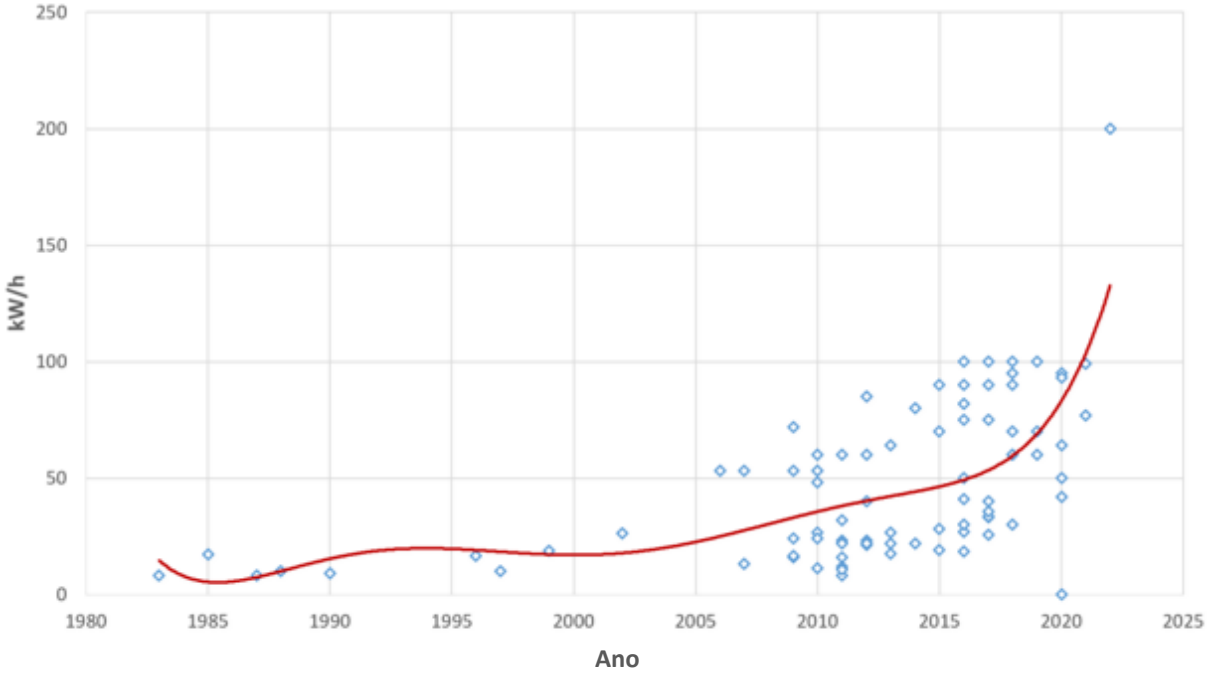
O conversor de energia, também chamado de conversor on-board, tem a função de fornecer tensão e corrente corretas ao motor, controlando a velocidade e torque do motor. O controlador eletrônico, possui três partes: sensor, circuito de interface e processador. O sensor é usado para quantificar grandezas como: corrente, tensão, temperatura, velocidade, torque e fluxo. O circuito de interface transforma esses valores em sinais elétricos, sendo analisados pelo processador que envia os comandos para comandar o conversor de energia.

Os motores elétricos para VEs devem apresentar vários requisitos de operações, dada as características dinâmicas no processo de condução do veículo em diferentes ambientes, tais como: partidas e paradas frequentes; elevadas taxas de aceleração e desaceleração; alto nível de torque em subidas a uma baixa velocidade; e faixa de velocidade ampla (SANTOS, 2020).

### 2.1.4 Armazenador de energia

Segundo Sanguesa *et al.* (2021), as baterias são os maiores obstáculos para a implementação dos VE em lugar dos VCIs, devido ao seu custo e capacidade. Por exemplo, a bateria custa aproximadamente um terço do Nissan Leaf. Pesquisas têm aperfeiçoado a capacidade das baterias conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Evolução da capacidade das baterias desde 1980.

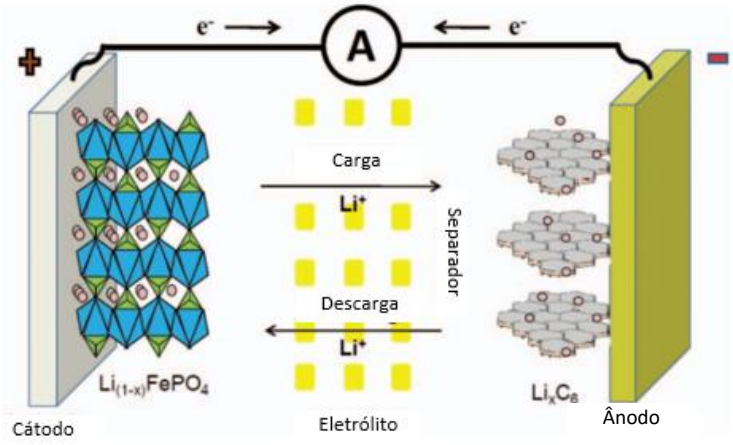



Segundo Tapia (2020), as baterias Li-Íon são, atualmente, amplamente utilizadas, sendo possível encontrar esse tipo de bateria em uma grande variedade de dispositivos: celulares, notebooks, tablets, aparelhos médicos, veículos (de scooters a caminhões), luzes, brinquedos, ferramentas, entre muitos outros. Conforme Sanguesa *et al.* (2021), é o tipo de bateria mais utilizadas em VEs e VEHs

Uma bateria de íon de lítio é uma bateria recarregável na qual os íons de lítio se movem entre o ânodo e o cátodo, criando um fluxo de eletricidade. O lítio no ânodo é emitido para o

eletrólito. Os íons de lítio se movem através de um separador de plástico poroso e entram no cátodo. Ao mesmo tempo, os elétrons são liberados do ânodo, fazendo com que surja uma corrente elétrica fluindo para um circuito elétrico externo. Durante o carregamento, os íons de lítio vão do cátodo para o ânodo através de um separador. Como esta é uma reação química reversível, a bateria pode ser recarregada, como mostrado na Figura 6 (LARMINIE e LOWRY, 2012)

Figura 6 – Esquema de funcionamento de uma bateria de íon lítio




Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2011).

Para o ânodo, o grafite é o material mais popular. Para o cátodo, pode ser utilizado o óxido em camadas (como o óxido de cobalto de lítio), um poliânion (como o fosfato de ferro de lítio) ou um espinélio (como o óxido de manganês de lítio). O eletrólito é tipicamente uma mistura de carbonatos orgânicos. Recentemente, novas arquiteturas usando nanotecnologia têm sido empregadas para melhorar o desempenho. A reação química geral da bateria é dada pela Equação (1): (LARMINIE e LOWRY, 2012)

$$Li_x + M_yO_z \leftrightarrow 6C + Li_x\, M_yO_z \qquad (1)$$

As baterias de íon de lítio são mais caras que as baterias NiCad. Elas são frágeis e, portanto, precisam de um circuito de proteção para limitar as tensões de pico. Suas vantagens são: operam em uma faixa de temperatura mais ampla com densidades de energia mais altas; são menores e mais leves; apresentam uma energia específica é cerca de três vezes maior do que as baterias de chumbo-ácido; permitindo ao carro uma autonomia maior (LARMINIE e LOWRY, 2012).

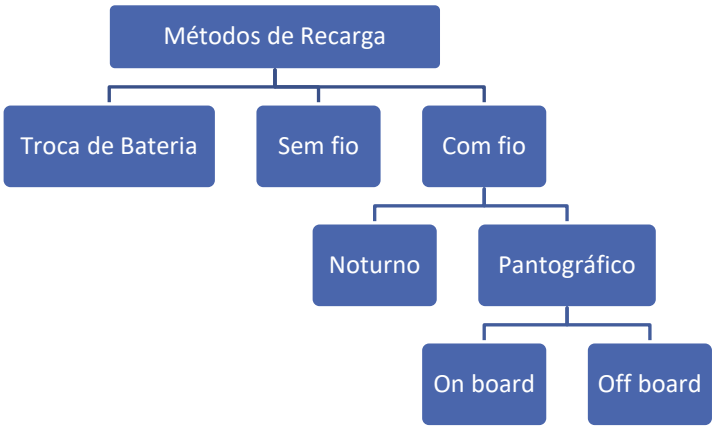
#### 2.1.4.1 Eficiência de carregamento da bateria

A eficiência de carregamento da bateria é definida como a razão entre a energia elétrica fornecida por uma bateria e a energia elétrica necessária para reestabelecê-la ao estado anterior à descarga. A eficiência dependerá da forma como a bateria é usada, o tipo de bateria, temperatura e taxa de carregamento e do estado da carga. Quando a bateria se encontra entre 10% e 80% carregada a eficiência de carregamento será próxima a 100%, porém, há uma redução da eficiência quando o carregamento está acima de 80% ou menor do que 10%. Outro ponto, é a velocidade de recarga, se ela for carregada ou descarregada rapidamente, por exemplo, a eficiência energética diminui (LARMINIE e LOWRY, 2012).

### 2.1.5 Métodos de recarga

Troca de bateria, carregamento sem fio e com fio são as três principais técnicas de carregamento dos VEs. Essa classificação está mostrada na Figura 7.

Figura 7 – Classificação dos métodos de recarga



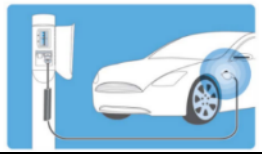
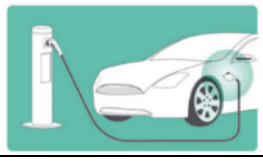
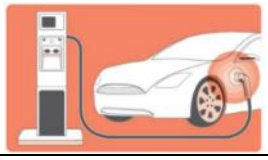

Fonte: Próprio autor.

O sistema sem fio, usa duas bobinas para esta técnica, que se baseia na indução eletromagnética. A bobina primária é instalada na estrada, enquanto a bobina secundária é instalada dentro do carro. Essa tecnologia tem ganho popularidade, pois permite que os VEs sejam recarregados com segurança e facilidade durante a condução do veículo sem a necessidade de um conector padrão, ainda que esta necessite de um padrão de tecnologia de acoplamento (LALITH, GHATGE e SETLOOR, 2021).

O carregamento por intermédio de cabos requer uma conexão elétrica entre o carro e a estação de recarga, oferecendo uma alta eficiência nos vários modos de carregamento, discriminados no Quadro 2 (LALITH, GHATGE e SETLOOR, 2021).

A IEC 61851-1 apresenta a definição dos quatro modos de recarga para VE e estão apresentados no Quadro 2. Referente a potência das estações de recarga, classificam-nas conforme tempo de recarga, sendo elas: carga lenta, semirrápida, rápida AC e rápida DC.

Quadro 2 – Modos de carga para veículos elétricos

| | |
|---|---|
| | O modo 1 utiliza-se uma tomada de energia simples para a carga do veículo. Considera-se carga lenta. |
|  | O modo 2 também utiliza uma tomada de energia simples, porém a conexão entre a tomada e o veículo é feita por um cabo que possui uma proteção. Considera-se como carga lenta |
|  | O modo 3 já utiliza um carregador veicular, com função de controle e proteção instaladas. Envolve cargas lentas, semirrápidas e rápidas. |
|  | O modo 4 trata-se de carga rápida onde a estação de carga converte corrente alternada para corrente contínua e fornece energia ao veículo. Isto faz com que o veículo possa ser carregado em 20 minutos. |

Fonte: Adaptado de (SESKO, 2016).

O Quadro 3 apresenta as definições conforme potencias, tensão e tempo de recarga. Para a instalação do carregador veicular ou estação de recarga, deve-se fazer uma análise minuciosa da instalação elétrica, com possíveis mudanças de cabos, proteções, medidores e quadros de proteção para fazer o correto dimensionamento para o atendimento dessa nova carga.

Quadro 3 – Classificação das estações de recarga conforme norma IEC 62196.

| Tipo de Carga | Fase | Corrente Máxima | Tensão (máxima) | Potência máxima | Conector específico |
|---|---|---|---|---|---|
| Modo 1 | Monofásico CA | 16 A | 230-240 V | 3,8 kW | Não |
| | Trifásico CA | | 480 V | 7,6 kW | |
| Modo 2 | Monofásico CA | 32 A | 230-240 V | 7,6 kW | Não |
| | Trifásico CA | | 480 V | 15,3 kW | |
| Modo 3 | Monofásico CA | 32-250 A | 230-240 V | 60 kW | Sim |
| | Trifásico CA | | 480 V | 120 kW | |
| Modo 4 | CC | 250-400 A | 600-1000 V | 400 kW | Sim |

Fonte: Adaptado de Sanguesa *et al.* (2021).

### 2.1.6 Estação de recarga

Este tópico tem a finalidade de apresentar informações pertinentes sobre carregadores veiculares para a linha residencial, tipo lenta, modo 2, que está associado a linha do projeto desse trabalho, também conhecidos como *wallbox*. Será feito um detalhamento para o carregador WEG *Wemob Wall* que se enquadra nessa classificação acima mencionadas.

Conforme visto, existem vários tipos de estações de cargas, desde a lenta até a rápida, e mesmo a ultrarrápida que está em fase de desenvolvimento. São vários os fabricantes que disponibilizam este produto no mercado, entre eles estão: Siemens, Schneider, ABB, Circutor, WEG, Mobility Electric Brasil, ENELX etc.

A Figura 8 mostra os carregadores veiculares da empresa brasileira WEG. Que possui soluções desde a linha para residências, os chamados *wallbox,* até os carregadores com maiores potência destinados a carga rápida, geralmente para uso em eletropostos.

Figura 8 – Carregadores veiculares da marca WEG.

Fonte: WEG (2022a, p. 2)

Conforme WEG (2023), a linha residencial de carregadores *Wemob Wall G2* conta com a possibilidade de aquisição com apenas um tipo de conector, o tipo 1 (padrão europeu) ou tipo 2 (padrão americano). Possui grau de proteção IP65, isto é, proteção total contra poeira e jatos de água por até 3 min com um fluxo de água de 12,5 litros por minuto e proteção UV. Podendo ser instalado internamente ou exteriormente na parede ou com o auxílio de um pedestal. Possui uma tensão de alimentação entre 100 e 240Vca, podendo ser monofásico (F+N+T), 115Vca, 16 A e potência de 3,7 kW ou bifásico (F+F+T), 230 Vca, 32 A e potência de 7,4 kW com a possibilidade de ajuste da corrente nominal em 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24 e 32 A e frequência nominal de 50 ou 60 Hz. Permite conexão com a internet por cabo ou sem cabo e software de gestão de consumo. Esse equipamento é acompanhado por um cabo para o carregamento veicular de 5m ou 7m de comprimento e deve ser instalado a 120 cm de altura.

Para a escolha de um carregador veicular, é necessária a observação de algumas orientações, sendo elas: Potência máxima do conversor *on board* do veículo elétrico, visto que o carregador veicular não fornecerá uma potência maior do que a do conversor; conector do veículo, pois deve-se verificar se o carregador possui o mesmo tipo; tempo hábil para carregamento do veículo, visto que existem carregadores que permitem maiores ou menores tempos, desde que também o veículo permita esse carregamento; necessidade de gestão e comunicação por Internet ou outro protocolo de comunicação. Para esses casos, necessitaria verificar a disponibilidade destas funções incorporadas ao carregador (WEG, 2022b).

A Figura 9 apresenta os veículos elétricos mais vendidos no Brasil no ano de 2022, seus conectores, a capacidade da bateria e o tempo de recarga para uma rede monofásica 220 V e Trifásica 380 V. Caso a rede seja monofásica 127 V e Trifásica 220 V, deve-se considerar o dobro do tempo (WEG, 2023).

Figura 9 – Tempo de recarga de acordo ao carregador e o veículo elétrico .

| Especificações por modelo de veículo elétrico | | | | | | | | | | Tempo de recarga (Brasil)** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fabricante | Modelo | Ano | Bateria [kWh] | Conversor on-board [kW] | | | | Conector | Wall [7,4 kW] | Parking [22 kW] |
| | | | | | 1Ø | Corrente [A] | 3Ø | Corrente [A] | | | |
| Veículos puramente elétricos - BEV | Audi | E-tron | 2019 | 95 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 13:45 | 9:15 |
| | Audi | RS E-tron GT* | 2021 | 93,4 | 7,4 | 32 | 22 | 32 | Tipo 2 | 13:30 | 4:45 |
| | BMW | i3 | 2019 | 42,2 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 6:15 | 4:15 |
| | BMW | i4 | 2021 | 80,7 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 13:00 | 8:45 |
| | BMW | iX | 2021 | 71 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 11:30 | 7:45 |
| | BYD | Han EV | 2021 | 76,9 | 7 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 12:00 | 12:00 |
| | BYD | Tan EV | 2021 | 86,4 | 7 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 15:00 | 15:00 |
| | Caoa Chery | Arrizo 5e | 2021 | 53,5 | 6,6 | 30 | *** | *** | Tipo 2 | 8:28 | 8:28 |
| | Chevrolet | Bolt EV | 2021 | 66 | 7,4 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 9:47 | 9:47 |
| | Citroën | e-Jumpy | 2022 | 75 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 10:00 | 6:50 |
| | FIAT | 500e* | 2021 | 42 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 6:00 | 4:00 |
| | FIAT | e-Scudo | 2022 | 75 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 10:00 | 6:50 |
| | JAC | E-JS1* | 2022 | 30,2 | 7,4 | 32 | *** | *** | GB/T | 3:30 | 3:30 |
| | JAC | E-JS4* | 2022 | 55,1 | 7,4 | 32 | *** | *** | GB/T | 5:55 | 5:55 |
| | JAC | E-J7 | 2022 | 50,1 | 7,4 | 32 | *** | *** | GB/T | 5:45 | 5:45 |
| | JAC | iEV 1200t | 2021 | 97 | 7,4 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 13:00 | 13:00 |
| | Jaguar | I-pace | 2021 | 90 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 13:30 | 9:15 |
| | Mercedes | EQC | 2019 | 85 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 12:45 | 8:45 |
| | Mini | Cooper Eletric* | 2021 | 36,2 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 4:45 | 3:15 |
| | Nissan | Leaf* | 2018 | 40 | 3,6 | 16 | *** | *** | Tipo 1 | 12:45 | 12:45 |
| | Nissan | Leaf e+ | 2019 | 62 | 6,6 | 30 | *** | *** | Tipo 1 | 9:35 | 9:35 |
| | Peugeot | e-208 | 2021 | 50 | 7,4 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 6:45 | 6:45 |
| | Peugeot | e-Expert | 2022 | 75 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 10:00 | 6:50 |
| | Porsche | Taycan* | 2021 | 79,2 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 11:30 | 7:45 |
| | Porsche | Taycan Plus | 2021 | 93,4 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 13:30 | 9:00 |
| | Porsche | Taycan Plus | 2021 | 93,4 | 7,4 | 32 | 22 | 32 | Tipo 2 | 13:30 | 4:30 |
| | Renault | Kangoo | 2017 | 33 | 7,4 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 6:00 | 6:00 |
| | Renault | Kwid | 2022 | 27,4 | 7 | 32 | *** | *** | Tipo 2 | 2:50 | 2:50 |
| | Renault | ZOE | 2018 | 41 | 7,4 | 32 | 22 | 32 | Tipo 2 | 6:45 | 2:15 |
| | Renault | ZOE* | 2021 | 52 | 7,4 | 32 | 22 | 32 | Tipo 2 | 8:30 | 3:00 |
| | Renault | Twizy | 2018 | 6,1 | 3,7 | 16 | *** | *** | Tipo 2 | 1:55 | 1:55 |
| | Tesla | Model S | 2019 | 100 | 7,4 | 32 | *** | *** | Supercharger | 15:15 | 15:15 |
| | Tesla | Model X 100D | 2019 | 100 | 7,4 | 32 | *** | *** | Supercharger | 15:15 | 15:15 |
| | Tesla | Model X 90D | 2018 | 90 | 7,4 | 32 | *** | *** | Supercharger | 13:45 | 13:45 |
| | Tesla | Model 3 | 2019 | 60 | 7,4 | 32 | *** | *** | Supercharger | 9:15 | 9:15 |
| | Volvo | C40 P8* | 2022 | 78 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 10:30 | 7:10 |
| | Volvo | XC 40* | 2021 | 69 | 7,4 | 32 | 11 | 16 | Tipo 2 | 9:20 | 6:15 |

Fonte: WEG (2022b, p. 2)

O tempo de recarga de um VE depende da capacidade da bateria do VE, da potência do conversor *on-board* e da potência da estação de carregamento. Por exemplo, o Nissan Leaf e+ de 2019, conta com uma bateria de 62 kWh e potência do carregador on-board de 6,6 kW, corrente requerida de 32 A para uma tensão de 220V, o que demandaria um tempo de carregamento total da bateria, que já estivesse fria, de 09h35min (WEG, 2022b).

### 2.1.6.1 Instalação e proteção

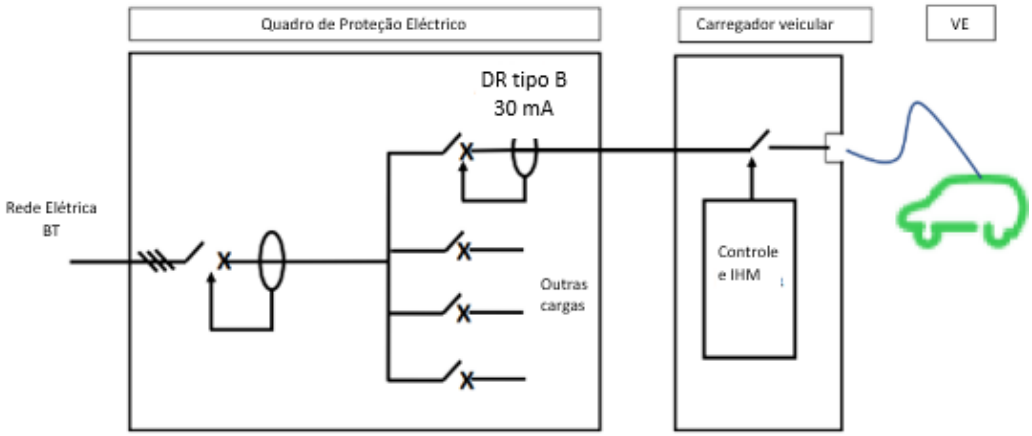
Estações de recarga de VE, inversor fotovoltaico e inversores trifásicos de motores geram correntes residuais com diversas frequências. Como por exemplo, conter uma componente CC ou frequências superiores a 60 Hz ou uma combinação destas. Esses tipos de aplicações requerem um dispositivo específico de proteção de corrente residual (DR) para tal forma de onda. Para as estações de recarga de VE é utilizado um DR tipo B, que está em conformidade com o padrão internacional IEC 62423 (SCHNEIDER ELECTRIC, 2018).

A Norma Internacional IEC 60755 define quatro tipos de DRs para aplicações AC. Esses tipos, que abordam os vários tipos de formas de onda de corrente residual, são conhecidos

como tipo AC, tipo A, tipo F e tipo B. Todos esses dispositivos são destinados ao uso em sistemas de alimentação AC (SCHNEIDER ELECTRIC, 2018).

Dentro de um VE, o processo de conversão AC/DC garante que o carregamento do veículo ocorra dentro dos limites dele próprio. Os fabricantes afirmam que, no caso de um carregador trifásico, pode ocorrer fuga de corrente contínua. O mesmo fenômeno acontece no caso de um carregador monofásico com estágio de impulso. O veículo elétrico não pode ser totalmente isolado e, portanto, é necessária uma proteção adequada contra uma corrente residual CC no sistema. A proteção pode ser realizada com um dispositivo de detecção de 6mA, como o dispositivo de detecção de corrente contínua residual (RDC-DD) dentro do carregador ou com um DR Tipo B dentro do quadro elétrico ou do próprio carregador. A Figura 10 mostra um esquema de proteção em que o DR tipo B está alocado dentro do quadro de proteção (SCHNEIDER ELECTRIC, 2018).

Figura 10 – Proteção para um carregador veicular com DR tipo B

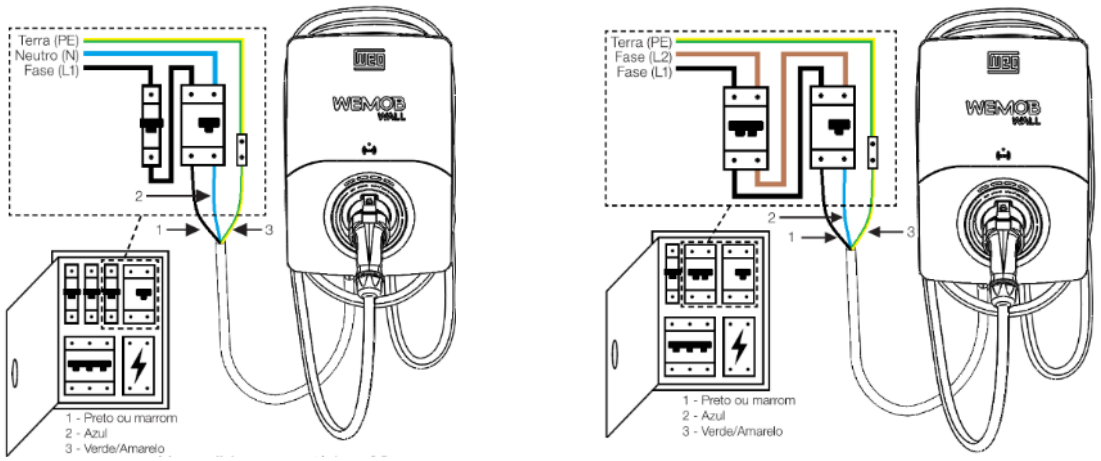



Fonte: Schneider Electric (2018).

O DR Tipo B garante melhor continuidade de serviço e proteção porque detectará a corrente CC e seu valor de disparo é muito maior que 6mA DC. O IEC 62643 exige que o DR desarme para uma corrente residual CC não superior a 60mA. Este valor é inferior ao limiar de fibrilação ventricular em CC. O tipo B também detectará corrente de fuga à terra em frequências superiores a 50/60 Hz, o que não é o caso de um RDC-DD de 6 mA (SCHNEIDER ELECTRIC, 2018)

A Figura 11 apresenta as conexões juntamente com as proteções necessárias para um carregador veicular monofásico letra (F+N+T) e um bifásico (F+F+T).

Figura 11 – Conexões para o *Wemob Wall G2*.




(a) Monofásico. (b) Bifásico.

Fonte: WEG (2021).

O cabeamento da alimentação e seu dimensionamento deverá cumprir com os requisitos da ABNT NBR 5410 (2004), que pela potência, corrente maior do que 10 A, deve ser instalado em um circuito individual para tal.

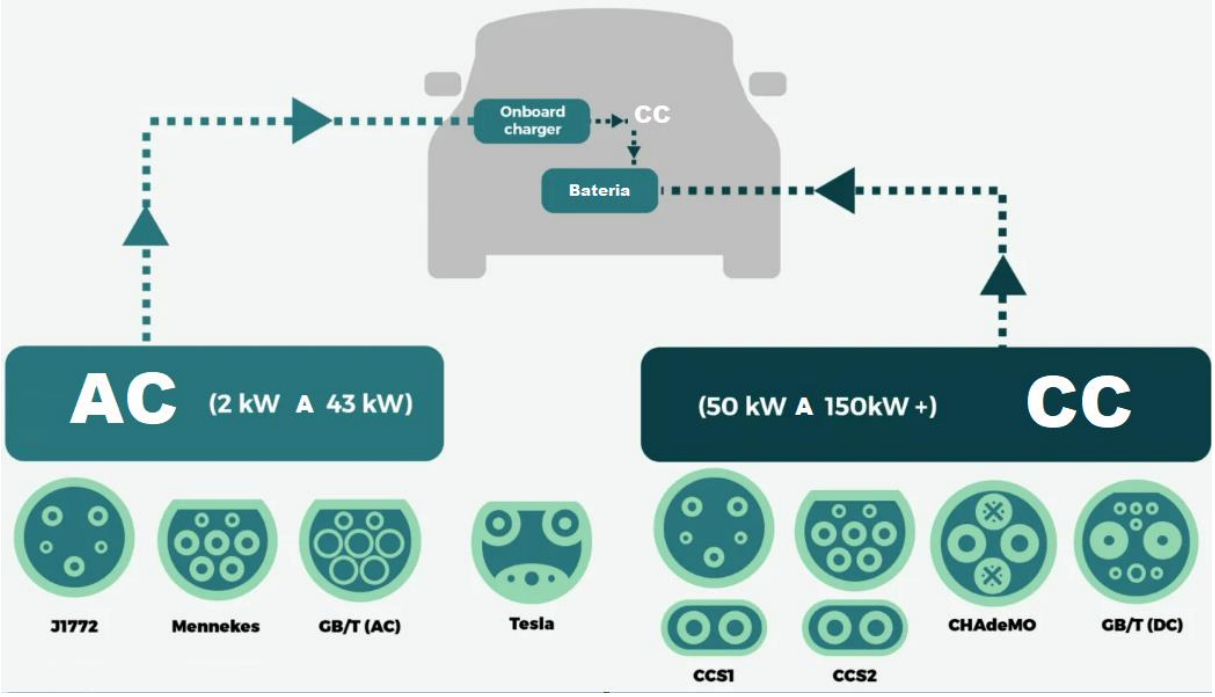
Conforme RN ANEEL nº1000/2021, toda a estação de recarga deverá ser comunicada previamente à distribuidora caso seja necessária uma ligação nova, aumento ou redução de carga e alteração do nível de tensão. A Energisa MS disponibilizou a norma NDU -042 da Energisa (2021), que trata sobre o fornecimento de energia para estações de recarga de VE.

### 2.1.6.2 Infraestrutura elétrica requerida

A primeira informação necessária para o correto dimensionamento de uma instalação elétrica é o carro elétrico. Cada carro elétrico possui um tipo de bateria e sua respectiva capacidade de armazenamento. Outra informação necessária é o tipo de conector que o carro possui.

Não há uma padronização quanto ao tipo de conector para o VE. Assim, no mercado há carros com conectores do tipo 1 ao tipo 4 que são normatizados pela IEC 62916-1/2/3. Alguns VE possuem mais de um tipo de conector. A Figura 12 mostra os diversos tipos de conectores de VE existentes no mercado para os modos de carga 3 e 4.

Figura 12 – Tipos de conectores elétricos.




Fonte: Adaptado de Versinetic Limited (2023).

A localização do conector do carro também é fundamental na instalação do carregador veicular. Deve-se verificar a seção de cabos e proteções da instalação elétrica. Tendo essas informações especificadas, busca-se calcular ou medir a demanda da unidade consumidora para verificar se a instalação do carregador veicular é possível. Se a nova carga pode ser acrescida, busca-se um local para instalação das proteções elétricas (disjuntor e interruptor diferencial). Então, faz-se o dimensionamento dos cabos e eletrodutos até o local do carregador (EPM, 2018).

Se não há disponibilidade para a nova carga, deve-se solicitar aumento de carga para a concessionária de energia e fazer as alterações do cabeamento, proteções, medições, quadros de disjuntores necessárias e a instalação de cabos, proteções e eletrodutos até o carregador veicular (ENERGISA, 2021).

### 2.1.7 Comparação energética entre os veículos a combustão interna e elétricos.

Santos (2020) comenta que a eficiência de um sistema pode ser definida como “a relação de energia fornecida pelo sistema e a energia produzida pelo sistema”. Sendo expresso pela Equação (2). Em um processo fechado, o rendimento será menor do que 1.

$$\eta = \mathrm{Wsai}/\mathrm{Went} \qquad (2)$$

Sendo:

$\eta$ = eficiência;

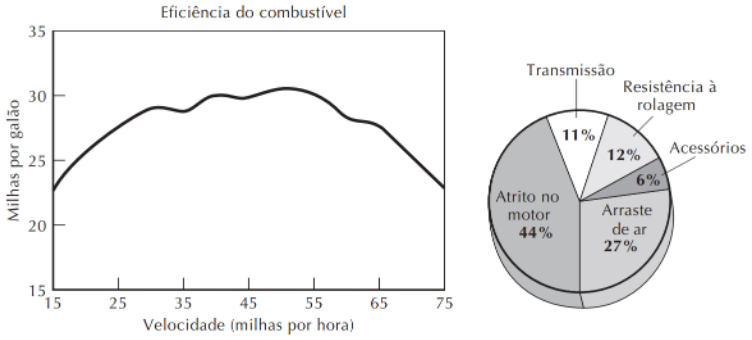
$W_{sai}$ = trabalho útil produzido no processo;

$W_{ent}$ = energia fornecida ao sistema.

Para os VCI, são analisadas eficiência térmica e mecânica, uma vez que os processos de combustão e transferência de energia mecânica apresentam suas próprias eficiências. Já para os VEs, somente é analisada a eficiência mecânica, observada na transferência de potência do eixo do motor para o eixo do carro. Todavia, para estes veículos, também são consideradas as eficiências das baterias, do carregamento e até mesmo da transformação da energia utilizada para carregá-los.

Para Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014), a eficiência energética dos VCIs apresenta valores entre 16% e 17% na avaliação do poço a roda, ou *Wheel to Well* (WTW) . Já a eficiência na utilização desses veículos depende basicamente de dois fatores, a eficiência térmica do motor (em torno de 38%), relacionada à conversão da energia do combustível que é convertida em trabalho para mover os pistões, e a eficiência mecânica (50% referenciada a velocidade de cruzeiro) que é a fração do trabalho para mover o veículo, incluindo as perdas por atrito e aerodinâmicas, sendo que os valores de eficiência mecânica reduzem com o aumento da velocidade. As perdas de eficiência incluem as perdas aerodinâmicas que aumentam com o quadrado da velocidade, e as perdas por atrito no motor que são maiores em velocidades mais baixas. De maneira geral, o comportamento da eficiência do combustível é descrito na Figura 13, em que há um decréscimo após a velocidade de 50 mi/h ou 80,45 km/h, isto se deve ao aumento das perdas aerodinâmicas incidentes no veículo.

Figura 13 – Eficiência do combustível e perdas de energia em um carro em velocidade de cruzeiro.



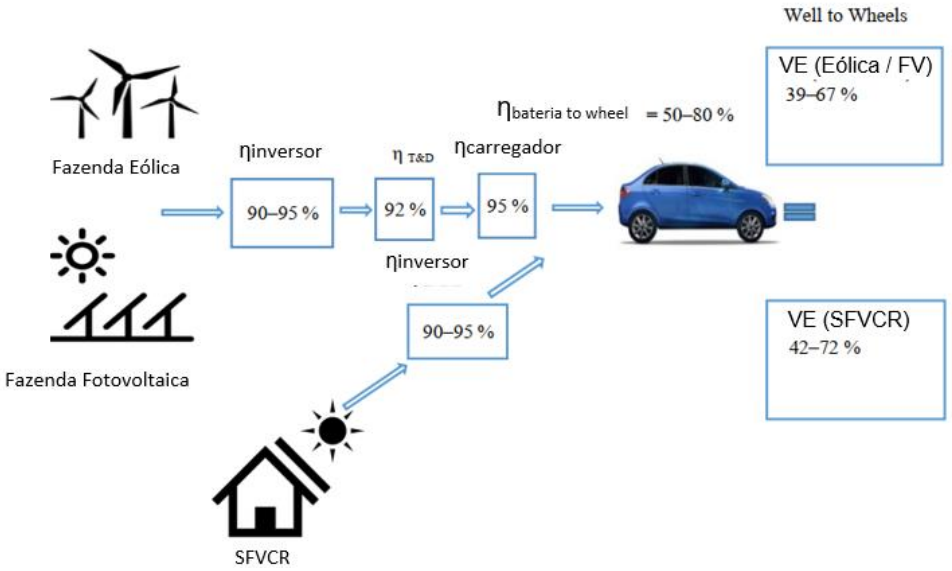

Fonte: Hinricks, Kleinbach e Reis (2014).

Segundo Curran *et al.* (2014), em um estudo que utilizou a análise *Well to Wheel* (*WTW*), os veículos a combustão a gás natural (VCIgn) apresentam uma faixa de eficiência de 11% a 22%. Se considerada apenas a eficiência no uso do veículo, obtém-se a grandeza de 14% a 26%. Para o VEB, esse estudo considerou, ainda, que a energia elétrica produzida para alimentar esse veículo foi gerada por usinas térmicas movidas a turbinas a gás. Assim, o veículo elétrico apresentou eficiência energética de 22% a 35% no *WTW* e 79% de eficiência no uso do automóvel.

Sanguesa *et al.* (2021) afirmam que os VEs são mais eficientes que os VCIs. No entanto, a eficiência global WTW depende da fonte da geração. Por exemplo, a eficiência total do WTW dos veículos a gasolina varia de 11% a 27%, enquanto os veículos a diesel variam de 25% a 37%. Por outro lado, os VE alimentados por uma termelétrica a gás natural apresentam uma eficiência WTW que varia entre 13% e 31%, enquanto os VE alimentados por fontes renováveis energia mostram uma eficiência global de até 70%.

Já segundo Albateyneh *et al.* (2020), considerando o comparativo WTW para os veículos a combustão a diesel (VCId), foi registrado que a eficiência está em torno de 15% enquanto o VEB, 40%. Ainda seguindo esta metodologia, observa-se a análise baseada em fontes renováveis de energia como a fotovoltaica gerada diretamente no telhado do edifício onde será feito a carga do VEB, ou até mesmo a geração eólica. Dessa forma, considerando essas duas fontes de energia, a eficiência variou entre 39% e 67%, enquanto, considerando apenas o uso do sistema fotovoltaico em telhados, aumentará a eficiência total entre 42% e 72%, isto devido a baixas ou nulidades das perdas de transmissão. Um diagrama dessa análise está mostrado na Figura 14.

Figura 14 – ACV de eficiência energética de um VEB considerando várias fontes de energia renovável




Fonte: Adaptado de Albateyneh *et al.* (2020).

Ainda segundo os mesmos autores, se o VE for alimentado por uma usina a gás natural a eficiência varia entre 13% e 31%, enquanto, se a energia for produzida por usinas a carvão performará entre 13% e 27% e a diesel entre 12% e 25%, respectivamente. Já o veículo a combustão a gasolina (VCIg), para este mesmo cenário, apresentou índices entre 11% e 27%, bem como, o VCId variou de 25% a 37% e o VCIgn variou de 12% a 22%.

No Brasil, o INMETRO (2022), em seu Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PVEB), utilizando apenas a eficiência no uso dos veículos com a metodologia da bomba a roda ou *Tank to Well* (TTW), disponibilizou o consumo de diversos tipos de carros e combustíveis. Para esta análise, montadoras nacionais contribuíram com dados e experimentos. A metodologia para apuração dos valores dividiu-se em duas etapas, a condição de pista, para levantar os dados aerodinâmicos, e a condição laboratorial, para medição de consumo, conforme metodologia proposto pela ABNT NBR 7024 (2017), utilizando fatores de ajustes, a fim de simular as realidades mais comuns de uso. Entretanto, essa metodologia apresenta variações consideradas, neste estudo, como erro dentro da margem, uma vez que as condições das vias, carga no veículo, e até mesmo elementos como calibração dos pneus e modo de condução do motorista influenciam este estudo. Estes valores foram compilados de acordo com a categoria e tipo de combustíveis, efetuada a média de consumo e dessa forma apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela comparativa de consumo energético entre VEBs e VCIs por categoria.

| Categoria | Tipo Combustível | Quant. | MCES (km/l) | MECC (km/l) | MCE (MJ/km) | CE (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Comercial | E | 4 | 28,73 | 39,00 | 0,63 | - |
| | F | 4 | 12,40 | 11,70 | 1,81 | 288% |
| | D | 19 | 10,37 | 10,56 | 2,58 | 411% |
| Compacto | E | 2 | 31,30 | 38,15 | 0,59 | - |
| | F | 24 | 14,78 | 13,06 | 1,55 | 265% |
| | G | 3 | 13,50 | 10,30 | 1,90 | 324% |
| Esportivo | E | 6 | 23,32 | 23,82 | 0,86 | - |
| | G | 38 | 8,60 | 6,66 | 3,07 | 356% |
| Extra Grande | E | 15 | 26,45 | 28,27 | 0,75 | - |
| | F | 3 | 13,37 | 10,87 | 1,83 | 242% |
| | G | 36 | 10,87 | 8,84 | 2,33 | 309% |
| Grande | E | 1 | 31,90 | 38,70 | 0,58 | - |
| | F | 22 | 14,44 | 12,04 | 1,80 | 310% |
| | G | 6 | 12,33 | 9,80 | 2,06 | 356% |
| Médio | E | 5 | 33,36 | 41,42 | 0,56 | - |
| | F | 60 | 15,03 | 12,44 | 1,61 | 288% |
| | G | 4 | 12,25 | 9,68 | 2,07 | 371% |
| Picape | E | 1 | 25,10 | 29,20 | 0,75 | - |
| | F | 4 | 11,30 | 9,55 | 2,12 | 283% |
| | G | 3 | 9,67 | 7,67 | 2,77 | 370% |
| | D | 49 | 10,92 | 9,50 | 2,70 | 359% |
| Sub Compacto | E | 5 | 43,82 | 51,42 | 0,44 | - |
| | F | 3 | 15,17 | 13,73 | 1,48 | 336% |
| Utilitário Esportivo Compacto | E | 1 | 40,30 | 46,10 | 0,47 | - |
| | F | 48 | 13,37 | 11,69 | 1,76 | 374% |
| Utilitário Esportivo Grande | E | 2 | 25,60 | 27,80 | 0,76 | - |
| | F | 17 | 11,92 | 10,59 | 1,95 | 256% |
| | G | 19 | 10,66 | 8,59 | 2,42 | 318% |
| Utilitário Esportivo Grande 4x4 | E | 9 | 26,16 | 27,97 | 0,75 | - |
| | F | 11 | 10,07 | 7,65 | 2,58 | 344% |
| | G | 19 | 9,59 | 8,06 | 2,67 | 356% |
| | D | 6 | 12,70 | 10,13 | 2,42 | 323% |

Fonte: Adaptado de INMETRO, (2022).

Notas: Para os veículos elétricos é considerado o km/l equivalente. MCE: Média de Consumo Energético. MCES: Média de consumo na estrada. MECC: Média de consumo na cidade. CE: comparativo percentual entre MCE e o veículo elétrico da mesma categoria. Tipos de combustível: D: Diesel, E: Elétrico, F: Flex, G: Gasolina.

Assim, para a categoria comercial, foi feita a média entre 4 VEBs, 4 VCIs flex e 19 VCId. O VE possui uma média de consumo de 29,73 km/l na estrada, porém na cidade apresenta uma melhor performance, com um consumo de 39 km/l, isso se deve a energia regenerada pelos freios (faz com que o motor se torne um gerador nessa situação) e pelas velocidades

mais baixas de utilização pelo veículo, que, consequentemente faz com que o motor consuma menos energia, com uma média de 0,63 MJ/km.

Para o veículo Flex, que considera a média de consumo quando usado gasolina e etanol, performou em 12,4 km/l na estrada e 11,7 km/l na cidade com consumo energético médio de 1,81 MJ/km. Os carros a diesel dessa categoria, apresentaram uma média de 10,37 km/l na cidade e 10,56 km/l na estrada, com um consumo energético médio de 2,58 MJ/km. Ainda nessa categoria, no comparativo percentual de consumo energético MCE (MJ/km), considerando o veículo elétrico como referência, tem-se que o consumo do VCI Flex foi 288% maior, e do VCId de 411%.

Em outras palavras, para percorrer a mesma distância, o VEB utiliza 34,72% da energia do VCI Flex e 24,33% da energia do VCId. Assim, verificando todas as categorias a eficiência energética no uso do carro elétrico é superior aos demais comparados, sendo no mínimo 2,56 vezes mais eficiente se comparado ao Utilitário Esportivo Grande Flex, e um máximo de 4,11 vezes ao Comercial a diesel.

Portanto, os estudos analisados mostram que o VEB apresenta maior eficiência energética do que os outros veículos investigados, seja na análise WTW, ou na TTW.

## 2.2 Sistema fotovoltaico (SFV)

### 2.2.1 Terminologias

Segundo ABNT NBR 10889 (2013, p. 3 e 6) são definidos os termos célula fotovoltaicos (CFV), módulo fotovoltaico (MFV):

> **Célula fotovoltaica:** dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica.
>
> **Módulo fotovoltaico**: unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.

Segundo Mariano e Urbanetz Junior (2022, p. 47), o painel fotovoltaico, trata-se de " um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura".

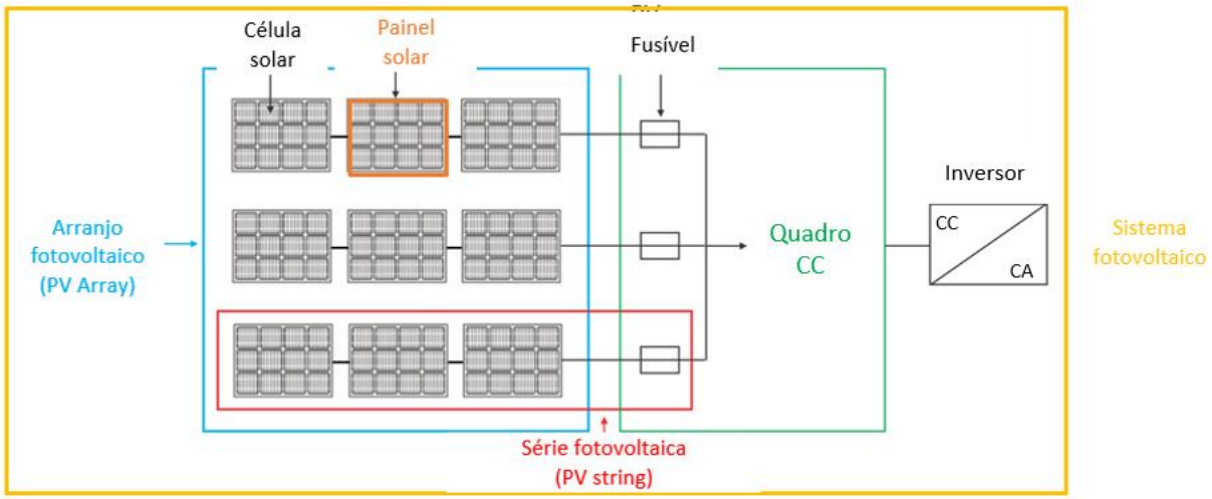
A conexão de vários painéis permite várias maneiras de se montar o arranjo do SFV. A ABNT NBR 10899 (2013, p. 2 e 7) apresenta várias definições e que são apresentados em um diagrama na Figura 15.

**Arranjo fotovoltaico:** conjunto de módulos fotovoltaicos ou subarranjos fotovoltaicos mecânica e eletricamente integrados, incluindo a estrutura de suporte. Um arranjo fotovoltaico não inclui sua fundação, rastreador solar, controle térmico e outros elementos similares. NOTA 1 O termo equivalente, em inglês, é *PV array*. NOTA 2 Normalmente o arranjo fotovoltaico corresponde a um conjunto de módulos fotovoltaicos, séries fotovoltaicas ou subarranjos fotovoltaicos eletricamente conectados em paralelo

**Série fotovoltaica:** circuito no qual módulos fotovoltaicos são conectados em série, com o intuito de gerar a tensão de saída desejada de um arranjo fotovoltaico. NOTA O termo equivalente, em inglês, é *PV string*.

**Sistema fotovoltaico:** conjunto de elementos que geram e fornecem eletricidade pela conversão da energia solar

Figura 15 – Definições de arranjo fotovoltaico (do inglês *array*), série fotovoltaica (*string*), e sistema fotovoltaico.




Fonte: Adaptado de Swe-check (2023).

### 2.2.2 Tecnologia empregadas nos módulos fotovoltaicos

Segundo Pastuszak e Wegierek (2022), os módulos fotovoltaicos são divididos em 4 gerações. A primeira se baseia no silício cristalino, incluindo silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). Essa geração de módulos se caracteriza pela abundância de recursos disponíveis para confecção desses módulos, porém com custos elevados.

A segunda geração buscou o barateamento da tecnologia, utilizando uma película fina, incluindo o Silício amorfo (a-Si), Teluro Cadmio (CdTe), porém apresenta baixa eficiência de conversão.

A terceira geração busca células com alta eficiência e baixo custo de produção. As células orgânicas e híbridas baseadas em tecnologias de películas finas e as cristalinas baseadas em moléculas orgânicas, polímeros conjugados e as células III-V baseados em materiais dos grupos III e V da tabela periódica.

A quarta geração inclui a baixa flexibilidade ou baixo custo de películas finas de polímeros juntamente com a durabilidade de “nanoestruturas inorgânicas inovadoras, como óxidos metálicos, nanopartículas metálicas ou nanomateriais de base orgânica, tais como: grafeno, nanotubos de carbono e derivados de grafeno.

Dentre as tecnologias disponíveis são apresentadas as comercializadas de silício monocristalino e policristalino.

### 2.2.2.1 Silício Cristalino

O silício é o semicondutor mais utilizado na criação de células fotovoltaicas devido aos níveis de eficiência e da sua abundância no planeta terra (cerca de 28%), sendo o mercado fotovoltaico dominado por este tipo de tecnologia. (ECHAVARRÍA, 2018)

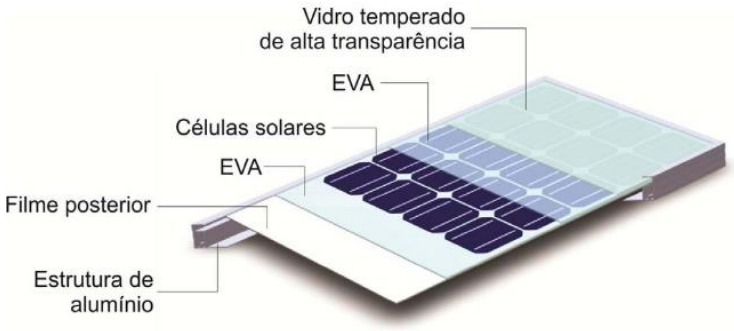
A diferença visual entre o silício monocristalino e policristalino pode ser visto na Figura 16 e os detalhes construtivos das CFV encapsuladas e um módulo de silício cristalino podem ser vistos na Figura 17.

Figura 16 – Tecnologias na confecção de módulos fotovoltaicos.

(a) Silício policristalino (b) Silício monocristalino

Fonte: Tindo Solar (2022).

Figura 17 – Detalhe construtivo de um módulo solar de silício cristalino




Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 132).

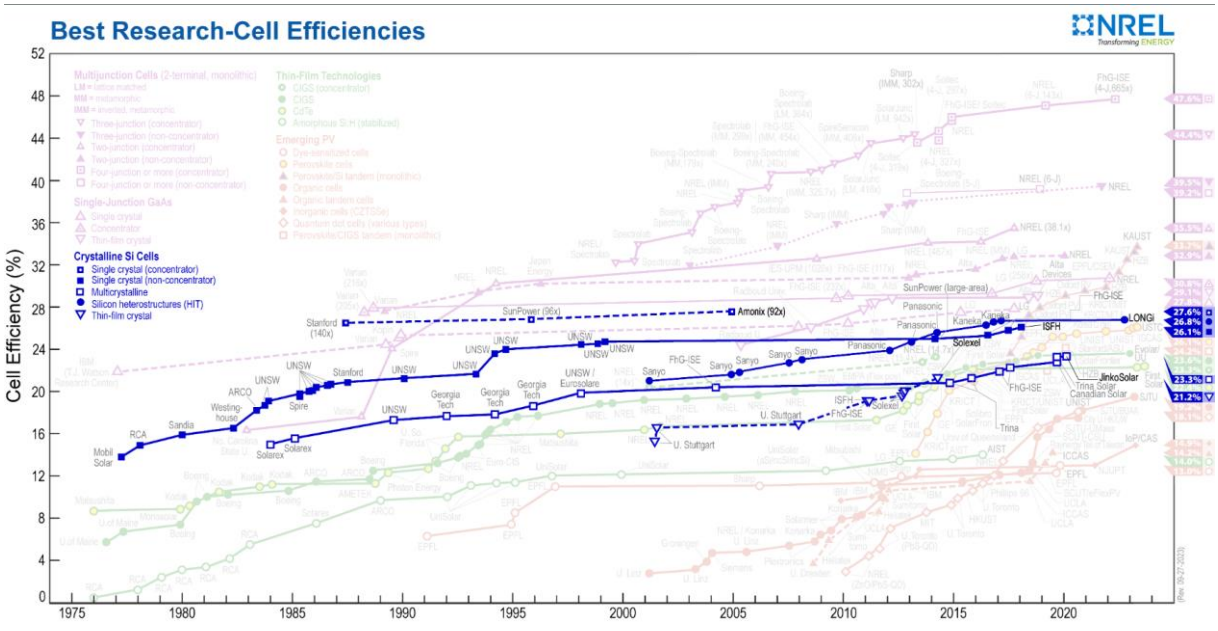
Segundo Echavarría (2018), as células monocristalinas são as mais usadas, sendo as mais antigas e eficientes do que as de policristalino. As células solares feitas de silício monocristalino são facilmente reconhecíveis por uma cor externa uniforme e aparência uniforme. De acordo a Mariano e Urbanetz Junior (2022), a monocristalina possui um rendimento melhor do que os policristalinos em condições de pouca luz. Porém, são mais caras. Esses tipos de módulo apresentam a vantagem de uma vida útil de 30 anos e garantia de 25 anos.

### 2.2.3 Eficiência dos painéis fotovoltaicos de silício cristalino

Segundo Pastuszak e Wegierek (2022), as células de m-Si possuem eficiências entre 15% e 24% e as de p-Si entre 10% e 18%.

A Figura 18 mostra as eficiências máximas para as tecnologias fotovoltaicas desenvolvidas e otimizadas em laboratórios de P&D. A máxima eficiência alcançada por uma célula de silício monocristalino é de 26,1% e policristalino 23,3%.

Figura 18 – Eficiência das células solares pela tecnologia empregada e ano.

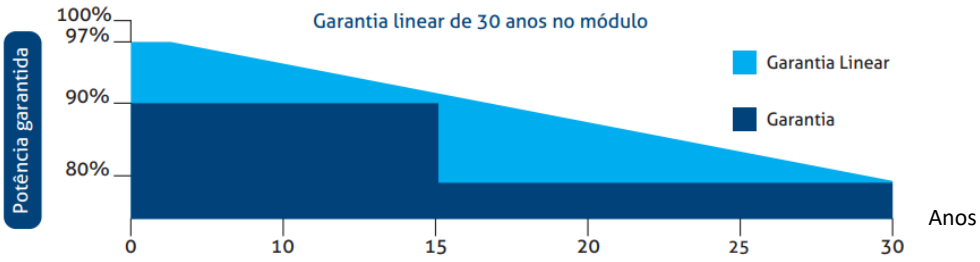



Fonte: NREL (2023).

A Figura 19 apresenta a redução da eficiência de um painel fotovoltaico comercial ao longo dos seus 30 anos. No primeiro ano, apresenta uma redução de 3% de sua capacidade. Assim, o painel que era de 450 Wp, ao fim do primeiro ano, forneceria uma potência de 436,5

Wp. Para esse modelo, a empresa garante 90% da potência do painel em até 15 anos e de 80% em 30 anos.

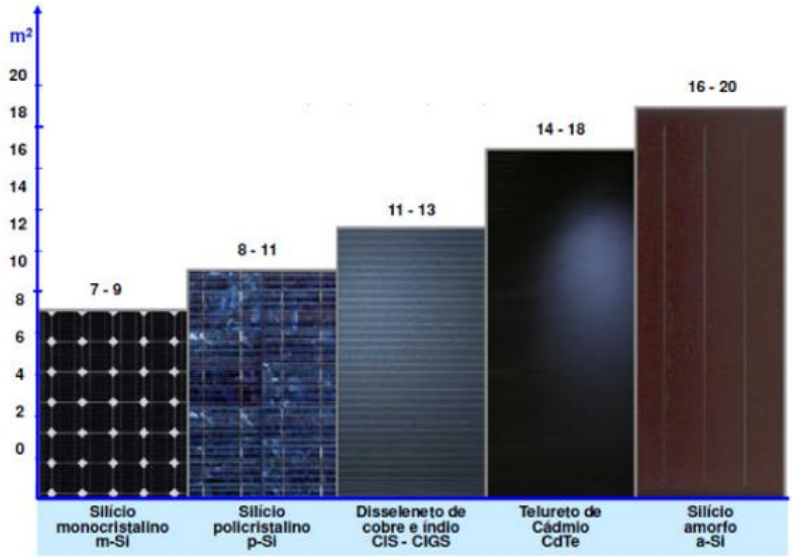
Figura 19 – Eficiência garantida pela empresa para o modelo MF00450 Empalux.




Fonte: Adaptado de Empalux (2020a).

Dada a eficiência do painel fotovoltaico, pode-se fazer um comparativo entre diferentes tecnologias e a área necessária para se instalar 1 kWp conforme é mostrado na Figura 20. Por exemplo, comparando painéis solares comerciais de silício monocristalino (m-Si) e silício amorfo (a-Si), seria necessário a metade de (m-Si)da área para a instalação de 1 kWp.

Figura 20 – Área necessária para a instalação de 1kWp dado diferentes tecnologias comerciais.




Fonte: Mariano e Urbanetz Junior (2022, p. 73).

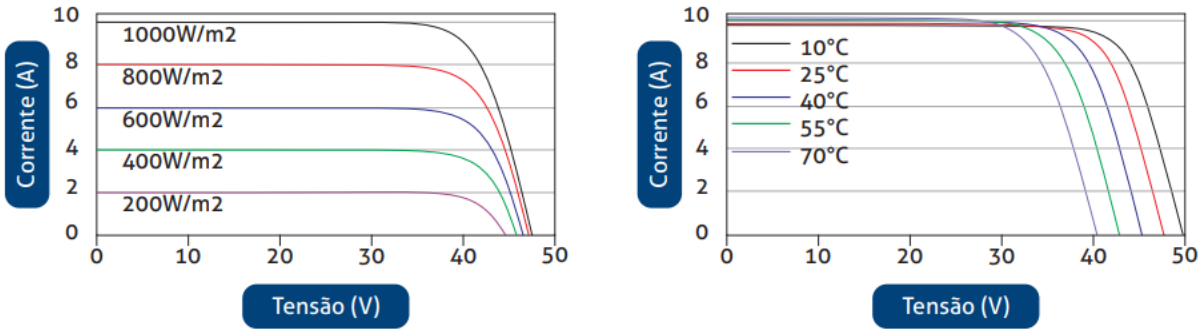
Pinho e Galdino (2014) alertam que para o dimensionamento de um SFV, o fator de eficiência energética não deve ser restritivo a escolha da tecnologia, porém, somente em casos em que a área disponível seja preponderante para a instalação.

### 2.2.4 Fatores que afetam as características elétricas da célula fotovoltaica (CFV)

Segundo Pinho e Galdino (2014), há três principais fatores que afetam as características de uma CFV: temperatura, irradiação e resposta espectral dado as diferentes tecnologias. O aumento da temperatura provoca uma redução na eficiência da célula e redução da tensão, porém pouco afeta a corrente elétrica

As curvas características I-V de um painel fotovoltaico comercial são mostradas na Figura 21. Para esse caso, são mostrados os valores de corrente e tensão com irradiâncias entre 200 W/m² até 1000 W/m². A redução da irradiação gera uma diminuição na corrente, reduzindo ligeiramente a tensão. Vale destacar que a tensão $V_{oc}$ está próxima a 40 V a uma temperatura de 70ºC e cerca de 50 V a 10 ºC, o que pode acontecer no inverno ou dias frios. Esses valores são importantes para o projeto, para que o arranjo não ultrapasse a tensão máxima permitida do inversor.

Figura 21 – Curva I-V para o painel modelo MF00450 Empalux




Fonte: Empalux (2020a).

Ainda segundo os mesmos autores, pode-se utilizar a Equação (3) na determinação de $V_{oc}$ e a Equação (4) para a determinação de $I_{SC}$, em que β é o coeficiente de variação da tensão de circuito aberto (Voc) com a temperatura (sendo este um valor negativo) e α é o coeficiente de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura (sendo este um valor positivo), os quais são fornecidos pelo fabricante. A Equação (5) pode ser usado para a determinação da temperatura de operação do módulo fotovoltaico dadas certas condições ambientais.

$$V_{oc}(\mathrm{T}) = V_{ocstc}[1 + \beta\,(\mathrm{T} - 25)] \quad (3)$$

$$I_{SC}(\mathrm{T}) = I_{SCstc}[1 + \alpha\,(\mathrm{T} - 25)] \quad (4)$$

$$T_{mod} = T_{amb} + K_t G \quad (5)$$

Sendo:

$T_{mod}$: temperatura do módulo (°C);

$T_{amb}$: temperatura ambiente (°C);

G: irradiância incidente sobre o módulo ($W/m^2$);

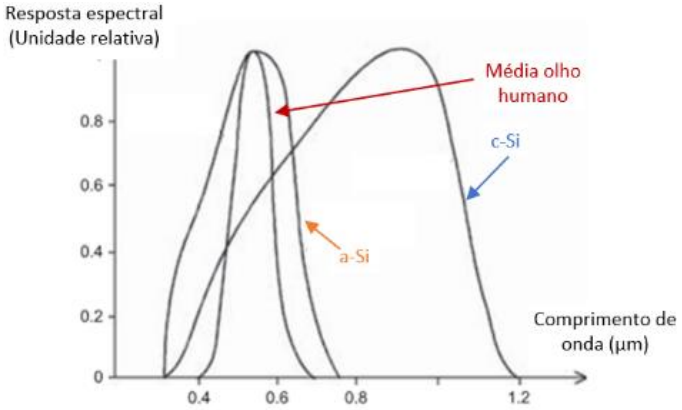
$K_t$: coeficiente térmico, caso não seja conhecido, adota-se o valor padrão de 0,03 ($°C/W.m^{-2}$).

β: coeficiente de variação da tensão de circuito aberto (Voc) ($V/^oC$)

α: coeficiente de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura (Isc) ($A/^oC$)

A resposta espectral é a curva de resposta da célula solar de acordo com a cor da radiação incidente. A Figura 22 apresenta o comportamento das CFVs de silício cristalino (mono e policristalino) e do silício amorfo.

Figura 22 – Resposta espectral para células de Silício cristalino (c-Si) e silício amorfo (a-Si).




Fonte: Adaptado de Labouret e Villoz (2010).

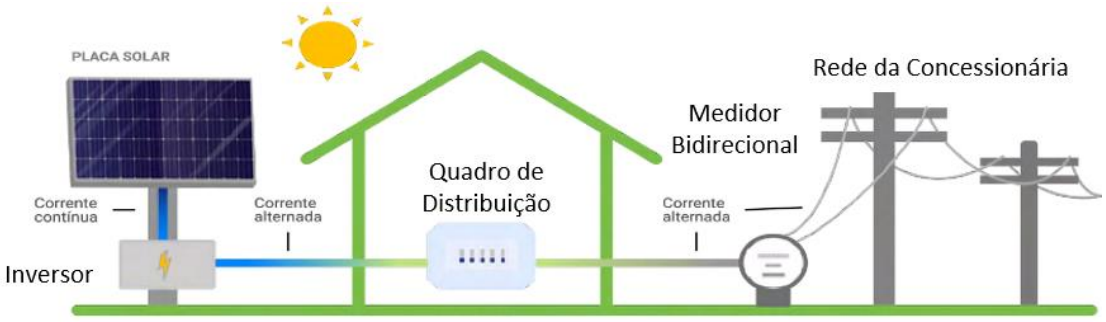
O silício amorfo apresenta uma melhor resposta para as cores azul e verde, as quais possuem comprimentos de onda de 350–550 nm respectivamente. O silício cristalino tem uma melhor resposta no vermelho e no infravermelho, com comprimento de onda entre 700–1100 nm. Isto explica o melhor desempenho do silício cristalino na luz solar e do silício amorfo para iluminação artificial e difusa, que apresentam um tom mais azul, isto é, uma maior temperatura de cor (LABOURET e VILLOZ, 2010).

### 2.2.5 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR)

Esse tipo de sistema fotovoltaico se caracteriza pela produção de energia enquanto houver radiação solar, podendo a energia ser consumida internamente, ou, no caso de excesso de geração, ser injetado na rede da concessionária de energia elétrica. No caso de não houver produção de energia pelo SFVCR, como no caso do período noturno, a energia

pode ser comprada e consumida da rede da distribuidora. Uma representação de um SFVCR com seus principais componentes pode ser visualizada na Figura 23 (KALOGIROU, 2014).

Figura 23 – Representação de um sistema fotovoltaico conectado à Rede (SFVCR).




Fonte: Adaptado de Mariano e Urbanetz Junior (2022, p. 100).

Algumas vantagens do SFVCR são: os painéis solares podem ser integrados aos elementos arquitetônicos ou mesmo substituí-los, como por exemplo faixadas, telhados e vidros, entre outros; ausência de um sistema armazenador como as baterias e a consequente redução de custos, desligamento do inversor e desacoplamento do sistema de geração fotovoltaico e da rede elétrica, não permitindo o ilhamento, proporcionando segurança e proteção para trabalhadores que acessem a rede elétrica e usuários.

Além dos benefícios para quem está gerando a energia, os SFVCR também trazem benefícios mais amplos ao Sistema Interligado Nacional, pois permitem a redução das perdas na transmissão e distribuição de energia; por ser uma geração distribuída e normalmente utilizadas nos centros urbanos, evitam investimentos na construção e melhorias de linhas de transmissão e distribuição (RUTHER, 2004).

### 2.2.6 Normas vigentes

As normas a serem observadas no dimensionamento de um SFV estão contidas no

Quadro 4.

Quadro 4 – Normas técnicas nacionais sobre sistemas fotovoltaicos.

| Entidade | Número / Código | Descrição |
|---|---|---|
| ABNT NBR | 03/10/2019 - ABNT NBR 16690:2019 | Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. |
| ABNT NBR | 04/03/2013 - ABNT NBR 16150:2013 | Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade. |
| ABNT NBR | 06/03/2014 - ABNT NBR 16274:2014 | Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. |
| ABNT NBR | 01/03/2013 - ABNT NBR 16149:2013 | Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. |
| ABNT NBR IEC | 24/08/2022 - ABNT NBR IEC 61643-32:2022 | Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão. |
| ABNT NBR | 30/11/2021 - ABNT NBR 16767:2019 Errata 1:2021 | Elementos e baterias estacionárias para aplicação em sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica de energia (off-grid) — Requisitos gerais e métodos de ensaio. |
| ABNT NBR | 27/09/2019 - ABNT NBR 16767:2019 Versão Corrigida:2021 | Elementos e baterias estacionárias para aplicação em sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica de energia (off-grid) - Requisitos gerais e métodos de ensaio. |
| ABNT NBR | ABNT NBR 5410:2004 Versão Corregida:2008 | Instalações elétricas de baixa tensão |
| ABNT NBR | 18/05/2023 - ABNT NBR 10899:2023 | Energia solar fotovoltaica — Terminologia |
| ABNT NBR | 24/08/2022 - ABNT NBR IEC 61643-32 | Dispositivos de proteção contra surtos de baixa tensão - Parte 32: DPS conectado no lado corrente contínua das instalações fotovoltaicas - Princípios de seleção e aplicação |
| ABNT NBR | 16/03/2020 - ABNT NBR 16612 | Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho |
| ABNT NBR | 06/03/2012 – ABNT NBR IEC 62116 | Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica |
| Energisa | NDU - 013 | Critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição para conexão em baixa tensão: NDU-013 |

Fonte: Autoria própria.

Segundo ANEEL (2016c), sobre os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), o projeto e instalação do SFVCRs deve seguir as normas da concessionária de energia elétrica, sendo ela a responsável pelos estudos e ônus para a integração da geração a sua rede. Porém, compete ao acessante o repasse dos dados

necessários para a elaboração dos estudos. O Quadro 5 apresenta os limites requeridos de potência instalada e nível de tensão para a conexão.

Quadro 5 – Níveis de tensão requerida pela distribuidora dada a potência instalada.

| Potência Instalada | Nível de Tensão de Conexão |
|---|---|
| < 10 kW | Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico) |
| 10 a 100 kW | Baixa Tensão (trifásico) |
| 101 a 500 kW | Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão |
| 501 kW a 10 MW | Média Tensão / Alta Tensão |
| 11 a 30 MW | Média Tensão / Alta Tensão |
| > 30 MW | Alta Tensão |

Fonte: Adaptado de ANEEL (2016c, p. 31).

O Quadro 6 apresenta as proteções mínimas necessárias para as centrais geradores que se enquadram no conceito de mini ou microgeração dada a potência instalada. Para o caso de sistemas SFVCR as proteções de sub e sobretensão, sub e sobrefrequência e desconexão estão incorporadas nos inversores.

Quadro 6 – Proteções mínimas requeridas em função da potência instalada.

| EQUIPAMENTO | Potência Instalada | | |
|---|---|---|---|
| | < 10 kW | 10 kW a 500 kW[(d)] | > 500 kW |
| Elemento de desconexão[(a)] | Sim | Sim | Sim |
| Elemento de interrupção[(b)] | Sim | Sim | Sim |
| Transformador de acoplamento | Não | Sim | Sim |
| Proteção de sub e sobretensão | Sim[(c)] | Sim[(c)] | Sim |
| Proteção de sub e sobrefrequência | Sim[(c)] | Sim[(c)] | Sim |
| Proteção contra desequilíbrio de corrente | Não | Não | Sim |
| Proteção contra desbalanço de tensão | Não | Não | Sim |
| Sobrecorrente direcional | Não | Não | Sim |
| Sobrecorrente com restrição de tensão | Não | Não | Sim |

Fonte: Adaptado de ANEEL ( (2016c, p. 32).

Notas: (a) Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema.

(b) Elemento de desconexão e interrupção automático acionado por comando e/ou proteção.

(c) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de desconexão.

(d) Nas conexões acima de 300 kW, se o lado da acessada do transformador de acoplamento não for aterrado, deve-se usar uma proteção de sub e de sobretensão nos secundários de um conjunto de transformador de potência em delta aberto.

### 2.2.7 Dimensionamento de um SFVCR

Conforme Pinho e Galdino (2014, p. 299), um projeto de SFVCR possui algumas etapas principais a serem seguidas:

1 - Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;

2 - Definição da localização e configuração do sistema;

3 - Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;

4 - Dimensionamento do gerador fotovoltaico;

5 - Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência que, no caso dos SFVCRs, se restringe ao inversor para interligação com a rede;

6 - Dimensionamento do sistema de armazenamento, usualmente associado aos sistemas isolados.

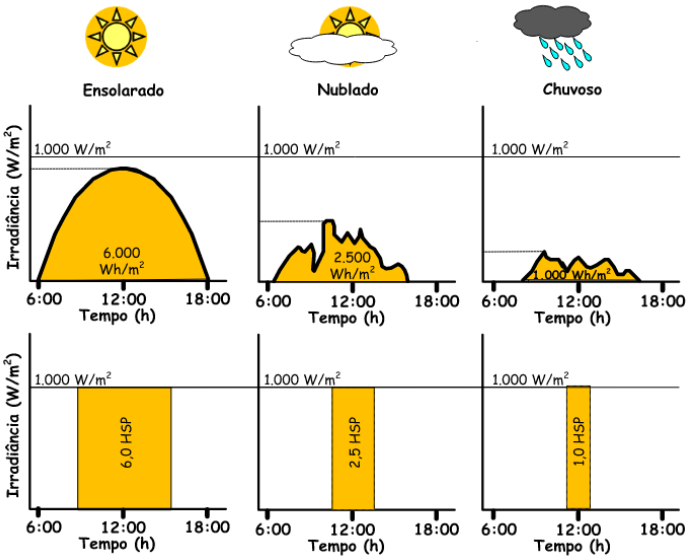
### 2.2.8 Avaliação solar

Esta etapa tem a finalidade de determinar a radiação solar global que incidirá sobre o Painel Fotovoltaico (PFV). A utilização de valores médios de irradiação tem sido a forma mais comum para o dimensionamento.

Na determinação da energia elétrica total produzida durante o dia, considera-se as Horas de Sol Pleno (HSP), em que toda a irradiância recebida pelo painel durante o dia é comparada a uma irradiância de 1000 W/m² fixa. A Figura 24 mostra que há variação da incidência da radiação solar que chega na superfície terrestre. Porém, esses valores momentâneos de irradiação podem ser equacionados e ajustados de tal maneira que se tornam lineares com uma mesma área, a Hora Solar Pico (HSP) que é calculada conforme a Equação (6). Por exemplo, para um dia ensolarado ao qual foi produzido 6 kWh/m², dividindo-se por 1 kW/m², obteria um HSP de 6,0 horas por dia (PINHO e GALDINO, 2014).

$$HSP(h) = \frac{Irradiância}{1000} \tag{6}$$

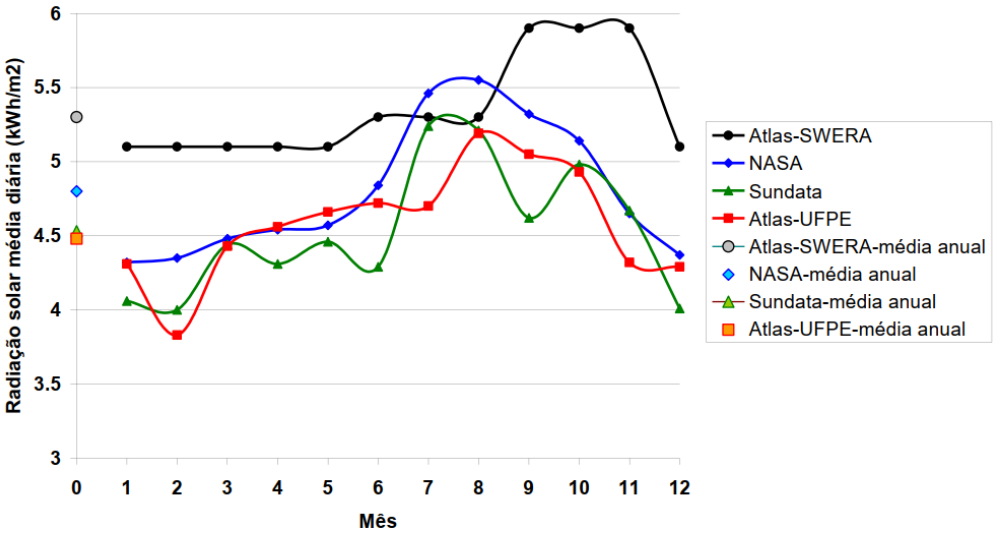
Figura 24 – Irradiância solar e Hora Solar Pico.




Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Pinho e Galdino (2014), abordam a situação de diferença de dados de irradiância segundo a fonte de consulta sendo ilustrada conforme a Figura 25 para a cidade de Rio Branco no Acre. Por exemplo, citando o mês 11, pelo Atlas SWERA os valores de irradiância média diária seria próximo a 6 kWh/m$^2$, enquanto, segundo o Atlas UFPE seria próximo a 4,4 kWh/m$^2$, o que representa uma diferença de 36% entre eles, impactando no dimensionamento da quantidade de painéis fotovoltaicos. Para essa situação, considerando os dados de somente um atlas, poderia ser adotado uma postura conservadora adotando o pior mês de irradiação. Considerando todos os atlas, poderia ser adotado os piores meses para ser efetuado o dimensionamento do SFV.

Figura 25 – Irradiação solar média diária no coletor inclinado 10ºN para a cidade de Rio Branco no Acre.




Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 97).

Este fato também se demonstra nas irradiâncias medidas pelas diferentes estações meteorológicas de um determinado local. Conforme CRESESB (2022), que utiliza dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2017, foi efetuado a consulta segundo a Latitude 20.45783 Sul e Longitude 54.692823 Oeste, no qual foram disponibilizados os valores contidos na Tabela 4 de irradiância solar diária média (kWh/m² dia), em que são apresentado as medidas efetuadas por três estações meteorológicas, A CG 1 está a 6,6 km, a CG 2 a 7,5 km e a CG3 a 7,8 km, respectivamente da localização consultada.

Tabela 4 – Irradiância solar diária média no plano horizontal para Campo Grande-MS (kWh/m².dia).

| Estação | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Maio | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CG1 | 5,62 | 5,67 | 5,31 | 4,76 | 4,01 | 3,75 | 3,90 | 4,77 | 4,93 | 5,42 | 5,86 | 6,15 | 5,01 |
| CG2 | 5,62 | 5,71 | 5,34 | 4,79 | 3,99 | 3,74 | 3,90 | 4,75 | 4,93 | 5,41 | 5,87 | 6,19 | 5,02 |
| CG3 | 5,65 | 5,67 | 5,34 | 4,82 | 4,03 | 3,77 | 3,92 | 4,81 | 4,92 | 5,42 | 5,92 | 6,10 | 5,03 |

Fonte: Adaptado de CRESESB (2022).

Nota: Dados consultados em 10 de novembro de 2022

#### 2.2.8.1 Localização e área

A segunda etapa a ser verificada é a da localização do SFV, pois a radiação e a temperatura afetam diretamente a eficiência do painel e a consequente geração de energia. Em casos de instalação no telhado, o projetista tem poucas ações a adotar no posicionamento dos painéis. Porém, busca-se notar superfícies reflexivas que poderiam aumentar a irradiância incidente e evitar possíveis sombreamentos. Alguns programas com modelamento 3D como REVIT ou PVSYST ajudam na determinação de sombras. Outros pontos a serem destacados são os ventos locais e a resistência mecânica do telhado que será instalado o SFV, pois com a adição de carga a estrutura, pode ser que esta não suporte e venha a colapsar (PINHO e GALDINO, 2014).

#### 2.2.8.2 Demanda e consumo de energia elétrica

Para os SFVCR, considera-se que a rede de distribuição é capaz de absorver todo o excedente gerado. Além disso, é observado parâmetros como nível de tensão, harmônicos,

fator de potência e interferência eletromagnética que pode influenciar nos equipamentos eletrônicos (PINHO e GALDINO, 2014).

O SFVCR pode ser dimensionado com base no consumo médio anual da edificação em Wh/dia descontando-se o valor do consumo referente ao custo de disponibilidade. Isto pode ser realizado montando-se uma tabela, relacionando os equipamentos com sua tensão, tipo de corrente (CA ou CC), potência e tempo de utilização diária, ou utilizando a série histórica de consumo de energia proveniente nas faturas de energia elétrica entregue pela concessionária, que é mais preciso e confiável pois se baseia em consumo real da unidade consumidora. A Equação (7) apresenta o cálculo da potência de um microgerador (PINHO e GALDINO, 2014).

$$P_{FV} = \frac{E/TD}{HSP_{MA}} \tag{7}$$

Sendo a;

$P_{FV}$: Potência de pico do painel fotovoltaico (Wp);

E: Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste (Wh/dia);

$HSP_{MA}$: Média diária anual das HSP incidente no plano do $P_{FV}$ (h);

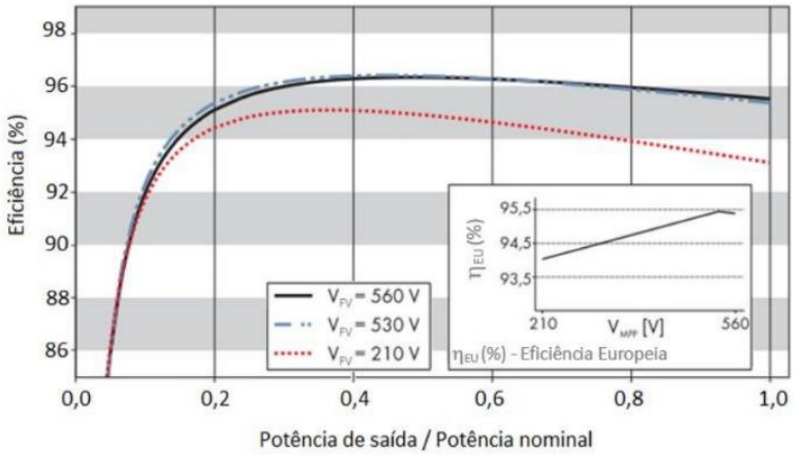
TD: Taxa de desempenho (adimensional).

A taxa de desempenho (TD) refere-se à eficiência do conjunto baseado no desempenho máximo teórico possível. Segundo Pinho e Galdino (2014), testes com SFVCR com potências menores a 10 kWp avaliados na Alemanha, apresentaram uma TD entre 70 e 75%. Para instalações residenciais no Brasil, onde possuem boa ventilação e que não sejam sombreados, podem ser adotados valores entre 70% e 80%.

#### 2.2.8.3 Dimensionamento do inversor

O inversor deve trabalhar dentro da faixa de operação normal. A Figura 26 apresenta a curva de eficiência para o inversor Sunny Boy 3000HF. É perceptível que para cargas abaixo de 20% da nominal, o inversor apresenta eficiências menores que 95%. Mesmo estando na faixa de tensão de máxima potência entre 210V e 560V, o inversor apresenta diferença de eficiência dada a tensão de entrada. Para regiões entre 20% e 100% da relação de potência de saída pela nominal percebe-se uma região com uma variação menor do que 1% na eficiência para o caso de tensão entre 530V e 560V.

Figura 26 – Curva de eficiência de um inversor.




Fonte: Adaptado de SMA (2013).

Assim, busca-se inversores que possuam uma potência nominal próxima à da geração do SFV, ainda que essa, dificilmente estará em sua potência nominal devido a temperatura e irradiação. Para casos em que os inversores estão sujeitos a elevada temperatura, recomenda-se até mesmo que sua potência seja superior à do SFVCR. A relação entre a potência nominal CA e potência de pico do gerador fotovoltaico é denominada por Fator de Dimensionamento do Inversor e é apresentada na Equação (8). Deve-se buscar o melhor custo benefício na aquisição do inversor. Valores recomendados pelos fabricantes estão entre 0,75 e 0,85, com um limite máximo de 1,05 (PINHO e GALDINO, 2014).

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \tag{8}$$

Sendo:

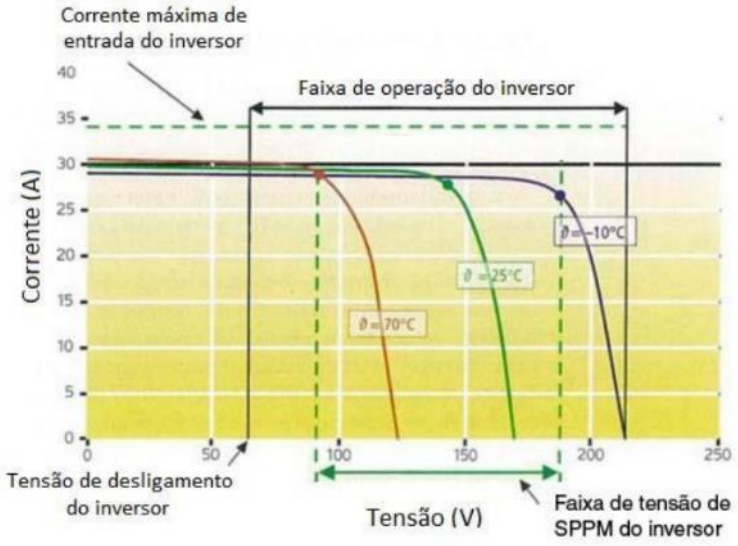
$F_{DI}$: Fator de dimensionamento do inversor;

$P_{Nca}$: Potência nominal em corrente alternada do inversor (W);

$P_{FV}$: Potência pico do painel fotovoltaico (Wp).

Os inversores possuem uma tensão máxima suportada e uma tensão ótima de operação. O arranjo dos painéis fotovoltaicos deve encontrar-se dentro dessa faixa de ótima operação, pois, com as mudanças de irradiância e temperatura ao longo do ano, acabam afetando a tensão gerada em cada painel, exigindo cuidado e atenção para que não venha a danificar o inversor. A máxima tensão acontece com os terminais do painel em aberto e a baixas temperaturas, o que pode ocorrer, por exemplo, no inverno. Fato este que é mostrado na Figura 27 (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 27 – Variação da tensão em função da temperatura relacionando a faixa de operação do inversor.




Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 333).

### 2.2.8.4 Dimensionamento de arranjos série e paralelo

A Equação (9) apresenta o número máximo de painéis conectados em série em um arranjo de tal modo que o inversor venha a suportar a tensão máxima.

$$N_{pseries}\, V_{ocTmin} < V_{Imax} \quad (9)$$

Sendo,

$N_{pseries}$: número de painéis em série no arranjo.

$V_{imax}$: Tensão Máxima CC suportada pela entrada do inversor (V);

$V_{ocTmin}$: Tensão em circuito aberto (Voc) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista (V).

Para a determinação da $V_{ocTmin}$(V) pode-se utilizar a Equação (3).

Para o caso de temperaturas muito altas pode acontecer o inverso, isto é, a redução da tensão de tal maneira que não atinja a mínima necessária para o funcionamento do inversor, provocando assim, o seu desligamento. Portanto, o número de módulos em série deve ser maior do que a tensão mínima necessária e menor do que tensão máxima. Assim, isso pode ser equacionado conforme a Equação (10).

$$\frac{V_{iSSPMmin}}{V_{mpTmax}} < N_{pseries} < \frac{V_{iSSPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (10)$$

Sendo,

$V_{iSPPMmin}$: Mínima tensão CC de operação do segmento do ponto de potência máxima (SPPM), e do inglês MPPT, do inversor (V);

$V_{iSPPMmax}$: Máxima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor (V);

$V_{mpTmin}$: Tensão de potência máxima (Vmp) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista (V).

$V_{mpTmax}$: Tensão de potência máxima (Vmp) de um módulo FV na maior temperatura de operação prevista (V).

Referente a uma tensão máxima, o inversor apresenta uma corrente máxima de entrada CC. A Equação (11) apesenta o cálculo do número máximo de fileiras conectadas em paralelo de um arranjo em série.

$$N_{pseriesparalelo} < \frac{I_{imax}}{I_{SC}} \quad (11)$$

Sendo,

$I_{imax}$ : Corrente máxima CC admitida na entrada do inversor (A);

$I_{SC}$ : Corrente de curto circuito do painel FV (A). Nas condições de STC *(Standard Testing Conditions)*, com irradiância de 1000 W/m² e temperatura do painel de 25ºC.

Os fabricantes apresentam nas fichas técnicas do equipamento o número máximo de séries fotovoltaicas em paralelo a ser utilizada e o $I_{imax}$ para cada entrada do ponto de potência máxima.

## 2.3 Faturamento de energia elétrica para a geração distribuída

### 2.3.1 Estrutura tarifária das concessionárias de energia

A descrição sobre estrutura tarifaria se faz necessário para a compreensão das varias componentes de custos que são incidentes no cálculo da tarifa de energia da geração distribuída.

Segundo ANEEL (2022c, p. 2 e 3), estrutura tarifária e custo regulatório são definidas como:

> Estrutura tarifária é um conjunto de tarifas aplicadas ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica, que refletem a diferenciação relativa dos custos regulatórios da distribuidora entre os subgrupos, classes e subclasses tarifárias, de acordo com as modalidades e os postos tarifários.
>
> Receita Requerida ou Receita Anual – é obtido, respectivamente, nos processos de revisão ou de reajuste tarifário, sendo decomposto em diversos componentes tarifários que refletem nas funções de custo: Transporte, Perdas, Encargos e Energia comprada para revenda. Por sua vez, as funções de custo agregam-se para formar as tarifas.

Essas componentes tarifárias foram agrupadas em Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD ) e Tarifa de Energia (TE), sendo que para a TUSD se diferencia por subgrupo, posto e modalidade tarifária e a TE por posto e modalidade tarifária.

Para o caso de cliente residencial do grupo B, com modalidade tarifária convencional monômia, as tarifas de consumo são únicas independente das horas de utilização do dia, sendo cobrada a TUSD e a TE, conforme pode ser visto na linha ressaltada em amarelo na Figura 28.

Figura 28 – Tarifas aplicadas ao Grupo B e modalidades tarifários.

| GRUPO | SUBGRUPO | MODALIDADE | TUSD | | | | TE | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ponta | Intermediária | Fora Ponta | Sem posto | Ponta | Intermediária | Fora Ponta | Sem posto |
| B (< 2,3 kV) | B1 (residencial) | Convencional | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | | Branca | R$/MWh | R$/MWh | R$/MWh | | R$/MWh | R$/MWh | R$/MWh | |
| | | Pré-pagamento | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | B2 (rural) | Convencional | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | | Branca | R$/MWh | R$/MWh | R$/MWh | | R$/MWh | R$/MWh | R$/MWh | |
| | | Pré-pagamento | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | B3 (demais classes) | Convencional | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | | Branca | R$/MWh | R$/MWh | R$/MWh | | R$/MWh | R$/MWh | R$/MWh | |
| | | Pré-pagamento | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | B4 (IP) | Convencional | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | Distribuição | Distribuição | | | | R$/MWh | | | | R$/MWh |
| | Geração | Geração | | | | R$/kW | | | | |

Fonte: Adaptado de ANEEL (2022c).

A TUSD e a TE são formadas por componentes de custos. Para a TUSD estão envolvidos os custos com transporte, perdas, encargos e outros, conforme Figura 29.

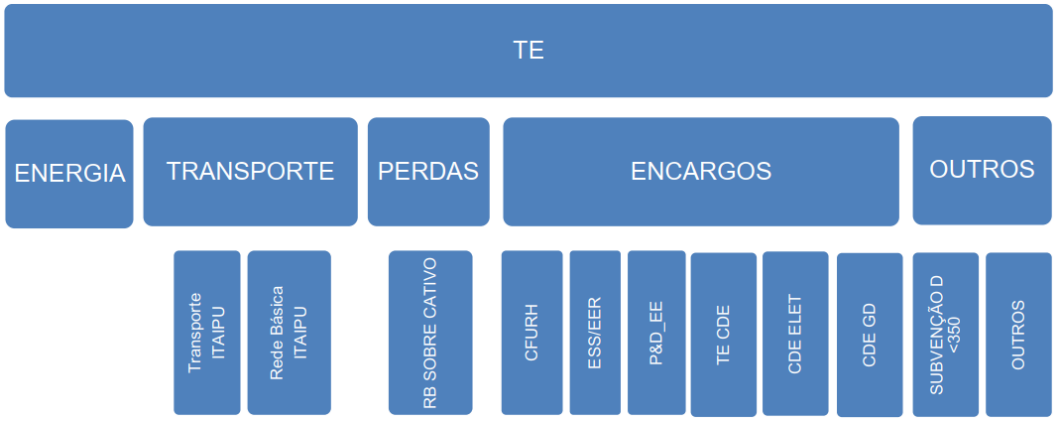
Figura 29 – Funções de custo e componentes tarifários da TUSD.

Fonte: ANEEL (2022c).

Sendo a TUSD Transporte subdividida em TUSD FIO A e TUSD FIO B. A TUSD FIO A é formada por custos regulatórios pelo uso de ativos de propriedade de terceiros compreendida pelo uso da Rede Básica, uso dos transformadores de potência da Rede Básica, uso do sistema de outras distribuidoras e conexão as instalações de transmissão ou distribuição. A TUSD FIO B é formada por custos regulatórios pelo uso de ativos de propriedade da própria distribuidora que compõem a Parcela B, como o custo anual dos ativos (CAA), custo de administração, e operação e manutenção (CAOM). Para a TUSD ENCARGOS, ressalta-se a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica TFSEE e Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica TFSEE e Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D_EE). A TUSD PERDAS é a parte da TUSD que tem o objetivo de recuperar os custos regulatórios das perdas envolvidas no processo (ANEEL, 2022c).

Para TE estão envolvidos os custos com energia, transporte, perdas, encargos e outros. Sendo a TE Energia a componente que recupera os custos pela compra de energia elétrica para revenda ao consumidor do grupo tarifário. A TE Transporte recupera os custos de transmissão e à Rede básica de Itaipu. A TE Perdas recupera as perdas na Rede Básica dado o mercado de referência de energia. Para a TE Encargos, ressalta-se a Encargos de Serviços de Sistema (ESS), Encargo de Energia de Reserva (EER), Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – (P&D_EE). As componentes de custos que integram a TE estão mostradas na Figura 30.

Figura 30 – Funções de custo e componentes tarifários da TE.




Fonte: ANEEL (2022c).

### 2.3.2 Legislação vigente

A agência regulatória ANEEL (2021) atribuiu às centrais geradoras três classificações: microgeração distribuída, minigeração distribuída e central geradora. Dentre as quais, para esse trabalho, destaca-se a microgeração que é definida como:

> Central geradora de energia elétrica que utilize fontes renováveis ou, conforme Resolução Normativa nº 1.031, de 26 de julho de 2022, de cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de unidade consumidora, da qual é considerada parte, que possua potência instalada em corrente alternada menor ou igual a 75 kW.

Conforme Brasil (2022), a Lei 14.300 de 2022, podem aderir ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) entre outros, o consumidor, pessoa física, que possuam microgeração, desde que não esteja associado o aluguel do imóvel e seja cobrado em reais por kWh. E os consumidores do Grupo A, optantes pelo faturamento em BT. Além disso, essa lei criou um período de transição de benefícios tarifários incidentes no consumo de energia compensada conforme a classificação de geração. A ANEEL (2023b) definiu elas como GD I, GD II e GD III.

O GD I se refere as conexões solicitadas até 07 de janeiro de 2023. Eles utilizarão a forma existente do SCEE por mais 25 anos, isto é, até 31 de dezembro de 2045.

O GD II são conexões solicitadas a partir de 8 de janeiro de 2023 e que não se enquadram em GD I e nas condições de GD III descritos em ANEEL (2021). Este faturamento deve possuir descontos tarifários estabelecidos nas resoluções homologatória de tarifas da distribuidora para a GD II. O novo procedimento de cobrança que será estabelecido pela ANEEL deverá ser iniciado em 2031 para unidades participantes em que o protocolo de

solicitação de orçamento de conexão, tenha sido feito entre 08 de janeiro de 2023 a 07 de julho de 2023. Para as demais unidades, a regra começa a valer em 2029.

A Lei 14.300, no artigo 27, define um escalonamento de cobrança para os anos seguintes sobre uma "das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição".

Segundo ANEEL (2023b) sobre a parcela da TE considerar 100% de desconto, não sendo considerado as funções de custo da TE energia e TE Transporte. Para a TUSD, deve ser considerado a incidência de todos os componentes tarifários com a aplicação descontos no componente tarifário TUSD Fio B, por ano civil e a partir de 2029 devem ser observados os dispostos no artigo 17 da lei 14.300.

> i. 85% de 08/01/2023 a 31/12/2023;
> ii. 70% de 01/01/2024 a 31/12/2024;
> iii. 55% de 01/01/2025 a 31/12/2025;
> iv. 40% de 01/01/2026 a 31/12/2026;
> v. 25% de 01/01/2027 a 31/12/2027;
> vi. 10% de 01/01/2028 a 31/12/2028;

GD III são as conexões solicitadas a partir de 8 de janeiro de 2023, que não se enquadram como GD I, e possuem uma potência instalada acima de 500 kW, em fonte não despachável na modalidade autoconsumo remoto ou na modalidade geração compartilhada, em que um único titular detenha 25% ou mais de participação do excedente de energia. Para esse caso, segundo ANEEL (2023b), devem ser "estabelecidos descontos tarifários estabelecidos na Resolução Homologatória de tarifas da distribuidora para a GD III." Sendo que o novo procedimento de cobrança que será estabelecido pela ANEEL, deverá ser iniciado em 2031 para unidades participantes em que o protocolo de solicitação de orçamento de conexão, tenha sido feito entre 08 de janeiro de 2023 a 07 de julho de 2023. Para as demais unidades, a regra começa a valer em 2029.

A Lei 14300 estabelece que para esse tipo de faturamento deve considerar até 2028 a incidência:

> I - de 100% (cem por cento) das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição;

> II - de 40% (quarenta por cento) das componentes tarifárias relativas ao uso dos sistemas de transmissão da Rede Básica, ao uso dos transformadores de potência da Rede Básica com tensão inferior a 230 kV (duzentos e trinta quilovolts) e das Demais Instalações de Transmissão (DIT) compartilhadas, ao uso dos sistemas de distribuição de outras distribuidoras e à conexão às instalações de transmissão ou de distribuição;
>
> III - de 100% (cem por cento) dos encargos Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética (EE) e Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE); e
>
> IV - da regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

Conforme ANEEL (2023b), para a TUSD devem ser aplicados os seguintes percentuais de redução na tarifa de aplicação no faturamento da parcelo de consumo de energia compensada até 31 de dezembro de 2028:

> i. 60% do componente TUSD Fio A;
>
> ii. 100% dos componentes tarifários da TUSD ENCARGOS: ONS, CDE, CDE CONTAS e PROINFA;
>
> iii. 100% da função de custo TUSD PERDAS; e
> iv. 100% da função de custo TUSD OUTROS

Para a TE:

> i. 100% da função de custo TE PERDAS;
>
> ii. 100% dos componentes tarifários da TE ENCARGOS: CFRUH, ESS/ERR, TE CDE, CDE GD e CDE ELET; e
>
> iii. 100% da função de custo TE OUTROS.

### 2.3.3 Sistema de compensação de energia elétrica (SCEE)

Conforme ANEEL (2016c), a concessionária de energia é responsável pela aquisição e instalação do medidor bidirecional, que permite a mensuração dos valores de energia elétrica consumidos e injetados na rede.

A ANEEL (2016c, p. 81) definiu como requisito normativo mínimo para geradores com potência instalada de até 75 kW a utilização de um sistema de medição bidirecional que pelo menos diferencie “a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede” e que para potências instaladas maiores, a necessidade de medidores de 4 quadrantes.

Conforme Nogueira *et al.* (2015), esses medidores são mais precisos e confiáveis, justamente por atuarem nesses quatro quadrantes, o que levou adoção dessa tecnologia para cargas instaladas maiores do que 75 kW para geração distribuída, conforme ANEEL (2016c).

O medidor bidirecional permite o registro da energia elétrica proveniente da rede para a Unidade Consumidora (UC), bem como a proveniente da UC para a rede da concessionária, permitindo assim, a sua contabilização para a emissão do faturamento da conta de energia elétrica. A Figura 31, exemplifica os valores medidos de consumo de 264 kWh e energia ativa injetada de 214 kWh para um cliente residencial com tarifa B1. (ENERGISA, 2021)

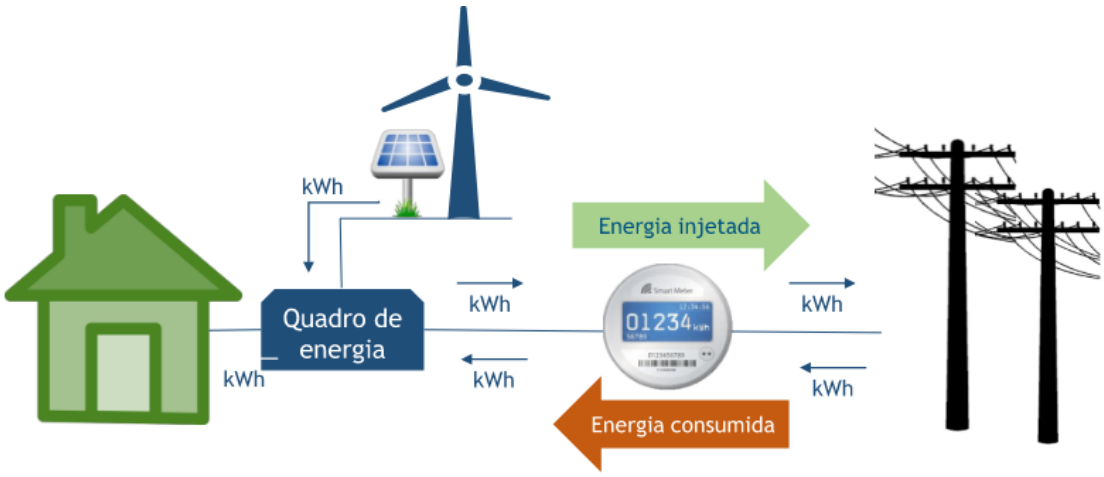
Figura 31 – Fatura de energia da Energisa apresentada para uma microgeração.

| Itens da Fatura | Unid. | Quant. | Preço unit (R$) com tributos | Valor (R$) | PIS/ COFINS (R$) | Base Calc. ICMS (R$) | % Alíq. ICMS | ICMS (R$) | Tarifa Unit (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Consumo em kWh | KWH | 264,00 | 1,171830 | 309,36 | 15,04 | 309,36 | 20 | 61,87 | 0,880470 |
| Energia Atv Injetada | KWH | 214,00 | 1,171830 | -250,77 | -12,19 | -250,77 | 20 | -50,16 | 0,880470 |
| LANÇAMENTOS E SERVIÇOS | | | | | | | | | |
| CONT.IL.PUB-CIP MUNICIPAL | | | | 46,26 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00 | |
| JUROS DE MORA 08/2023 | | | | 0,02 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | |
| MULTA 08/2023 | | | | 1,37 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | |

Fonte: Energisa (2021).

A Figura 32 apresenta o SCEE existente em que cada kWh injetado pela microgeração é compensado do kWh consumido, salvo o custo de disponibilidade do sistema. Havendo saldo positivo da geração em relação ao consumo, ele pode ser aproveitado em até 60 meses, independentemente do valor tarifário do mês.

Figura 32 – Sistema de Compensação de energia.




Fonte: ANEEL (2019).

# 3 METODOLOGIA

Na primeira fase da investigação, foi feita a pesquisa bibliográfica referente aos principais temas associados ao trabalho, a saber: veículos elétricos, energia fotovoltaica e análise econômico-financeira. A segunda fase, utilizou-se a pesquisa de abordagem quantitativa, valendo-se de dados numéricos e o tratamento, por muitas vezes estatístico para produzir informações que auxiliaram nas conclusões do presente trabalho. Tendo por natureza a aplicabilidade da pesquisa, visto que busca à solução de um problema objetivo de um estudo de caso.

Foi feita a análise técnico-financeira para 4 casos utilizando um Veículo a Combustão Interna (VCI) ou um Veículo Elétrico (VE) por uma família para a cidade de Campo Grande/MS, comparando-os em 4 categorias diferentes que estão mostrados no Quadro 7.

Quadro 7 – Veículos analisados e sua referida categoria

| Caso | Veículo | Categoria |
|---|---|---|
| 1 | *Fiat Mobi Like* | Sub Compacto |
| | *Jac e-JS1* | Sub Compacto |
| 2 | *Hyundai HB20 Sense* | Compacto |
| | *Peugeot E-208 GT* | Compacto |
| 3 | *BYD Dolphin GS 180EV* | Médio |
| | *Nissan Versa Sense* | Médio |
| 4 | *Nissan Leaf Tekna* | Grande |
| | *Toyota Corolla Cross XR 20* | Grande |

Fonte: Autoria própria.

As categorias foram definidas conforme INMETRO (2023a, p. 18):

> "D.2.1 Categoria de veículo de passageiros subcompacto
>
> Veículo com massa total máxima de até 3.856 kg e massa em ordem de marcha de até 2.720 kg, projetado para o transporte de passageiros e que não tenha mais de 8 (oito) assentos, além do assento do motorista, com área inferior a 6,50 m²; exceto veículos derivados de passageiros para transporte de carga e veículos esportivos.
>
> D.2.2 Categoria de veículo de passageiros compacto
>
> Veículo com massa total máxima de até 3.856 kg e massa em ordem de marcha de até 2.720 kg, projetado para o transporte de passageiros e que não tenha mais de 8 (oito) assentos, além do assento do motorista, com área entre 6,50 m² e inferior a 7,00 m², exceto veículos derivados de passageiros para transporte de carga e veículos esportivos.
>
> D.2.3 Categoria de veículo de passageiros médio
>
> Veículo com massa total máxima de até 3.856 kg e massa em ordem de marcha de até 2.720 kg, projetado para o transporte de passageiros e que não tenha mais de 8 (oito) assentos, além do assento do motorista, com área entre 7,00 m² e inferior a

> 8,00 m²; exceto veículos derivados de passageiros para transporte de carga e veículos esportivos.
>
> D.2.4 Categoria de veículo de passageiros grande
>
> Veículo com massa total máxima de até 3.856 kg e massa em ordem de marcha de até 2.720 kg, projetado para o transporte de passageiros e que não tenha mais de 8 (oito) assentos, além do assento do motorista, com área entre 8,00 m² e inferior a 8,50 m², exceto veículos derivados de passageiros para transporte de carga e veículos esportivos."

A escolha dos veículos analisados, deu-se por sua relevância nas vendas e por fazerem parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) de 2023, com os dados disponíveis em INMETRO (2023b).

Segundo a revista eletrônica Autoesporte (2023a), os veículos elétricos mais vendidos no Brasil de janeiro a agosto de 2023 foram: o *Jac e-JS1*, ocupando a sexta posição com 290 unidades comercializadas; o *Peugeot E-208 GT* na vigésima segunda posição com 55 unidades; o *BYD Dolphin GS 180EV*, que mesmo começando a ser comercializado em julho de 2023 consta de 468 unidades; o *Nissan Leaf*, com 168 unidades vendidas ocupando a décima primeira posição.

Ainda segundo o mesmo *site*, Autoesporte (2023b), entre todos os carros vendidos no Brasil para o mês agosto de 2023, o *Fiat Mobi Like* foi o sexto carro mais vendido com 6.593 unidades, o *Hyundai HB20 Sense* o quarto colocado com 8.053 unidades, o *Nissan Versa* com 977 unidades e quadragésima quinta posição; e o *Toyota Corolla Cross* ocupa a vigésima quinta posição com 3.247 unidades.

A análise foi efetuada em 3 cenários, baseando-se na autonomia do veículo elétrico, com 10%, 50% e 100% da autonomia, respectivamente. Ainda, dentro de cada cenário, foram propostas 4 Hipóteses para a utilização dos veículos que estão descritas no Quadro 8.

Quadro 8 – Hipóteses criadas.

| Hipótese | Tipo de Veículo | Combustível | Sistema fotovoltaico |
|---|---|---|---|
| 1 | VCI | Gasolina | Não |
| 2 | VCI | Etanol | Não |
| 3 | VE | Energia Elétrica | Não |
| 4 | VE | Energia Elétrica | Sim |

Fonte: Autoria própria.

Nota: VCI: Veículo a combustão interna. VE: Veículo elétrico.

Para exemplificar o que foi estudado nesse trabalho, utilizando-se as informações do o Quadro 7 e o Quadro 8, para o Caso 1, isto é, a categoria dos subcompactos, foi comparado

o *Fiat Mobi Like* utilizando gasolina (Hipótese 1) e etanol (Hipótese 2) com o *Jac e-JS1* sendo alimentado pela rede da concessionária Energisa MS (Hipótese 3) e com um sistema fotovoltaico conectado à rede (Hipótese 4). O mesmo vale para os demais Casos.

Para a recarga da bateria dos VEs, Hipóteses 3 e 4, foi proposta a instalação de uma estação de recarga que está detalhada no tópico 3.5, permitindo a recarga em até 8 horas.

A Figura 33 mostra o resumo da análise técnica envolvida nesse trabalho, sendo elas: análise e dimensionamento do SFVCR, infraestrutura com a instalação do carregador veicular, análise de demanda de energia elétrica, proteções e dimensionamento do circuito elétrico para alimentar o carregador veicular; caracterização da residência com seu consumo de energia elétrica e consumo de combustível e energia elétrica para os veículos.

Figura 33 – Análise técnica efetuada.

| Consumo de energia | Estação de recarga | SFVCR |
|---|---|---|
| •Consumo de combustível;<br>•Consumo de energia elétrica residência. | •Análise de demanda de energia elétrica;<br>•Análise das proteções do quadro elétrico;<br>•Projeto elétrico. | •Dimensionamento para a Hipótese 4. |

Fonte: Autoria própria.

Para o aspecto financeiro, foi criada a Figura 34 em que são mostrados os custos analisados para cada uma das Hipóteses do estudo.

Figura 34 – Custos analisados para cada Hipótese.

| Hipótese 1 e 2 | Hipótese 3 e 4 |
|---|---|
| •Aquisição do veículo;<br>•Revisão;<br>•Licenciamento;<br>•IPVA;<br>•Consumo de combustível (Gasolina ou Etanol);<br>•Consumo de energia elétrica da residência;<br>•Valor de revenda. | •Aquisição do veículo;<br>•Revisão;<br>•Licenciamento;<br>•IPVA;<br>•Consumo de energia elétrica da residência;<br>•Consumo de energia elétrica do veículo elétrico;<br>•Aquisição e infraestrutura para o carregador veicular;<br>•Valor de Revenda;<br>•Aquisição e manutenção do SFVCR (Hipótese 4). |

Fonte: Autoria própria.

Notas: IPVA: Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores. SFVCR: Sistema fotovoltaico conectado à rede.

Cada um dos custos descritos possui componentes específicos com suas particularidades que serão descritos nos itens a seguir da Metodologia.

Para o levantamento de dados, apuração e cálculos para esse trabalho, foram tomados os seguintes passos

I. Delimitação do período de análise.
II. Criação de cenários.
III. Caracterização da residência;
IV. Caracterização dos automóveis;
V. Caracterização do carregador veicular;
VI. Caracterização do sistema fotovoltaico;
VII. Caracterização dos custos envolvidos.

## 3.1 Delimitação do período de análise

O período de estudo proposto foi de 96 meses, de agosto de 2023 a dezembro de 2030, devido ao tempo para substituição da bateria, que segundo *Motor Passion* (2022), as baterias dos veículos elétricos são projetadas para terem uma vida útil entre 150 mil km e 200 mil km ou um período de 8 anos (96 meses). No caso do *Nissan Leaf* 2023, segundo a própria *Nissan* (2023b), “a bateria de íons-lítio que acompanha o veículo, possui garantia de 8 anos ou 160.000km, o que ocorrer primeiro”. Adiciona-se a isso, o valor da troca da bateria, que conforme a Revista Carro (2019), no mercado internacional possui um custo de 200 dólares por quilowatt (kWh), o que para o dia 24 de fevereiro de 2023 segundo o Banco Central do Brasil (2023), o dólar americano foi cotado a R$ 5,1785, totalizando R$ 41.428,00.

## 3.2 Cenários

A Tabela 5 mostra os 3 cenários propostos de estudo baseados em 10%, 50% e 100% da autonomia do VE informada em INMETRO (2023b) como a distância diária percorrida pelos veículos para cada caso, tendo em vista que isso influencia no consumo de energia, no tamanho do SFVCR e nos custos envolvidos.

Tabela 5 – Cenários criados para os 4 casos analisados.

| Caso | Cenários | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| | % Autonomia | 10% | 50% | 100% |
| 1 | Distância diária percorrida (km) | 16,10 | 80,50 | 161,00 |
| 2 | | 22,00 | 110,00 | 220,00 |
| 3 | | 29,10 | 145,50 | 291,00 |
| 4 | | 19,20 | 96,00 | 192,00 |

Fonte: Autoria própria.

## 3.3 Caracterização da residência

O local estudado é uma residência localizada no bairro Nova Campo Grande em Campo Grande, MS, onde moram 2 pessoas. Possui 113 m de perímetro de terreno e uma área de 794 m², em que a área da casa com a área dos fundos é de 151m², com as seguintes coordenadas, latitude -20.458075°e longitude -54.692725°.

A residência possui projeto elétrico de 2017, quando foi feito uma reforma e não foram adicionadas novas cargas desde então.

A carga instalada atual é de 27.560 VA e demanda estimada de 17.375 VA, com um padrão de energia trifásico, (3F+N+T), 220V e uma proteção de 50 A.

Para o projeto fotovoltaico, o telhado possui uma estrutura de madeira e telha de fibrocimento, com uma inclinação de 15% como apresentado na Figura 35, que segundo Pinho e Galdino (2014), a máxima geração é dada quando a inclinação é a mesma da latitude, porém não há mudanças significativas na geração se o gerador fotovoltaico estiver entre mais ou menos 10º da latitude do local.

Figura 35 – Detalhe da residência com a indicação do norte geográfico.

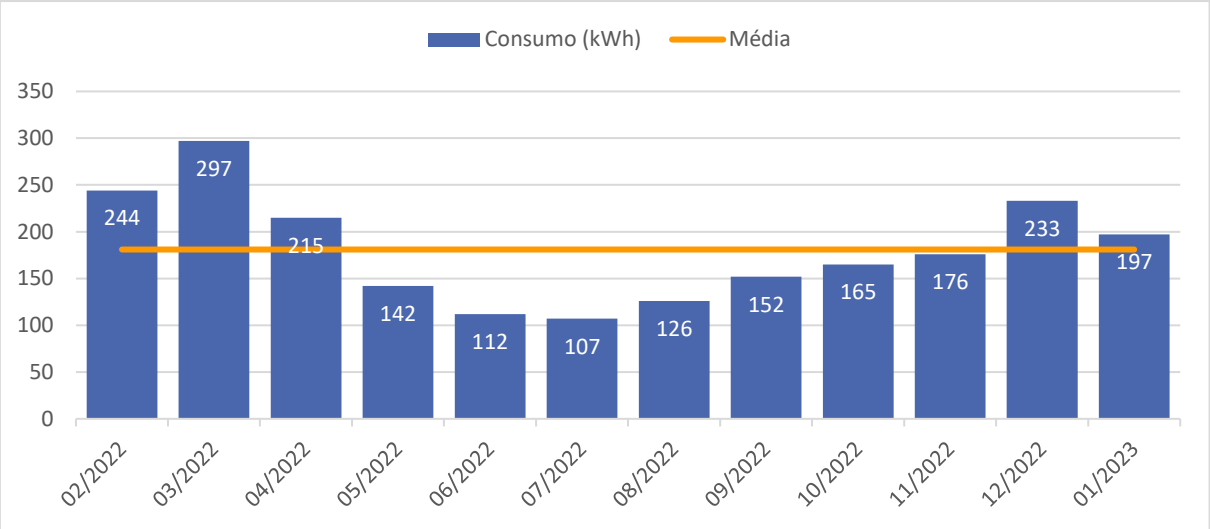
(a) Foto de 2022. (b) Foto de 20 de abril de 2023.

Fonte: (a) Autoria própria. (b) Adaptado de Google Earth.

### 3.3.1 Consumo de energia elétrica da residência ($E_{REE}$)

A Energisa MS é a concessionária que fornece energia elétrica ao local, sendo a unidade consumidora classificada como cliente residencial com a Tarifa B1, com uma média mensal de consumo de 181 kWh, entre a 02/2022 a 01/2023. Os dados foram obtidos das faturas de energia da unidade consumidora e estão mostrados na Figura 36.

Figura 36 – Consumo mensal de energia elétrica para a residência.




Fonte: Autoria própria.

## 3.4 Caracterização do consumo de energia dos veículos

Foram utilizados os dados de consumo dos veículos disponibilizados pelo INMETRO (2023b) e estão mostrados na Tabela 6. Esses valores divergem dos apresentados pelos fabricantes, como por exemplo, o *Nissan Leaf* modelo 2023, que conforme sua ficha técnica, possui uma autonomia de 272 km (NISSAN, 2023a) e isto se deve pela diferente metodologia usada entre ambos. Ainda, o INMETRO faz uma redução de 30% na autonomia do veículo elétrico para uma percepção de consumo mais realista para o condutor.

Tabela 6 – Dados de consumo dos veículos.

| Veículo | Cidade (km/l) | | | Estrada (km/l) | | | CE (MJ/km) | Aut. (km) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Et | G | El[1] | Et | G | El[1] | | |
| *Fiat Mobi Like* | 9,6 | 13,5 | - | 10,4 | 15,0 | - | 1,50 | - |
| *Jac e-JS1* | - | - | 40,9 | - | - | 30,3 | 0,57 | 161 |
| *Hyundai HB20 Sense* | 9,6 | 13,3 | - | 10,4 | 14,6 | - | 1,52 | - |
| *Peugeot E-208 GT* | - | - | 37,8 | - | - | 30,8 | 0,59 | 220 |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | - | - | 51,9 | - | - | 43,5 | 0,42 | 291 |
| *Nissan Versa Sense* | 7,9 | 11,5 | - | 10,2 | 14,7 | - | 1,70 | - |
| *Nissan Leaf Tekna* | - | - | 38,7 | - | - | 31,9 | 0,58 | 192 |
| *Toyota Corolla Cross XR 20* | 8,2 | 11,7 | - | 9 | 13 | - | 1,76 | - |

Fonte: Adaptado de INMETRO (2023b).

Notas: Et: Etanol; G: Gasolina; El: Eletricidade; CE: Consumo energético; Aut: autonomia.[1] km/l equivalente.

De acordo a Tabela 6, o *JAC e-JS1* apresenta um consumo equivalente de 40,9 km/l equivalente na cidade e 30,3 km/l equivalente na estrada, com um consumo energético de 0,57 MJ/km da fonte externa e autonomia de 161 km. O mesmo raciocínio é válido para os demais veículos. Esses dados foram utilizados com as Equações (12) e (13), informadas por INMETRO (2023a) para o cálculo do consumo combinado dos veículos e para o consumo de energia elétrica da fonte externa dos VEs.

$$CE_C = CE_U \cdot 0{,}55 + CE_S \cdot 0{,}45 \quad (12)$$

$$CE = CE_{ele} \cdot 0{,}0036 \quad (13)$$

Sendo:

$CE_c$ : Consumo energético combinado urbano e estrada (km/l);

$CE_U$ : Consumo energético urbano (km/l);

$CE_S$ : Consumo energético estrada (km/l);

CE: Consumo energético no ciclo urbano ou estrada (MJ/km);

$CE_{ele}$: Consumo de energia elétrica de fonte externa ao veículo (Wh/km).

## 3.5 Estação de recarga

Por meio de visita ao local e análise do projeto elétrico da residência, foi definida a localização do carregador veicular que ficará na garagem.

O equipamento escolhido foi o da marca *ABB*, Terra *AC Wall Box* 7,4 kW, cabo e conector AC tipo 2, *RFID*, com potência de 7.400 W, 220 V bifásico (2F+T), analisou-se a possibilidade da adição dessa nova carga utilizando-se o cálculo da demanda.

Foi feito o projeto elétrico, utilizando-se o *Autocad* 2020 e cálculos de condutores baseados nos critérios da corrente e da queda de tensão. Também, foi apresentado os cálculos da ocupação dos eletrodutos, baseados na ABNT 5410, versão 2008 (2004).

## 3.6 Sistema Fotovoltaico

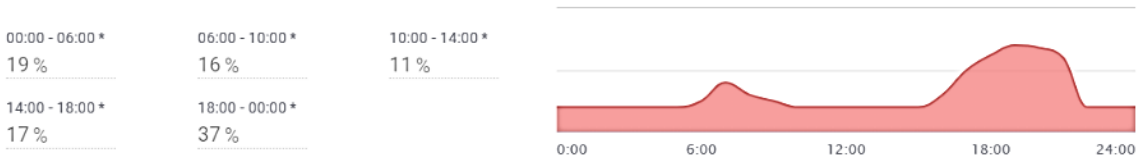
Conforme Pinho e Galdino (2014), para o dimensionamento do SFVCR, foi utilizado a média mensal de consumo da residência descrito em 3.3.1, acrescido o consumo do veículo elétrico.

Como se trata de um cliente trifásico da classe residencial, foi descontado os 100 kWh referente ao custo de disponibilidade para clientes residenciais trifásicos conforme artigo 291 contido em ANEEL (2021), sendo necessários então 81 kWh de geração mensal para suprir o consumo da residência. Observa-se que não foram feitos cálculos mecânicos para verificar se a estrutura do telhado suporta o SFV.

Utilizou-se a ferramenta computacional *Solar Edge Designer* para a simulação dos sistemas fotovoltaicos. A inclinação dos painéis foi de 15º e azimute de 3º. Foi considerada a utilização do painel fotovoltaico EMPALUX MF00500 que possui uma potência pico de 500 Wp segundo Standard Testing Conditions (STC), a ficha técnica está inserida no **ANEXO A**. Foi efetuada a média aritmética mensal da geração solar para cada um dos cenários e Hipóteses estudadas.

Foi considerada a curva de carga "Residência com uma ou duas pessoas" como consumo típico diário para a residência que está mostrada na Figura 37. Assim, foi considerada a simultaneidade entre a geração e o consumo instantâneo realizado pela residência no valor de 66,83 kWh.

Figura 37 – Curva de carga típica para a residência adotada para os sistemas fotovoltaicos.




Fonte: Solar Edge (2023).

## 3.7 Caracterização dos custos

Os custos envolvidos na análise, foram:

I. O custo com a aquisição ($C_{VAq}$) e a infraestrutura necessária para o Carregador Veicular ($C_{VInfr}$);
II. O custo com a aquisição ($C_{AQSFVCR}$) e limpeza do Sistema Fotovoltaico ($C_{LSFVCR}$), sendo feito o rateio com base no consumo da residência ($C_{RSFVCR}$) e do veículo elétrico ($C_{VSFVCR}$);
III. O custo com a energia elétrica consumida pela residência ($C_{REE}$).
IV. O custo com a energia para o veículo ($C_{Ven}$), sendo a energia elétrica para os VEs e a química proveniente da gasolina ou etanol para os VCis;
V. O custo geral para os veículos ($C_{VGeral}$) que inclui o IPVA ($C_{VIPVA}$), o licenciamento ($C_{VLic}$), e custos com a revisão ($C_{VRev}$);
VI. O custo operacional ($C_{VOp}$), custo total ($C_T$) e custo final ($C_F$);
VII. Para o final do período o valor de revenda do veículo ($V_{Rev}$).

Cada um desses custos e valores possuem a necessidade de atualização monetária que serão descritos a seguir.

Não foram considerados os custos referentes a limpeza, troca de peças e equipamentos dos veículos.

### 3.7.1 Custos mensais, acumulados, totais, inicial e final

Os dados referentes aos custos foram reunidos em planilhas eletrônicas utilizando o *Microsoft Excel* 2019 para serem efetuados os cálculos e determinação dos custos mensais, acumulados e totais para o período estudado, os quais foram separados dos custos associados à residência e aos veículos.

Para o custo inicial, foi utilizada a Equação (14). Para os cálculos dos custos referentes aos veículos foi utilizada a Equação (15) e para o valor acumulado no período a Equação (16).

$$C_{I(n)} = C_{VAq(n)} + C_{VInfr(n)} + C_{AQSFVCR(n)} \quad (14)$$

$$C_{V(n)} = C_{VAq(n)} + C_{VInfr(n)} + C_{VEn(n)} + C_{VRev(n)} + C_{VIPVA(n)} + C_{VLic(n)} + C_{VSFVCR(n)} \quad (15)$$

$$C_{VA(n)} = \sum_{n}^{0} C_{V(n)} \quad (16)$$

Para a residência, as Equações (17) e (18).

$$C_{R(n)} = C_{RSFVCR\,(n)} + C_{REE(n)} \quad (17)$$

$$C_{RA(n)} = \sum_{n}^{0} C_{R(n)} \quad (18)$$

As Equações (19), (20) e (21), para o custo total, custo acumulado mensal e custo final, respectivamente.

$$C_{T(n)} = C_{V(n)} + C_{R(n)} \quad (19)$$

$$C_{TA(n)} = \sum_{n}^{0} C_{T(n)} \quad (20)$$

$$C_{F(n)} = C_{T(n)} - V_{Rev(n)} \quad (21)$$

Sendo,

n: mês de referência

$C_{I(n)}$: Custo inicial (R$);

$C_{V(n)}$: Custo do veículo no mês *n* (R$);

$C_{Vaq(n)}$: Custo de aquisição do veículo que se aplica somente no mês 0 (R$);

$C_{Vinfr(n)}$: Custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga que se aplica somente no mês 0 (R$);

$C_{VEn(n)}$: Custo com o consumo de energia pelo veículo no mês *n* (R$).

$C_{VRev(n)}$: Custo com as revisões de 10 mil km ou 12 meses no mês *n* (R$);

$C_{VIPVA(n)}$: Custo com o IPVA no mês *n* (R$);

$C_{VLic\,(n)}$: Custo com a taxa de Licenciamento do veículo no mês *n* (R$);

$C_{VSFVCR}$: Custo apropriado para o veículo com a aquisição e instalação do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

$C_{RSFVCR(n)}$: Custo apropriado para o veículo com a aquisição e instalação do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

$C_{VA(n)}$: Custo total acumulado referente ao veículo no mês *n* (R$).

$C_{REE(n)}$: Custo de energia elétrica da residência no mês *n* (R$).

$C_{R(n)}$: Custo referente à residência no mês *n* (R$).

$C_{RA(n)}$: Custo total acumulado referente à residência no mês *n* (R$).

$C_{T(n)}$: Custo total no mês *n* (R$).

$C_{TA(n)}$: Custo total acumulado no mês *n* (R$).

$C_{F(n)}$: Custo final no mês *n* (R$).

Foi realizada a regressão linear com o $C_F$, dado os valores dos 3 cenários, e resolvidas as equações da reta encontradas, igualando as equações das Hipóteses 1 e 2 com as Hipóteses 4, com o objetivo de determinar a partir de qual distância os VEs possuem um custo menor do que os VCIs.

### 3.7.2 Atualização monetária

Os valores da tarifa de energia elétrica, preço do combustível, Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP), licenciamento, IPVA, e mão de obra de limpeza do SFV, sofreram atualizações monetárias durante o cálculo dos custos para o período estudado. O método pelo qual cada atualização foi calculada é detalhado no item pertinente do componente.

Para a atualização monetária foi utilizado a fórmula dos juros compostos, conforme a Equação (22) (SAMANEZ, 2002).

$$M = C\ (1 + a)^t \tag{22}$$

Sendo,

M: Montante que é a soma do capital com os juros (R$);

C: Capital que é o valor inicial o qual incidirá os juros (taxa de atualização) (R$);

a: Taxa de juros (atualização) (%);

t: é o tempo que será aplicado o capital.

### 3.7.3 Custo de aquisição e infraestrutura da estação de recarga ($C_{VInf}$)

O $C_{VInfr}$ envolve custos com os materiais, equipamentos, projeto elétrico e mão de obra, orçados em 24 de fevereiro de 2023. Foram pesquisados os custos com materiais e equipamentos em páginas na Internet. Foi feito um orçamento próprio pelo autor para os custos com o projeto elétrico e acrescido a diária de um eletricista para a execução do projeto. Os produtos e serviços e suas fontes de referência estão mostrados no Quadro 9.

Quadro 9 – Relação de materiais e serviços e as fontes de referência onde os dados foram retirados.

| Descrição | Referência |
|---|---|
| Carregador ABB Terra AC Wall Box 7,4kW, cabo e conector AC tipo 2, RFID, ABB | (ABB, 2023) |
| Caixa de proteção para carregadores de 7,4 kW, conexão FF, ABB | (ABB, 2023) |
| Cabo CU isolado XLPE 90º 6mm² SIL | (MERCADO LIVRE, 2023a) |
| Eletroduto Galvanizado Zincado Leve 3/4 - 3 Metros | (MERCADO LIVRE, 2023b) |
| Acessórios (parafusos, fita isolante, abraçadeira, terminal cabos) | Autoria Própria |
| Mão de obra eletricista (diária) | Autoria Própria |
| Projeto Engenheiro | Autoria Própria |

Fonte: Autoria própria.

### 3.7.4 Custos com o sistema fotovoltaico conectado à rede

Para os custos referente ao sistema fotovoltaico, foram solicitados orçamentos em maio de 2023 para empresas do setor de energia fotovoltaica localizadas na cidade de Campo Grande – MS.

De posse desses valores foi efetuado a regressão linear para a determinar o custo de aquisição do SFV ($C_{AQSFVCR}$), utilizada para a Hipótese 4 de cada um dos Casos.

O custo do SFV foi denominado $C_{SFVCR}$ obtido com a Equação (23) e envolve a aquisição ($C_{AQSFVCR}$), o custo de limpeza ($C_{LSFVCR}$) a cada 12 meses, atualizados pela média aritmética mensal do índice IGP-M de 0,7619% de 01/2016 a 12/2022.

Foi feito o custeio por absorção para o veículo elétrico e a residência, adotando-se como base de rateio o critério do consumo de energia elétrica, tanto do veículo elétrico, quanto da residência, dado pelas Equações (24) e (25) (MARTINS, 2018).

$$C_{SFVCR(n)} = C_{AQSFVCR(n)} + C_{LSFVCR(n)} \quad (23)$$

$$C_{VSFVCR(n)} = (E_{V(n)}/E_{SFVCR(n)}) \cdot C_{SFVCR(n)} \quad (24)$$

$$C_{RSFVCR(n)} = (E_{R(n)}/E_{SFVCR(n)}) \cdot C_{SFVCR(n)} \quad (25)$$

Sendo,

*n*: mês de referência;

$C_{SFVCR(n)}$: Custo do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

$C_{AQSFVCR}$: Custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico que somente se aplica no mês 0 (R$);

$C_{LSFVCR(n)}$: Custo de limpeza do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

$C_{VSFVCR(n)}$: Custo apropriado ao veículo elétrico do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

$E_{V(n)}$: Energia elétrica consumida pelo veículo elétrico no mês *n* (kWh);

$E_{SFVCR(n)}$: Energia elétrica gerada média no mês *n* (kWh);

$C_{RSFVCR(n)}$: Custo apropriado a residência do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

$E_{R\,(n)}$: Consumo de energia elétrica pela residência no mês *n* (kWh).

### 3.7.5 Custos com energia elétrica ($C_{EE}$)

Conforme ANEEL (2016b) e (2023b) o $C_{EE}$ é dado pela Equação (26).

$$C_{EE\,(n)} = T_{EE(n)}E_{(n)} + E_{(n)}B_{Tarifária(n)} + COSIP_{(n)} + T_{DGD(n)}E_{Inj(n)} \quad (26)$$

Sendo,

n: mês de referência;

$C_{EE(n)}$: Custo com energia elétrica no mês *n* (R$);

$T_{EE\,(n)}$: Valor da tarifa cobrado do consumidor no mês *n* (R$/kWh);

$B_{Tarifária\,(n)}$: Valor da bandeira tarifária cobrado do consumidor no mês *n* (R$/kWh);

$E_{(n)}$: Energia elétrica consumida no mês n; para o uso do sistema fotovoltaico foi denominada $E_{GD.}$ (kWh);

$COSIP_{(n)}$: Contribuição de Serviço de Iluminação Pública no mês *n* (R$);

$T_{DGD(n)}$:Tarifa de acordo ao tipo de faturamento da geração distribuída (R$/kWh).

$E_{inj(n)}$: Energia injetada no mês *n* (kWh)

Foi feito o custeio por absorção, adotando-se o critério do consumo de energia elétrica tanto do veículo elétrico quanto da residência, sendo descrito conforme as Equações (27) e (28) (MARTINS, 2018).

$$C_{VEE(n)} = (E_{V(n)}/E_{(n)}) \cdot C_{EE(n)} \quad (27)$$

$$C_{REE(n)} = (E_{R(n)}/E_{(n)}) \cdot C_{EE(n)} \quad (28)$$

Sendo,

n: mês de referência;

$C_{EE(n)}$: Custo com energia elétrica no mês *n* (R$);

$C_{VEE(n)}$: Custo com energia elétrica apropriado ao veículo no mês *n* (R$);

$E_{V(n)}$: Energia elétrica consumida pelo veículo no mês *n* (kWh);

$E_{(n)}$: Consumo de energia elétrica no mês *n* (kWh);

$E_{R(n)}$: Energia elétrica consumida pela residência no mês *n* (kWh).

### 3.7.5.1 Tarifa de energia elétrica

Os itens 3.7.5.2 a 3.7.5.5 são tomados para o cálculo mensal da tarifa de energia elétrica cobrada do consumidor ($T_{EE}$), utilizando-se a Equação (29), que foi enunciada conforme ANEEL (2016b) e, posteriormente, alterada a incidência do ICMS de acordo a Brasil (2023). De acordo a ANEEL (2023b), para o caso de haver geração distribuída na unidade consumidora, a Equação (30) também é aplicada ao consumidor.

$$T_{EE(n)} = \frac{TUSD_{(n)} + TE_{(n)}}{\left(1 - PIS_{(n)} - COFINS_{(n)}\right) * \left(1 - ICMS_{(n)}\right)} \quad (29)$$

$$T_{DGD(mn)} = I_{TUSD\ (mn)} \cdot TUSD_{(n)} + I_{TE\ (mn)} \cdot TE_{(n)} \quad (30)$$

Sendo,

n: mês de referência;

m: tipo de geração distribuída. Podendo ser GD I, GD II ou GD III;

$T_{EE(n)}$: Valor da tarifa cobrado do consumidor no mês *n* (R$/kWh);

$T_{DGD(n)}$:Tarifa de acordo ao tipo de faturamento da geração distribuída (R$/kWh).

$TUSD_{(n)}$: Valor da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição divulgado pela ANEEL para o mês *n* (R$/kWh);

$TE_{(n)}$: Valor da Tarifa de Energia divulgado pela ANEEL para o mês *n* (R$/kWh);

$I_{TUSD\ (mn)}$: Desconto para a TUSD conforme o tipo de geração distribuída (%);

$I_{TE\ (mn)}$: Desconto para a TE conforme o tipo de geração distribuída (%);

$PIS_{(n)}$ (R$): Programa de Integração Social incidente no mês *n* (%);

$COFINS_{(n)}$: Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social incidente no mês *n* (%);

$ICMS_{(n)}$: Imposto Estadual de Circulação de Mercadorias e Serviços incidente no mês *n* (%);

Para a unidade consumidora que tenha geração distribuída, com faturamento classificado como GD II, o desconto da TE é de 100% e da TUSD é calculada conforme a Equação (31) e o índice percentual $R_{(n)}$ conforme a Tabela 7.

$$I_{TUSD\ (n)} = \frac{1 - (R_{(n)} \cdot TUSDFIOB_{(n)})}{TUSD_{(n)}} \quad (31)$$

Sendo:

$R_{(n)}$: Índice percentual incidente, conforme Tabela 7 (%);

$TUSD_{(n)}$: Valor da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição divulgado pela ANEEL para o mês *n* (R$/kWh);

$TUSDFIOB_{(n)}$: Valor da componente da TUSD que compõem a Parcela B para o mês *n* (R$/kWh).

Tabela 7 – Índice percentual incidente (R) sobre a componente de custo da tarifa de energia.

| Ano | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Percentual | 15% | 30% | 45% | 60% | 75% | 90% |

Fonte: Brasil (2022)

Para a determinação da taxa de atualização monetária, foi feito o levantamento das tarifas de energia elétrica para clientes residenciais B1 da Energisa MS consultando os relatórios presentes na página da ANEEL (2023a), desde 2019 até 2023. Foi utilizada a média aritmética do crescimento percentual da TUSD, 13,32% e TE de 4,96%. Para as demais componentes TUSDTFSEE, TUSDP&D, TUSDFIOA e TUSDFIOB, foi encontrado o percentual médio ao longo dos anos referente a TUSD. E para a TEP&D e TEFIOA, referente a TE. Os valores estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Índice percentual médio utilizado para as componentes da tarifa.

| Componente da tarifa | Valor |
|---|---|
| TUSD FIOB | 59,56% |
| TUSD TFSEE | 0,24% |
| TUSD P&D | 0,82% |
| TUSD FIOA | 9,63% |
| TE_P&D | 0,98% |
| TE ENERGIA | 86,69% |
| TE FIO A | 3,62% |

Fonte: Autoria Própria

Os valores são atualizados em abril de cada ano nos reajustes tarifários e revisões tarifárias de acordo com a Equação (22).

Os seguintes impostos incidem sobre a tarifa de energia elétrica: ICMS, PIS, COFINS e COSIP, bem como a bandeira tarifária que serão detalhados nos itens a seguir.

#### 3.7.5.2 Imposto Estadual de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS)

O ICMS é baseado no Decreto nº 9.203, de 18 de setembro de 1998 de Mato Grosso do Sul, que pode ser consultado em LEGISWEB (2022). Para a classe residencial, o ICMS é cobrado de acordo ao consumo do cliente e que para o Mato Grosso do Sul, a partir de 2023, é de 17% para o consumo de 1 a 200 kWh, 20% para a faixa de 201 a 500 kWh e 25% com consumos superiores a 501 kWh. Esses valores percentuais foram utilizados em cada um dos cenários estudados.

#### 3.7.5.3 Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS)

Os impostos PIS e COFINS são mensalmente apresentados pela Energisa MS (2023) em sua página oficial e são baseados no faturamento da empresa. Foi considerado o mesmo valor do período de 01/2023 a 08/2023 de 1,0845% para o PIS e 4,999% para o COFINS, para todos os Casos, cenários e Hipóteses.

#### 3.7.5.4 Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP)

A COSIP é um imposto municipal que para Campo Grande MS, obedece a Lei complementar nº 58 de 30 de setembro de 2003, na qual cria faixas de consumo com alíquotas (Tabela 9) que se refletem no custo total mensal do serviço de iluminação pública do município.

Tabela 9 – Alíquota para a cobrança da COSIP no município de Campo Grande/MS para a classe residencial

| Consumo (kWh) | | Alíquota (%) |
|---|---|---|
| De | Até | |
| 0 | 100 | 0,00 |
| 101 | 150 | 4,50 |
| 151 | 200 | 5,00 |
| 201 | 250 | 7,00 |
| 251 | 300 | 7,50 |
| 301 | 400 | 8,00 |
| 401 | 500 | 9,00 |
| 501 | 600 | 9,50 |
| 601 | 700 | 10,00 |
| 701 | 800 | 10,50 |
| 801 | 900 | 11,50 |
| 901 | 1000 | 12,50 |
| 1001 | 1500 | 13,50 |
| 1501 | 1E+09 | 15,00 |

Fonte: Campo Grande (2003)

Assim, o valor da COSIP será cobrado conforme a Equação (32):

$$COSIP_{(n)} = Cil_n \cdot Alíquota \tag{32}$$

Conforme notícia divulgada pela A Crítica (2017), em julho de 2016 o custo total do serviço (Cil) era de R$ 369,03. E no final de 2022 o valor é de R$ 466,00. Assim, no período de 6 anos houve um aumento de 3,965% anuais. Foi utilizado a Equação (22) para atualização monetária desse valor anualmente.

### 3.7.5.5 Bandeiras tarifárias

Conforme ANEEL (2016b), em 2015 foi iniciado a utilização do sistema de cobrança do custo da geração por bandeiras tarifárias, com a finalidade de indicar o real custo da geração de energia elétrica, sendo atribuídos a todos os consumidores cativos, possuindo 3 indicações. A Bandeira Verde indica uma condição favorável de geração de energia, em que os reservatórios das hidrelétricas estão cheios, sem adição de custos a tarifa de energia elétrica. A Bandeira Amarela indica que as condições de geração são menos favoráveis, com os reservatórios das hidrelétricas se esvaziando, com adição de custos a tarifa de energia elétrica. Já a Bandeira Vermelha são condições mais custosas, com a necessidade de despacharem as usinas térmicas, acarretando custos maiores a serem acrescidos a tarifa de energia. Conforme

Clarke Energia (2021), em janeiro de 2016 foi criado dois patamares para a Bandeira Vermelha, o Patamar 1 e o Patamar 2. Dadas as crises hídricas e a possibilidade de apagão de 2021, em setembro de 2021 foi criada a Bandeira de Escassez Hídrica.

Para o período estudado, foi considerada a Bandeira Verde. Assim, não haverá adicionais de custos ao consumo do cliente por esse item. Segundo ANEEL (2022a), também se aplicariam os mesmos impostos de incidentes sobre a tarifa de energia e que pode ser expresso pela Equação (33).

$$B_{Tarifária(n)} = \frac{B_{Tarifaria\ ANEEL(n)}}{(1 - PIS_{(n)} - COFINS_{(n)}) \cdot (1 - ICMS_{(n)})} \quad (33)$$

Sendo,

n: mês de referência;

$B_{Tarifária(n)}$: Valor da bandeira tarifária cobrado do consumidor no mês *n* (R$/kWh);

$B_{TarifáriaANEEL(n)}$: Valor da bandeira tarifária divulgado pela ANEEL para o mês *n* (R$/kWh);

$PIS_{(n)}$, $COFINS_{(n)}$, $ICMS_{(n)}$: Impostos incidentes no mês *n* (%).

### 3.7.6 Custos com consumo de combustível

Foi feito o levantamento dos preços mensais da gasolina de janeiro de 2016 a junho 2023 por meio dos relatórios do Governo Federal do Brasil (2023). Foram selecionados os preços praticados pelos postos de combustíveis referentes a cidade de Campo Grande/MS e efetuado uma média aritmética mensal. Determinou-se, assim, uma taxa de crescimento médio mensal do valor do combustível de 0,526% para gasolina e 0,418% para o etanol. Foi utilizado a Equação (22) para atualização monetária para o período estudado.

O custo com o consumo do combustível foi calculado conforme a Equação (34).

$$C_{VC(n)} = P_n Q_n \quad (34)$$

Sendo,

n: mês de referência;

$C_{VC(n)}$: Custo do consumo do combustível no mês *n* (R$);

$P_{(n)}$: Preço do combustível, etanol ou gasolina) no mês *n* (R$/l);

$Q_{(n)}$: Quantidade de combustível consumido no mês *n* (l).

### 3.7.7 Custos para o Veículo

Ademais, são necessários dados complementares para o levantamento dos custos associados aos veículos, sendo eles: custo com revisão, custo com o IPVA e com o Licenciamento. Esse custo foi denominado custo geral do veículo e está descrito na Equação (35):

$$C_{VGERAL(n)} = C_{VIPVA(n)} + C_{VLic(n)} + C_{VRev(n)} \quad (35)$$

Sendo:

n: mês de referência;

$C_{VGeral(n)}$: Custo geral associado a impostos e manutenção do veículo no mês *n* (R$);

$C_{VIPVA(n)}$: Custo com o IPVA do veículo no mês *n* (R$);

$C_{VLic(n)}$: Custo com licenciamento do veículo no mês *n* (R$);

$C_{VRev(n)}$: Custo com as revisões do veículo no mês *n* (R$).

#### 3.7.7.1 Revisão

A orientação dos fabricantes para a realização da revisão mecânica dos veículos é o que acontecer primeiro: a cada dez mil km ou a cada ano de uso. Este foi denominado $C_{VRev}$, isto é, custo de revisão.

Foi feito o levantamento dos custos de revisão dos veículos em 24 de agosto de 2023, a cada 10.000 km dos veículos e até 60.000, utilizando-se a página oficial de cada empresa: *Fiat, Nissan, Jac, BYD, Peugeot, Hyundai e Toyota*. Sendo consultados os custos referentes as revisões. O *Peugeot E-208 GT* foi a exceção, apresentando revisões a cada 20.000 km.

Esse custo se refere apenas a serviços determinados e não estão incluídas as trocas de peças do veículo e foi atualizado pela média aritmética mensal do índice IGP-M de 0,7619% de 01/2016 a 12/2022.

#### 3.7.7.2 Licenciamento

Para o valor desse imposto referente aos veículos, foram utilizados os valores do DETRAN/MS e da Secretaria de Fazenda de Mato Grosso do Sul e efetuada a atualização

monetária desses valores conforme a Equação (22) com uma variação média anual de 12,30% ou mensal de 0,971%.

Licenciamento se baseia em um valor determinado pelo DETRAN MS (2022) com o custo de 4,53 UFERMS (Unidade Fiscal Estadual de Referência de Mato Grosso do Sul) que podem ser consultados conforme Mato Grosso do Sul (2023). Foram adotados os valores da UFERMS para agosto de cada ano, esse custo foi denominado de $C_{VLic}$ e é calculado conforme a Equação (36). Conforme tabela de pagamento do DETRAN MS, foi considerada a incidência do custo em março de cada ano.

$$C_{VLic(n)} = 4{,}53 \cdot UFERMS_{(n)} \tag{36}$$

#### 3.7.7.3 Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)

Conforme o DETRAN MS (2023), o IPVA "é calculado sobre os preços médios de mercado do automóvel usado (valor venal), multiplicado por sua alíquota. O valor de mercado é avaliado pela tabela da FIPE, contratada para apurar a base de cálculo do imposto".

A Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) presta serviços a órgãos públicos e empresas privadas, sendo o Preço Médio de Veículos um dos indicadores calculados, que é baseado na apuração dos preços médios de veículos coletados no mercado brasileiro em que se descarta os valores muito baixo e altos conforme critérios estatísticos determinados pela Fundação. Para carros de passeio possui dados a partir do ano modelo de 1985 (FIPE, 2023).

Ainda de acordo ao DETRAN MS (2023), o valor percentual referente a Automóvel (carro de passeio) é de 5%, porém possui um desconto de 40% e segundo a Secretaria de Fazenda do Estado de MS (2023) o percentual a ser aplicado é de 3%. Sendo assim, os preços médios dos veículos foram pesquisados em FIPE (2023), sendo cobrado conforme a Equação (37). Foi considerado a incidência do custo nos meses de janeiro de cada ano, sendo o primeiro pagamento em agosto de 2023, com o valor proporcionalizado para a quantidade de meses restante para o ano em questão.

$$C_{VIPVA\,(n)} = 3\% \cdot C_{Vaq(n)} \tag{37}$$

Sendo,

$C_{VIPVA(n)}$: Custo do IPVA de acordo ao mês *n* (R$);

$C_{Vaq(n)}$: Preço médio do veículo conforme tabela FIPE referente ao mês *n* (R$);

n: mês de referência.

No entanto, para os modelos 2023, somente se encontram os valores dos carros novos. Então, foi feito uma busca com modelos de anos anteriores, conforme o Quadro 10, para saber o percentual de atualização monetária. Para o *Peugeot e-208 GT* que somente possui dados a partir de 2022 e *BYD Dolphin* possui dados a partir de julho de 2023, foi considerada a mesma atualização do *Nissan Leaf*. Exemplificando os dados contidos no Quadro 10, para o *Fiat Mobi Like* investigado por esse trabalho, encontrou-se o modelo de 2020 com o nome *Fiat Mobi Like 1.0 Fire Flex 5p*. Foi feito a busca para o mês de janeiro de 2020 para esse veículo como um carro zero e sendo repetido a busca para os anos de 2021 a 2023 como um carro usado.

Quadro 10 – Veículos encontrados na Tabela FIPE para o cálculo do IPVA.

| Veículo | Veículo considerado | Modelo |
|---|---|---|
| *Fiat Mobi Like* | *FIAT MOBI LIKE 1.0 Fire Flex 5p* | 2017 |
| *JAC e-JS1* | *JAC e-JS1 62cv 5p Aut. (elétrico)* | 2022 |
| *Hyundai HB20 Sense* | *HB20 Sense 1.0 Flex 12V Mec.* | 2021 |
| *Peugeot e-208 GT* | | |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | | |
| *Nissan Versa Sense* | *VERSA Sense 1.6 16V Flex Aut.* | 2022 |
| *Nissan Leaf Tekna* | *NISSAN LEAF Aut. (Elétrico)* | 2021 |
| *Toyota Corolla Cross XR 20* | *Toyota Corolla Cross XR 20* | 2021 |

Fonte: Autoria própria.

### 3.7.7.4 Valor de revenda do veículo ($V_{Rev}$)

Após o período de 96 meses, foi considerado a revenda do veículo. Para encontrar a atualização monetária mensal, que foi denominada Taxa de Revenda (TR). Utilizou-se a mesma abordagem do tópico 3.7.7.3 com referência ao valor na tabela FIPE.

### 3.7.7.5 Custo operacional do veículo ($C_{VOp}$) e custo operacional médio por km ($C_{VOpkm}$)

Foi calculado o $C_{VOp}$ do veículo conforme a Equação (38) e o $C_{VOpkm}$ conforme a Equação (39).

$$C_{VOp\,(n)} = C_{VGERAL(n)} + C_{VEn(n)} + C_{VSFVCR(n)} \quad (38)$$

$$C_{VOpkm(n)} = C_{VOp(n)} / Da_{(n)} \quad (39)$$

Sendo:

n: mês de referência;

$C_{VOp(n)}$: Custo operacional do veículo para o mês *n* (R$/km);

$C_{VOkm(n)}$: Custo operacional médio do veículo por km percorrido para o mês *n* (R$/km);

$C_{VGeral(n)}$: Custo geral associado a impostos e manutenção do veículo no mês *n* (R$);

$C_{VEn(n)}$: Custo com o consumo de energia pelo veículo no mês *n* (R$).

$C_{VSFVCR(n)}$: Custo apropriado ao veículo elétrico do sistema fotovoltaico no mês *n* (R$);

Da(n): Distância total acumulada percorrida pelo veículo para o mês *n* (km).

## 3.8 Viabilidade financeira

Foi utilizado o cálculo do VPL, conforme a Equação (40)(61), para as análises de viabilidade para todas as hipóteses, dentro de cada caso e cenário. Conforme Samanez (2002) e Gitman (2017), para os casos em que há projetos mutuamente excludentes, deve-se optar pela que possuir o maior VPL.

$$VPL = -I + \sum_{1}^{n} \frac{FC_t}{(1+TA)^n} \quad (40)$$

Sendo,

I: Investimento (R$);

n: Número de períodos (meses);

$FC_t$: Fluxo de Caixa no enésimo período (R$);

TA: taxa de atratividade para atualizar o fluxo de caixa (%).

O Investimento inicial é o mesmo valor do custo inicial ($C_I$) descrito em 3.7.1.

A taxa de atratividade adotada foi a SELIC de 02/08/2023 com o valor de 13,25% ao ano ou 1,042% ao mês.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

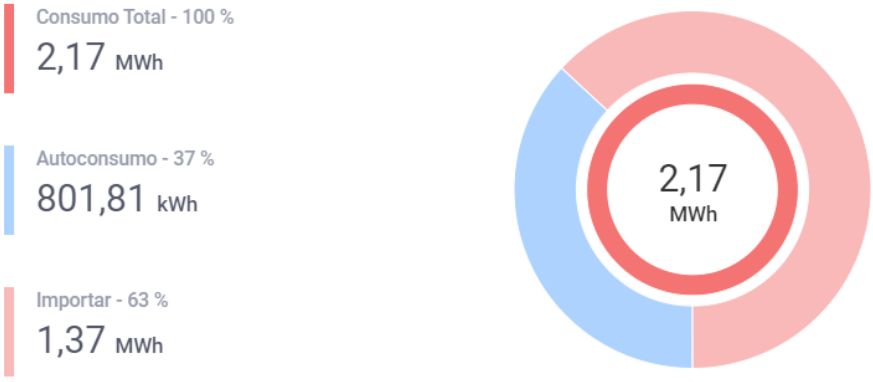
O Item 4.1 apresenta os resultados comuns a todos os Casos. Posteriormente são apresentados os resultados de cada caso individualmente.

## 4.1 Resultados comuns a todos os casos

### 4.1.1 Autoconsumo da residência

Segundo resultados do programa *Solar Edge* (2023), mostrados na Figura 38, para a curva de carga de uma residência com uma ou duas pessoas, a residência possui um autoconsumo, ou consumo instantâneo, anual de 801,81 kWh ou uma média mensal de 66,83 kWh. Esses valores foram utilizados na determinação do consumo de energia e energia injetada para o cálculo do custo com energia elétrica para a Hipótese 4 em todos os casos e cenários.

Figura 38 – Detalhes do resultado de consumo e autoconsumo anual para a residência.




Fonte: Solar Edge (2023).

### 4.1.2 Determinação dos custos do sistema fotovoltaico

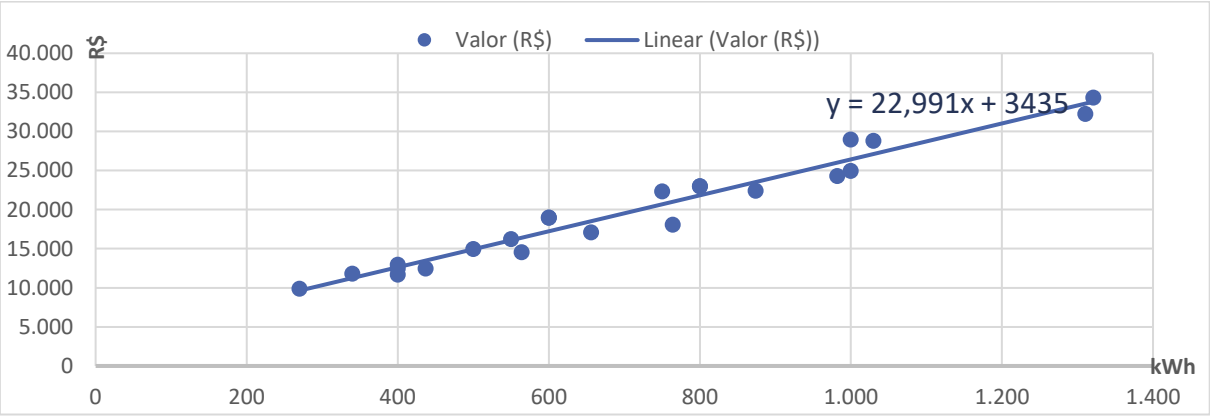
O levantamento dos orçamentos está apresentado na Tabela 10 e na Figura 39, chegando-se à Equação da Reta (41), a qual foi utilizada na determinação do custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico ($C_{AQSFVCR}$) para a Hipótese 4 em cada um dos cenários.

Tabela 10 – Orçamento para instalação e infraestrutura do sistema fotovoltaico.

| Empresa | kWh | Valor (R$) | R$/kWh |
|---|---|---|---|
| Tenda Solar | 270,00 | 9.890,00 | 36,63 |
| Tenda Solar | 340,00 | 11.830,00 | 34,79 |
| Firmino Energia Solar | 400,00 | 12.499,00 | 31,25 |
| Eletrifika | 400,00 | 12.990,00 | 32,48 |
| P3 Solar | 400,00 | 11.700,00 | 29,25 |
| MS Energy Engenharia | 436,80 | 12.460,00 | 28,53 |
| Eletrifika | 500,00 | 14.990,00 | 29,98 |
| Tenda Solar | 550,00 | 16.240,00 | 29,53 |
| MS Energy Engenharia | 564,00 | 14.564,00 | 25,82 |
| Firmino Energia Solar | 600,00 | 18.999,00 | 31,67 |
| Eletrifika | 600,00 | 18.990,00 | 31,65 |
| MS Energy Engenharia | 656,00 | 17.119,00 | 26,10 |
| Tenda Solar | 750,00 | 22.330,00 | 29,77 |
| MS Energy Engenharia | 764,00 | 18.101,00 | 23,69 |
| Firmino Energia Solar | 800,00 | 22.999,00 | 28,75 |
| Eletrifika | 800,00 | 22.990,00 | 28,74 |
| MS Energy Engenharia | 874,00 | 22.429,00 | 25,66 |
| MS Energy Engenharia | 982,00 | 24.331,00 | 24,78 |
| Firmino Energia Solar | 1.000,00 | 28.999,00 | 29,00 |
| Eletrifika | 1.000,00 | 24.990,00 | 24,99 |
| Tenda Solar | 1.030,00 | 28.800,00 | 27,96 |
| MS Energy Engenharia | 1.310,40 | 32.268,00 | 24,62 |
| Firmino Energia Solar | 1.321,00 | 34.354,06 | 26,01 |

Fonte: Autoria própria.

Figura 39 – Regressão linear para a determinação do custo de aquisição do SFV.




Fonte: Autoria própria.

$$y = 22{,}991x + 3435 \quad (41)$$

Sendo,

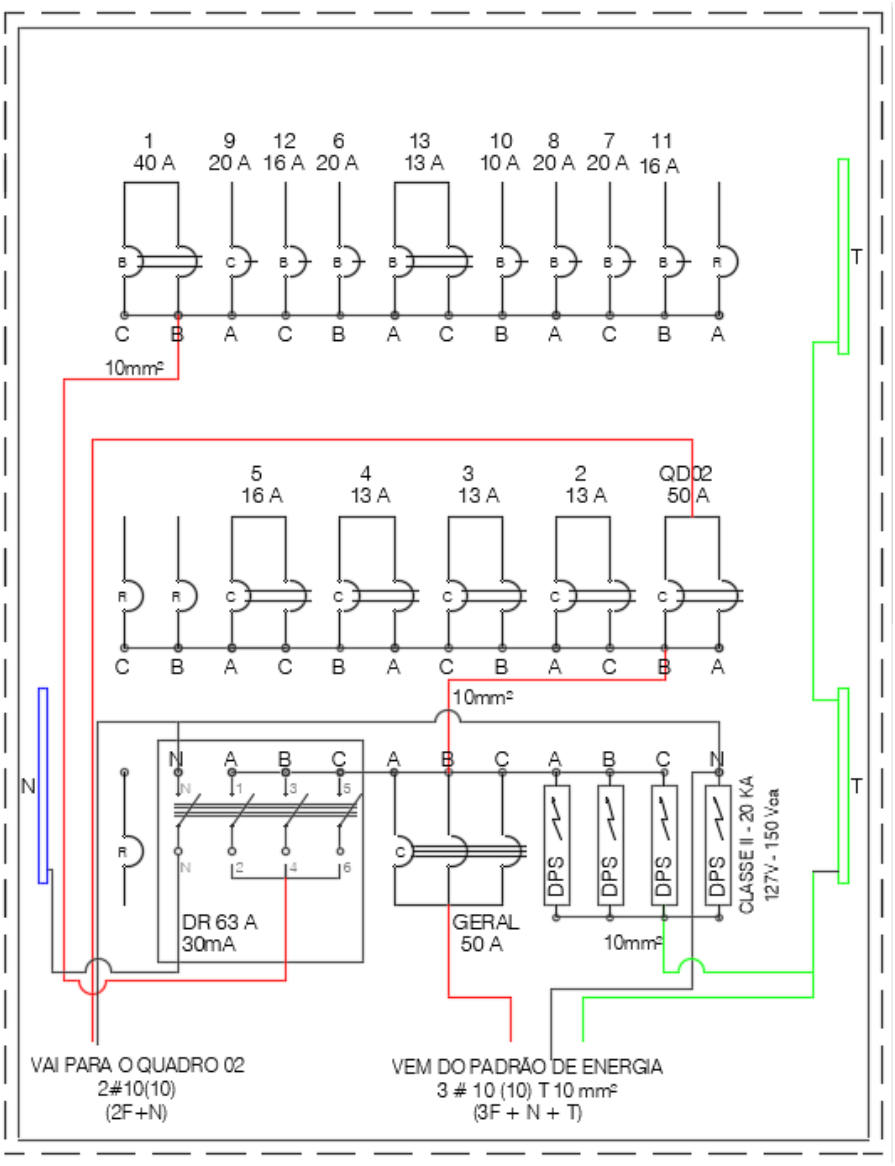
y: Custo de aquisição do sistema fotovoltaico kWh (R$);

x: Geração de energia fotovoltaica média (kWh).

### 4.1.3 Instalação da estação de recarga

A residência possui um quadro interno denominado QD01, alimentado por cabo de cobre de 10mm², isolação 1000 V e 90ºC de temperatura (3F+N), com tensão de 220V, constando de disjuntor, DR e DPS como proteções conforme detalhado no diagrama unifilar do quadro apresentado na Figura 40, onde há 4 circuitos reservas, sendo 2 possíveis para acomodar o circuito ramal para atender o carregador veicular e o SFV.

Figura 40 – Diagrama unifilar do Quadro da Residência (QD01).




Fonte: Autoria própria.

A instalação do novo equipamento não apresenta nenhum impacto de corrente elétrica para o período noturno, já que o consumo nesse horário é proveniente da utilização

de no máximo um ar-condicionado *split* de 9000 BTUh e da geladeira, conforme demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Revisão da corrente elétrica e proteções existentes.

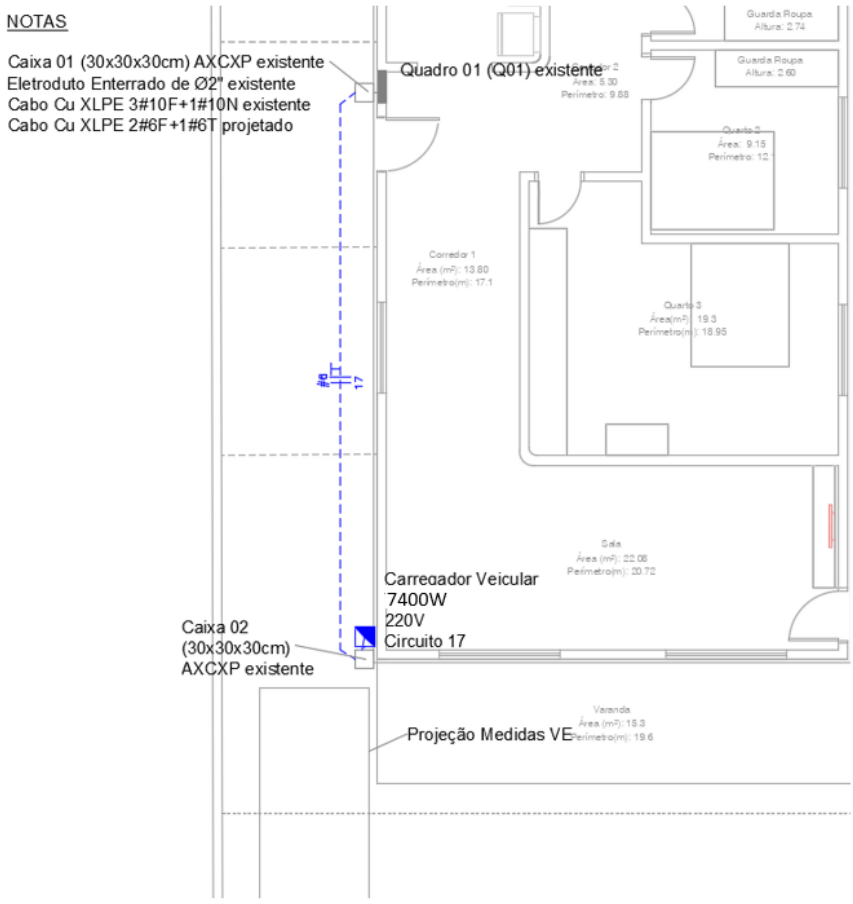
| Circuito | Descrição | Potência (VA) | Fases (Quant.) | Tensão (V) | Conexão | Corrente (A) | Correntes por fase | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Ar-condicionado 9000 | 900 | 2 | 220 | AC | 4,09 | IA (A) | 4,09 |
| 17 | Estação de Recarga | 7.400 | 2 | 220 | BC | 33,64 | IB (A) | 36,79 |
| 12 | Geladeira | 400 | 1 | 127 | BN | 3,15 | IC (A) | 37,73 |

Fonte: Autoria própria.

Concluiu-se que não há a necessidade da modificação das proteções existentes e cabeamento, pois, a nova carga será utilizada prioritariamente no período noturno entre às 22h00min até às 06h00min, isto é, período de mínimo consumo do local. Porém, ressalta-se que deve ser restringido o uso do chuveiro elétrico nesse período, circuito 1, que está conectado nas fases BC.

O traçado do circuito que atenderá a estação de recarga é mostrado na Figura 41.

Figura 41 – Detalhes do traçado do cabeamento.




Fonte: Autoria própria.

A Tabela 12 apresenta o cálculo dos condutores utilizando o critério da corrente e a Tabela 13 apresenta os cálculos para o critério de queda de tensão para um cabo de cobre monopolar com isolação de 1000 V e temperatura de isolamento de 90º C. Assim, segundo a norma ABNT NBR 5410, foi utilizado o método de instalação 61 e método de referência D. Para esse Caso, foi utilizado o fator de agrupamento com valor de 0,80. Foram analisados dois cabos, o de 4mm² e o de 6 mm².

Tabela 12 – Dimensionamento do cabo pelo critério da corrente.

| Item | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Potência (W) | 7.400 | |
| In: Corrente nominal (A) | 33,64 | |
| Ip: Corrente de projeto (A) | 33,64 | |
| Quant. condutores vivos | 2 | |
| Nº da Tabela ABNT NBR 5410 | 37 | |
| Seção cabo fase (mm²) | 6 | 4 |
| Corrente nominal cabo (A) | 56 | 44 |
| Seção cabo neutro (mm²) | - | - |
| Seção cabo terra (mm²) | 6 | 4 |
| Temperatura ambiente ºC | 20 | 20 |
| FT: Fator correção temperatura | 1 | 1 |
| FA: Fator agrupamento | 0,8 | 0,8 |
| FT x FA | 0,8 | 0,8 |
| Corrente nominal cabo corregida (A) | 44,80 | 35,20 |

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 13 – Dimensionamento do cabo pelo critério da queda de tensão.

| Item | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Cabo fase (mm²) | 6 | 4 |
| L: comprimento (m) | 14 | 14 |
| FQ= V/A*km[1] | 8,08 | 12,07 |
| ΔV = FQ*L*Ip (V) | 3,70 | 5,53 |
| ΔV (%) | 1,68 | 2,51 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: [1] Valores encontrados em *Prysmian* (2020), para o cabo *Gsette Easy* (cobre) contidos na Tabela 23, FP = 0,95 (coluna 3).

Os equipamentos de proteção vendidos pela ABB que vem em um quadro de disjuntores para a estação de recarga são os seguintes: 2 Dispositivos Protetores de Surto Tipo 2 monopolar 40kA 275V, linha OVR; 1 Minidisjuntor norma IEC Curva C 2 bipolar 40A, SH201 L-C40; 1 Interruptor Diferencial Residual Residencial norma IEC 2 polos 40A Tipo A 30mA, linha F202.

De acordo a NBR ABNT 5410 para os critérios de dimensionamento de disjuntores, em que a corrente nominal do disjuntor deve ser maior do que a corrente de projeto e menor do que a corrente nominal corrigida do condutor, o uso do disjuntor de 40A, não permite a utilização do cabo de 4 mm², pois a corrente nominal corrigida do cabo é de 35,20 A, sendo menor do que a corrente nominal da proteção. Portanto, foi selecionado o cabo de 6mm².

Foi aproveitado um eletroduto de PVC rígido enterrado existente de 2" que contém 4 cabos de cobre monopolares de 10 mm² com isolação de 1000V e temperatura de isolamento de 90ºC (3F+N), que está mostrado na Figura 41. Segundo o cálculo de ocupação do eletroduto mostrado na Tabela 14, a adição do cabo de 6 mm² (2F+T) não ultrapassaria uma ocupação maior do que 40%, permitindo a instalação do cabo.

Tabela 14 – Análise da ocupação do eletroduto existente.

| Cabo (mm²) | Diâmetro exterior do cabo (mm) | Área transversal cabo (mm²) | Quant. | Área transversal total (mm²) | Diâmetro interno eletroduto (mm) | Seção Eletroduto (pol.) | Área Interna Eletroduto (mm²) | Area Interna cabos (mm²) | Área ocupada (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 6,30 | 31,17 | 3 | 93,52 | 52,80 | 2 | 2189,56 | 265,55 | 12,12 |
| 10 | 7,40 | 43,01 | 4 | 172,03 | | | | | |

Fonte: Autoria própria.

A estação de recarga será instalada em parede a uma altura de 1,50m do piso acabado e, a conexão desde a caixa de passagem até ela, será feito por um eletroduto metálico zincado leve de 3/4" aparente, conforme dimensionamento da Tabela 15.

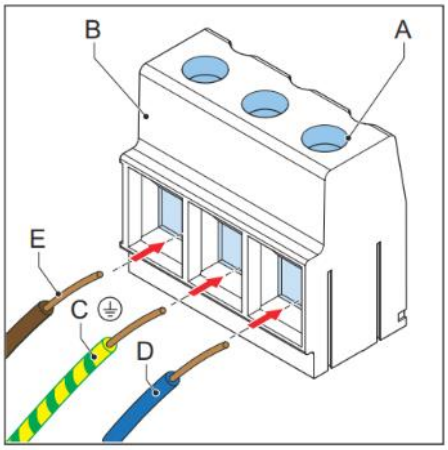
Tabela 15 – Dimensionamento de eletroduto para o cabo de 6 mm².

| Cabo (mm²) | Diâmetro exterior do cabo (mm) | Área transversal cabo (mm²) | Quant. | Área transversal total (mm²) | Diâmetro interno eletroduto | Eletroduto Seção (pol.) | Área interna eletroduto (mm²) | Área ocupada (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 6,30 | 31,17 | 3,00 | 93,52 | 17,25 | 3/4 | 356,33 | 26,24 |

Fonte: Autoria própria.

Para o Caso da estação de recarga da empresa ABB, Terra AC Wall Box 7,4kW, cabo e conector AC tipo 2, RFID, os cabos se conectam diretamente ao equipamento, conforme mostrado na Figura 42, não havendo a necessidade, por exemplo, da instalação adicional de uma tomada.

Figura 42 – Detalhes conexão da estação de recarga.




Fonte: ABB (2021).

A Tabela 16 apresenta o orçamento para a execução do serviço. Os preços dos materiais são de 20 de fevereiro de 2023. O custo do projeto elétrico para a tarefa foi de R$ 1.000,00 e o valor da diária de um eletricista de R$250,00, totalizando assim o $C_{VInf}$ de R$ 10.530,16.

Tabela 16 – Orçamento para infraestrutura de instalação da estação de recarga.

| Descrição | Unidade | Quant. | Valor Unitário (R$) | Total (R$) |
|---|---|---|---|---|
| Carregador ABB Terra AC Wall Box 7,4kW, cabo e conector AC tipo 2, RFID, ABB | un. | 1 | 7.544,00 | 7.544,00 |
| Caixa de proteção para carregadores de 7,4 kW, conexão FF, ABB | un. | 1 | 1.393,16 | 1.393,16 |
| Cabo CU isolado XLPE 90ºC 6mm² SIL | m | 42 | 5,86 | 246,22 |
| Eletroduto Galvanizado Zincado Leve 3/4 - 3 Metros | un. | 1 | 26,78 | 26,78 |
| Acessórios (parafusos, fita isolante, etc.) | glb | 1 | 70,00 | 70,00 |
| Mão de obra eletricista (diária) | glb | 1 | 250,00 | 250,00 |
| Projeto Engenheiro | un. | 1 | 1.000,00 | 1.000,00 |
| Total | | | | 10.530,16 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: glb: valor global. un: unitário.

## 4.2 Caso 1 (veículos subcompactos)

O Caso 1 envolve a análise entre o VCI *Fiat Mobi Like* e o *VE JAC e-JS1*.

### 4.2.1 Dados iniciais

A Tabela 17 apresenta as distâncias percorridas, consumo da residência e dos veículos que foram utilizados para o referido caso.

Tabela 17 – Dados de consumo e distância para o Caso 1.

| Descrição | *Jac e-JS1* | | | *Fiat Mobi Like* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cenários | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| % Autonomia | 10% | 50% | 100% | | | |
| Distância diária percorrida (km) | 16,10 | 80,50 | 161,00 | 16,10 | 80,50 | 161,00 |
| Distância mensal percorrida (km) | 483 | 2.415 | 4.830 | 483 | 2.415 | 4.830 |
| Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 |
| Consumo EE do VE (Wh/km) | 159,00 | 159,00 | 159,00 | | | |
| Consumo mensal EE VE (kWh) | 77,00 | 384,00 | 768,00 | | | |
| Consumo mensal EE (kWh) | 258,00 | 565,00 | 949,00 | 181,00 | 181,00 | 181,00 |
| $E_{VEE}$ (%) | 29,84% | 67,96% | 80,93% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| $E_{REE}$ (%) | 70,16% | 32,04% | 19,07% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Consumo combinado gasolina (km/l) | | | | 14,18 | 14,18 | 14,18 |
| Consumo combinado etanol (km/l) | | | | 9,96 | 9,96 | 9,96 |
| Consumo diário gasolina (l) | | | | 1,14 | 5,68 | 11,36 |
| Consumo diário etanol (l) | | | | 1,62 | 8,08 | 16,16 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.2.2 Sistema fotovoltaico

Para cada cenário da Hipótese 4, foi utilizada a geração calculada ($G_{SFVCR}$) como parâmetro de entrada para dimensionamento do SFV. O restante dos dados de entrada para a simulação pelo programa *Solar Edge Designer* está apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Dados de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 1.

| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $G_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 158 | 465 | 849 |
| Potência painel (Wp) | 500 | 500 | 500 |
| Nº de painéis | 3 | 8 | 14 |
| Potência sistema (kWp) | 1,50 | 4,00 | 7,00 |
| Inclinação painéis | 15º | 15º | 15º |
| Azimute (graus) | 3º | 3º | 3º |
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190 | 508 | 869 |

Fonte: Autoria própria.

Um dos resultados fornecidos pelo programa é a energia anual produzida pelo SFV, sendo calculada a média aritmética mensal ($E_{SFVCR}$). Para o Cenário 1, não foi possível fazer a simulação, visto que o sistema apresenta uma potência inferior a 80% da potência do menor inversor disponível no programa. Para esse cenário, foi feito uma estimativa com os dados do Cenário 2.

A Figura 43 apresenta a posição dos painéis no telhado, com a simulação da irradiação. O círculo verde nas imagens é a representação de uma árvore existente.

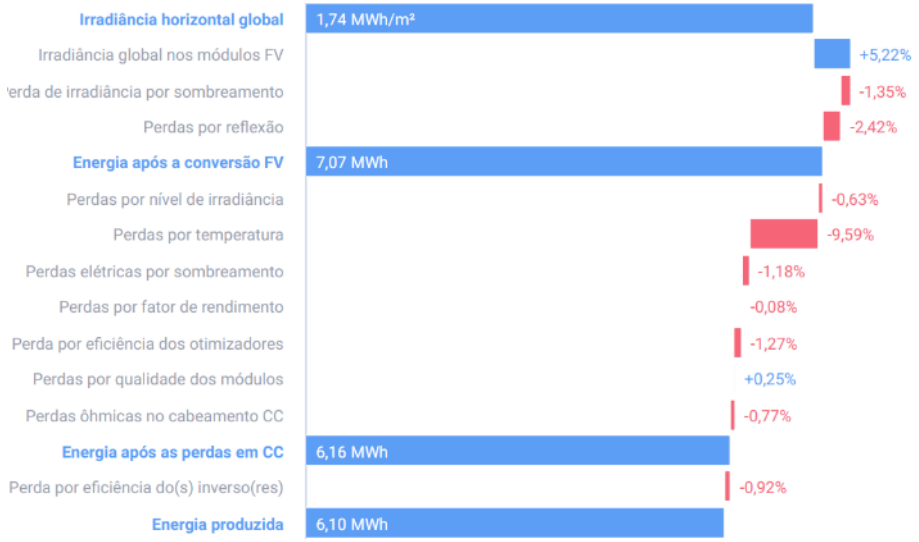
Figura 43 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*.

(a) Cenário 2 (b) Cenário 3

Fonte: Solar Edge (2023)

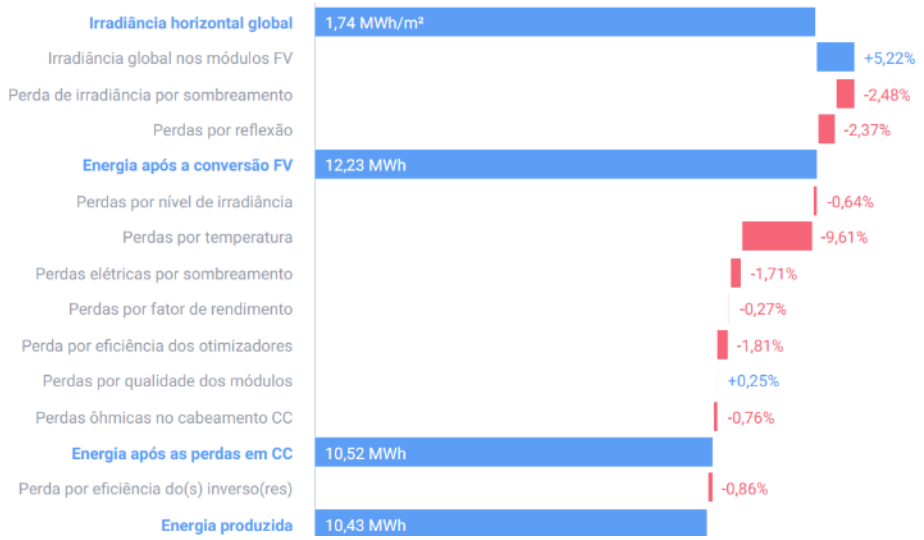
A Figura 44 e Figura 45 apresentam os resultados referentes a geração de energia considerando as perdas do sistema para os cenários 2 e 3. Os valores mostrados são anuais.

Figura 44 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais.




Fonte: Solar Edge (2023)

Figura 45 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais.




Fonte: *Solar Edge* (2023)

### 4.2.2.1 Consumo de energia elétrica para a Hipótese 4

Para a Hipótese 4, a unidade consumidora se enquadra no sistema de faturamento classificado como GD II, foram calculados os valores a serem cobrados pela distribuidora do cliente e estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Cálculo de consumo e energia injetada para a geração distribuída.

| Item | Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Consumo mensal EE (kWh) | 258 | 565 | 949 |
| 2 | Consumo mensal EE VE (kWh) | 77 | 384 | 768 |
| 3 | Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 |
| 4 | Autoconsumo médio residência (kWh) | 66,83 | 66,83 | 66,83 |
| 5 | Item 3 – Item 4 | 114,17 | 114,17 | 114,17 |
| 6 | Item 2+ Item 5 | 191,17 | 498,17 | 882,17 |
| 7 | $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 508,00 | 869,00 |
| 8 | Item 7 – Item 4 | 123,17 | 441,17 | 802,17 |
| 9 | $E_{Inj}$ (kWh) | 91,17 | 398,17 | 782,17 |
| 10 | $E_{GD}$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | Item 8 – Item 9 | 32,00 | 43,00 | 20,00 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. VE: Veículo elétrico. $E_{SFVCR}$: Energia média mensal gerada pelo sistema fotovoltaico. $E_{GD}$: Consumo a ser cobrado do cliente com geração distribuída tipo II. Item 5: Energia a ser consumida da rede somente pela residência. Item 6: Energia a ser consumida da rede pela unidade consumidora. Item 8: Saldo entre energia gerada do sistema fotovoltaico e a autoconsumida pela residência. Item 9: Diferença entre o item 6 e o custo de disponibilidade de 100 kWh. Item 11: Saldo da energia a ser utilizada como crédito em contas futuras.

Sendo a energia injetada ($E_{inj}$) informada para os 3 cenários conforme item 9 da Tabela 19, com os valores de 91,17 kWh, 398,17 kWh e 782,17 kWh. Para o consumo de energia ($E_{GD}$), ítem 10 da mesma tabela, de 100 kWh para os 3 cenários.

### 4.2.3 Custos

#### 4.2.3.1 Custos do sistema fotovoltaico ($C_{SFVCR}$)

Os custos para o SFVCR estão mostrados na Tabela 20 e foram calculados conforme a Equação (23). Como o SFVCR é utilizado tanto para atender o consumo da residência como da recarga da bateria do veículo elétrico, foi feito o rateio, sendo o custo adquirido para o VE ($C_{VSFVCR}$) de acordo a Equação (24) e para a residência ($C_{RSFVCR}$) de acordo a Equação (25). O rateio foi baseado nos consumos individuais com a geração do SFVCR ($G_{SFVCR}$). A Tabela 20 também mostra os custos com a aquisição ($C_{AQSFVCR}$) e custos com a limpeza ($C_{LSFVCR}$).

Tabela 20 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 1.

| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 508,00 | 869,00 |
| $C_{AQSFVCR}$ (R$) | 7.803,29 | 15.114,43 | 23.414,18 |
| $C_{LSFVCR}$ (R$) | 6.158,56 | 6.158,56 | 6.158,56 |
| $C_{SFVCR}$ (R$) | 13.961,85 | 21.272,99 | 29.572,74 |
| $E_V$ (kWh) | 77,00 | 384,00 | 768,00 |
| $E_D$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| $E_R$ (kWh) | 81,00 | 81,00 | 81,00 |
| $G_{SFVCR}$ (kWh) | 158,00 | 465,00 | 849,00 |
| $C_{VSFVCR}$ (%) | 48,73% | 82,58% | 90,46% |
| $C_{RSFVCR}$ (%) | 51,27% | 17,42% | 9,54% |
| $C_{VSFVCR}$ (R$) | 6.804,19 | 17.567,37 | 26.751,31 |
| $C_{RSFVCR}$ (R$) | 7.157,66 | 3.705,62 | 2.821,43 |

Fonte: Autoria própria.

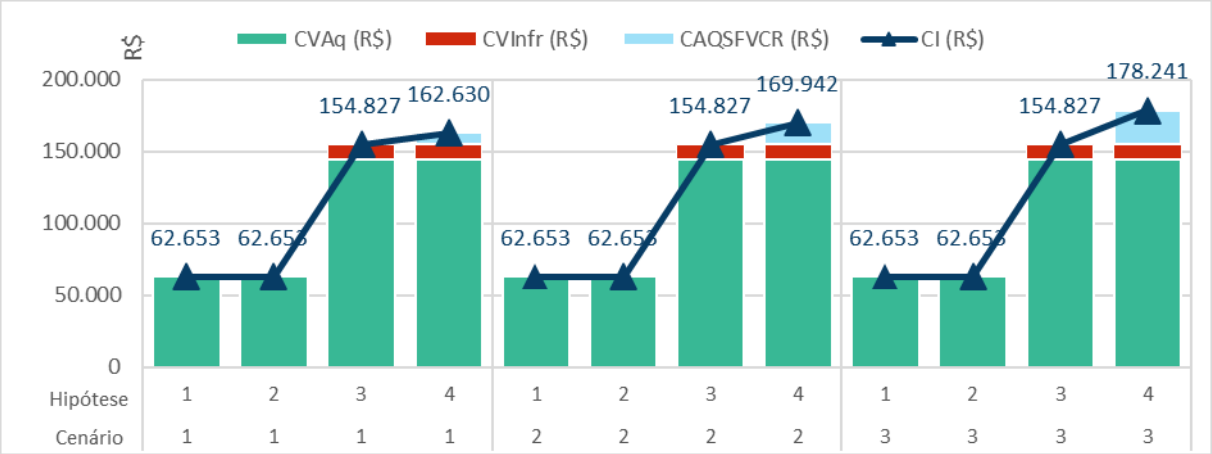
Notas: $E_V$: Energia elétrica consumida pelo veículo elétrico. $E_D$: Custo de disponibilidade do sistema. $E_R$: Energia elétrica consumida pela residência descontado o ED.

Assim, quanto maior a distância percorrida pelo VE, maior o consumo de energia, fazendo com que seja necessária uma maior potência instalada do sistema fotovoltaico, que por sua vez, possui custos maiores. Para o rateio, o custo adquirido para a residência diminui, dado que sua participação no consumo total de energia diminui e incrementa a do VE.

### 4.2.3.2 Custo inicial ($C_I$)

O $C_I$ é calculado conforme a Equação (14), que também é o investimento inicial na análise financeira. O *Fiat Mobi Like* tem um custo de aquisição de R$ 62.653,00 e o *Jac e-JS1* de R$ 144.297,00. Portanto, uma diferença de preço de R$ 81.644,00 entre os veículos. Sendo que para Hipótese 3, o VE possui o custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga ($C_{VInfr}$), que está descrito no item 4.1.3. A Hipótese 4, ainda possui a componente de custo da aquisição do sistema fotovoltaico ($C_{AQSFVCR}$), descrito no tópico 4.2.3.1. Assim, a Hipótese 4 possui um aumento do $C_I$ dado a mudança de cenários. Para o Cenário 1, um custo de R$ 162.630,45, Cenário 2, R$ 169.941,58 e Cenário 3 tenha um custo de R$ 178.241,34. A Figura 46 apresenta as componentes de custos do $C_I$.

Figura 46 – Custo inicial para o Caso 1.



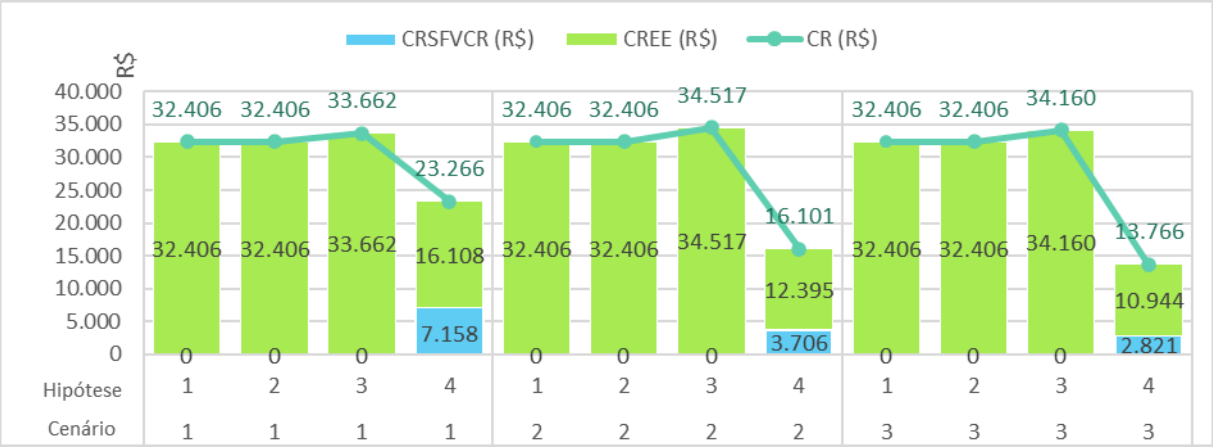

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VAq}$: Custo de aquisição do veículo. $C_{VInfr}$: Custo do veículo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga. $C_{AQSFVCR}$: Custo com a aquisição do sistema fotovoltaico.

### 4.2.3.3 Custo residência ($C_R$)

O $C_R$ é calculado conforme a Equação (17) e possui duas componentes de custo: a componente do sistema fotovoltaico e do consumo de energia elétrica que estão mostradas na Figura 47.

Figura 47 – Custo da residência para o Caso 1.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_{REE}$: Custo da residência com energia elétrica. $C_{RSFVCR}$: Custo absorvido pela residência com o sistema fotovoltaico.

Os valores para as Hipóteses 1 e 2 são os mesmos em todos os cenários, visto que não há alteração de consumo de energia elétrica. Para a Hipótese 3, o Cenário 3 tem um custo menor do que o Cenário 2, isto ocorre devido ao rateio dos custos com a fatura de energia elétrica com o VE que estão mostrados na Tabela 21. Para o Cenário 2 a residência tem a participação de 32,04% e no Cenário 3 de 19,07%. Para a Hipótese 4, em todos os cenários a inserção do SFV gera redução dos custos com energia elétrica.

Tabela 21 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3.

| Cenários | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Consumo mensal EE (kWh) | 258,00 | 565,00 | 949,00 |
| $E_{VEE}$ (%) | 29,84% | 67,96% | 80,93% |
| $E_{REE}$ (%) | 70,16% | 32,04% | 19,07% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.2.3.4 Custos do veículo ($C_V$)

Nesse tópico são apresentados os custos associados ao veículo.

#### 4.2.3.4.1 Custos com a revisão mecânica dos veículos ($C_{VRev}$)

Os $C_{VRev}$ estão mostrados na Tabela 22 e foram consultados em 24 de agosto de 2023. Eles sofreram a atualização monetária mensal do índice IGP-M de 0,7619%. Como há alteração da distância diária percorrida em cada cenário, o veículo alcançará a quilometragem de

revisão em um tempo menor fazendo com que o custo total de revisão no final de 96 meses seja diferente.

Tabela 22 – Custos revisão para o Caso 1.

| Veículo | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 40.000 | 50.000 | 60.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Fiat Mobi Like* | 500,00 | 672,00 | 1.012,00 | 888,00 | 680,00 | 2.136,00 |
| *Jac e-JS1* | 387,00 | 525,00 | 387,00 | 525,00 | 387,00 | 525,00 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.3.4.2 Custos com o licenciamento ($C_{VLic}$).

Os $C_{VLic}$ para o Caso 1 estão informados na Tabela 23.

Tabela 23 – Custos com licenciamento para o Caso 1.

| Nº Mês | *Fiat Mobi Like* | *Jac e-JS1* |
|---|---|---|
| | $C_{VLIC}$ (R$) | $C_{VLIC}$ (R$) |
| 0 | 214,72 | 214,72 |
| 8 | 231,99 | 231,99 |
| 20 | 260,52 | 260,52 |
| 32 | 292,57 | 292,57 |
| 44 | 328,56 | 328,56 |
| 56 | 368,98 | 368,98 |
| 68 | 414,36 | 414,36 |
| 80 | 465,33 | 465,33 |
| 92 | 522,57 | 522,57 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.3.4.3 Custos com o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores ($C_{VIPVA}$)

Os $C_{VIPVA}$ para os veículos do Caso 1 estão informados na Tabela 24.

Tabela 24 – Custos com IPVA para o Caso 1.

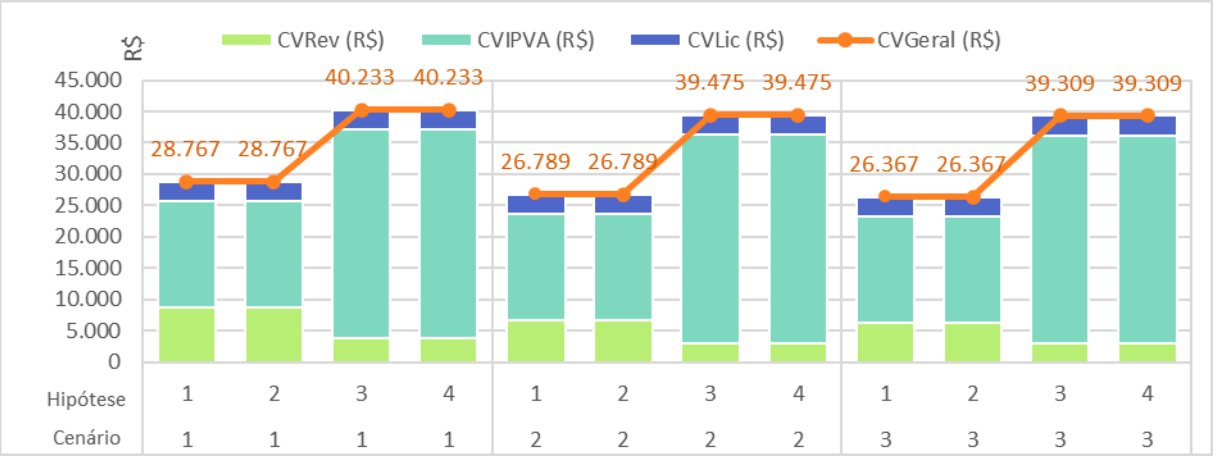
| Nº Mês | *Fiat Mobi Like* | | *Jac e-JS1* | |
|---|---|---|---|---|
| | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) |
| 0 | 62.653,00 | 783,16 | 144.297,00 | 1.803,71 |
| 6 | 63.213,41 | 1.896,40 | 142.567,41 | 4.277,02 |
| 18 | 64.349,31 | 1.930,48 | 139.170,19 | 4.175,11 |
| 30 | 65.505,63 | 1.965,17 | 135.853,92 | 4.075,62 |
| 42 | 66.682,72 | 2.000,48 | 132.616,67 | 3.978,50 |
| 54 | 67.880,97 | 2.036,43 | 129.456,56 | 3.883,70 |
| 66 | 69.100,74 | 2.073,02 | 126.371,75 | 3.791,15 |
| 78 | 70.342,44 | 2.110,27 | 123.360,45 | 3.700,81 |
| 90 | 71.606,45 | 2.148,19 | 120.420,91 | 3.612,63 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.3.4.4 Custo geral do veículo ($C_{VGeral}$)

Os $C_{VGeral}$ envolvem os custos com impostos e revisão mecânica, são calculados conforme a Equação (35) e estão apresentados na Figura 48. Eles se alteram com a mudança do veículo e dos cenários, devido ao custo com a revisão calculados até 60.000 km. Esses valores foram atualizados mensalmente, dado o IGP-M.

Figura 48 – Componentes do custo geral para o Caso 1.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VRev}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo. $C_{VGeral}$: Custo geral do veículo.

#### 4.2.3.4.5 Custo de aquisição ($C_{VAq}$) e valor de revenda ($V_{Rev}$)

Os valores com a aquisição ($C_{VAq}$) e, após 96 meses, a revenda ($V_{Rev}$), dos dois veículos, dado a Taxa de Revenda (TR) mensal de 0,149% e -0,201%, respectivamente para *o Fiat Mobi Like e o Jac e-JS1*, estão mostrados na Tabela 25 .

Tabela 25 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 1.

| Hipótese | Veículo | $C_{VAq}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) | TR (%) |
|---|---|---|---|---|
| Hipótese 1 e 2 | *Fiat Mobi Like1* | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,149% |
| Hipótese 3 e 4 | *Jac e-JS1* | 144.297,00 | 141.969,71 | -0,201% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{Vaq}$: Custo de aquisição do veículo. $V_{Rev}$: Valor de revenda do veículo. TR: Taxa de revenda mensal.

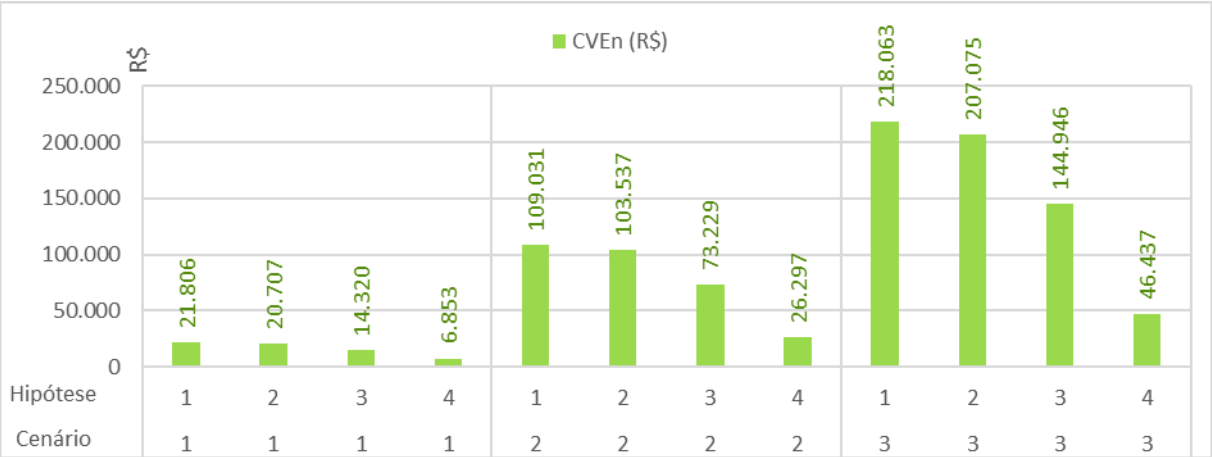
#### 4.2.3.4.6 Custo com energia ($C_{VEn}$)

Em todos os cenários e hipóteses com o VCI, o uso do etanol possui valores mais baixos do que a da gasolina. O mesmo se repete com o VE que usando a energia proveniente do SFV

demonstra ter um custo menor do que utilizando energia elétrica somente fornecida pela concessionária.

Em todos os cenários, as Hipóteses 3 e 4 possuem os $C_{VEn}$ menores do que as Hipóteses 1 e 2, mostrando que o uso da energia elétrica como combustível é mais barata que a gasolina ou o etanol. O detalhamento do $C_{VEn}$ está mostrado na Figura 49.

Figura 49 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$) para o Caso 1.



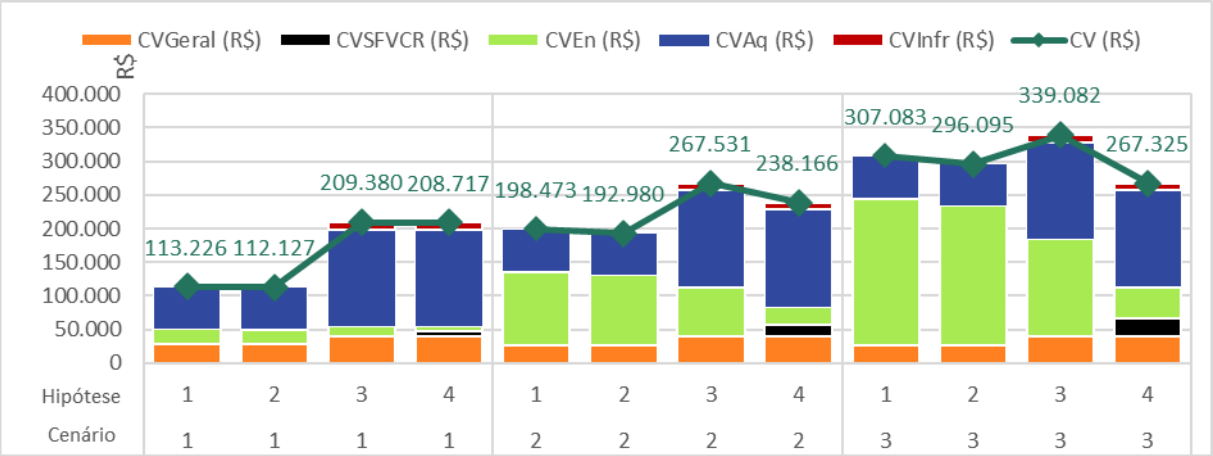

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.3.4.7 Custo com o veículo ($C_V$)

O $C_V$ é calculado conforme a Equação (15). A Figura 50 apresenta as componentes associadas ao veículo. O $C_V$ sofre incremento para os diferentes cenários, tendo alternância entre os custos mais baixos, sendo que, para os Cenários 1 e 2, a Hipótese 2 é a menor, com os valores de R$ 112.127,49 e R$ 192.979,63. Porém, para o Cenário 3, a Hipótese 4 se torna a menor com o valor de R$ 267.324,95.

Como comentado no tópico 4.2.3.2 a diferença no custo de aquisição é de R$ 81.644,00. Porém, com o incremento da distância diária percorrida, o custo com a componente energia ($C_{VEn}$) é o que se torna o maior custo para os VCIs.

Figura 50 – Componentes do custo do veículo para o Caso 1.



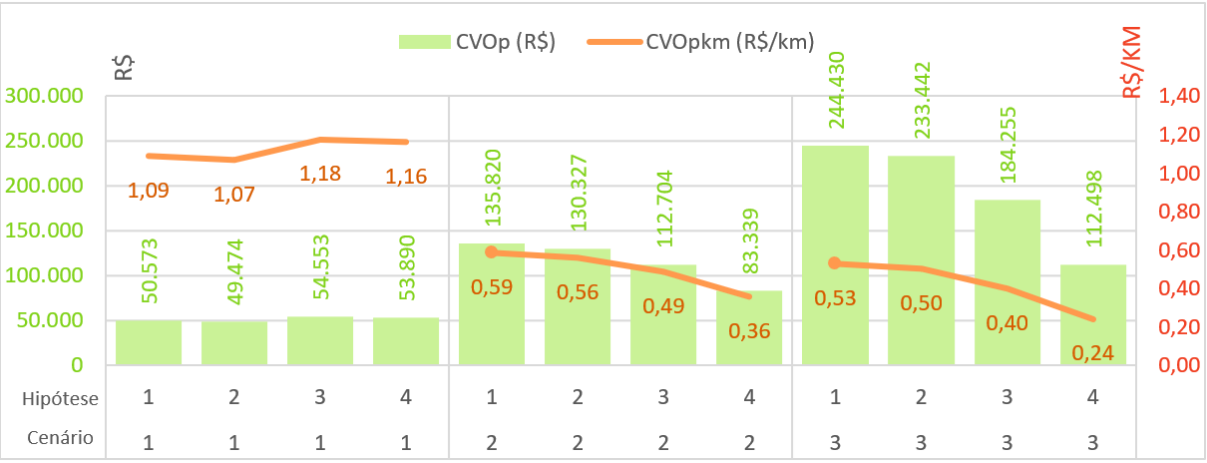

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VRev}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo. $C_V$: Custo do veículo.

#### 4.2.3.4.8 Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo médio por km ($C_{VOpkm}$)

De acordo as Equações (38) e (39) foi montada a Figura 51 . Ele mostra a variação dos custos na fase de uso dos veículos e esses custos por quilômetro. Da análise gráfica, conclui-se que quanto maior a distância percorrida diariamente, maior o custo operacional. Porém, quando isso é visto por quilometro percorrido, o custo médio se reduz.

Figura 51 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 1 .




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VOp}$: Custo operacional do veículo. $C_{VOpkm}$: Custo operacional do veículo por km percorrido.

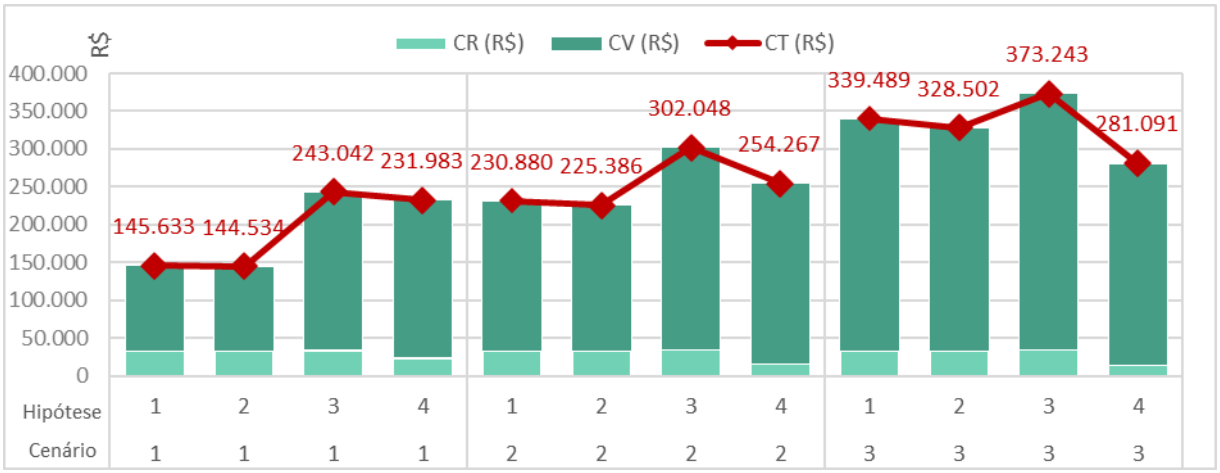
Vale ressaltar que esse trabalho não considerou os custos com a substituição de peças e equipamentos, como por exemplo, para o Cenário 3, com um total de 463.680 km percorridos pelo veículo, que dado a quilometragem de 160.000 km ou 96 meses para a troca

da bateria de 30 kWh do VE, seriam necessárias, ao menos, 2 substituições. O preço da troca de cada bateria do VE é estimado em R$ 31.071,00 para fevereiro de 2023.

### 4.2.4 Custo total ($C_T$)

O $C_T$ é calculado de acordo a Equação (19) e, juntamente, com as componentes $C_V$ e $C_R$ estão mostrados na Figura 52. O custo total ($C_T$) apresentou a seguinte ordem crescente de custo. Para os Cenários 1 e 2: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Cenário 3: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1, e Hipótese 3.

Figura 52 – Custo total ($C_T$) para o Caso 1.



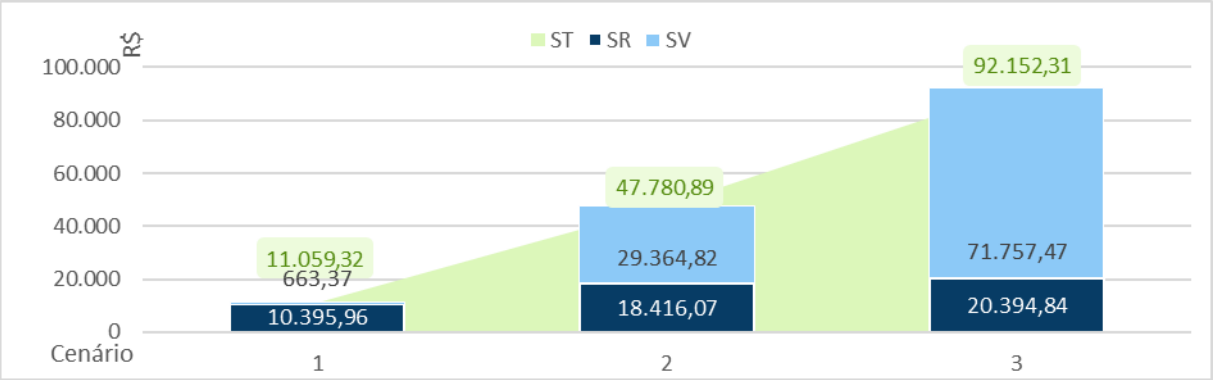

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_V$: Custo do veículo.

### 4.2.5 Economia com o sistema fotovoltaico

A comparação entre as Hipóteses 3 e 4 permitiu determinar a economia de dinheiro com a utilização do SFV, sendo mostrada na Figura 53, para as componentes da residência, veículo e a economia total. Para o Cenário 3, a economia entre essas duas hipóteses foi de R$ 92.152,31.

Figura 53 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 1.



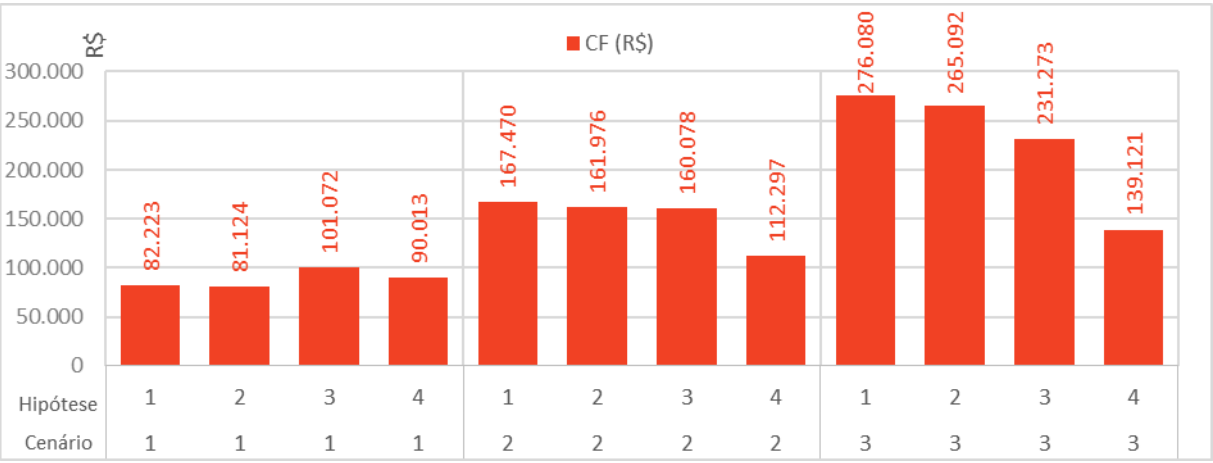

Fonte: Autoria própria.

Notas: $S_R$: Valor da economia para a residência. $S_V$: Valor da economia para o veículo. $S_T$: Valor da economia total.

### 4.2.6 Custo final ($C_F$)

Sendo os valores de aquisição e revenda do VE superiores ao VCI, fez-se necessário a análise do custo final que foi definido de acordo com a Equação (21) que estão apresentados na Figura 54.

Figura 54 – Custo final ($C_F$) para o Caso 1.




Fonte: Autoria própria.

O $C_F$ apresentou a seguinte ordem de custos, do mais baixo para o mais alto, para o Cenário 1: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Cenário 2 e 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1.

### 4.2.7 Análise de viabilidade financeira

As análises de viabilidade financeira entre o *Fiat Mobi Like* e *Jac e-JS1*, de cada cenário e hipótese foram calculadas conforme a Equação (61) e estão apresentadas em ordem do

maior VPL para o menor na Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28. Foi considerada a taxa de atratividade (TA) de 1,042%.

Tabela 26 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -63.650,88 | -89.128,78 |
| 2 | Hipótese 1 | -63.650,88 | -89.685,98 |
| 3 | Hipótese 4 | -164.648,88 | -153.848,30 |
| 4 | Hipótese 3 | -156.845,59 | -157.603,35 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 27 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -63.650,88 | -140.103,84 |
| 2 | Hipótese 1 | -63.650,88 | -142.889,86 |
| 3 | Hipótese 4 | -171.960,01 | -169.835,71 |
| 4 | Hipótese 3 | -156.845,59 | -193.007,72 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 28 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 4 | -180.259,77 | -188.187,61 |
| 2 | Hipótese 2 | -63.650,88 | -203.358,27 |
| 3 | Hipótese 1 | -63.650,88 | -208.930,32 |
| 4 | Hipótese 3 | -156.845,59 | -235.114,97 |

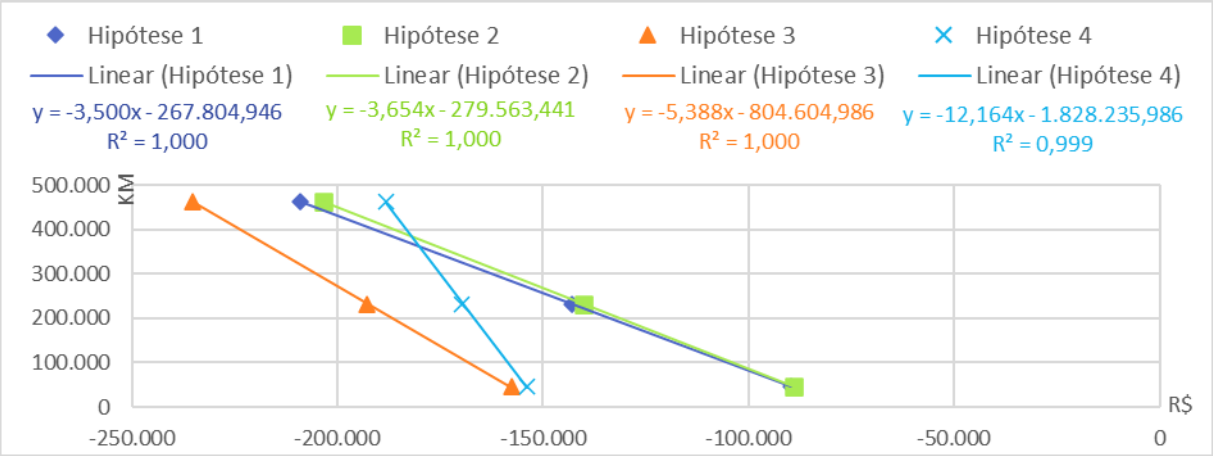
Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 1 e Cenário 1, entre o Fiat Mobi Like e o JAC e-JS1, a ordem dos melhores investimentos da análise financeira, dado o maior valor do VPL, foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 89.128,78, -R$ 89.685,98, -R$ 153.848,30 e -R$ 157.603,35, e investimento inicial de: R$ 63.650,88, R$ 63.650,88, R$ 164.648,88 e R$ 156.845,59. Para o cenário 2, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 140.103,84, -R$ 142.889,86, -R$ 169.835,71 e -R$ 193.007,72, e investimento inicial de: R$ 63.650,88, R$ 63.650,88, R$ 171.960,01 e R$ 156.845,59. Para o cenário 3, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 188.187,61, -R$ 203.358,27, -R$ 208.930,32 e -R$ 235.114,97, e investimento inicial de: R$ 180.259,77, R$ 63.650,88, R$ 63.650,88 e R$ 156.845,59.

#### 4.2.7.1 Comparação dos VPLs utilizando a regressão linear

A Figura 55 apresenta as retas e equações encontradas utilizando a regressão linear dos VPLs de cada hipótese.

Figura 55 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 1.




Fonte: Autoria própria.

A resolução das equações das Hipóteses 1 e 2 com a Hipótese 3 e 4 gerou os valores contidos na Tabela 29, em que os VPLs se tornam maiores para a Hipótese 3 a partir de 252,54 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 287,10 km por dia para a Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 125,89 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 133,82 km por dia à Hipótese 2.

Tabela 29 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 1.

| Hipóteses | Hipótese 3 | | | Hipótese 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia |
| Hipótese 1 | 727.322,25 | -284.322,06 | 252,54 | 362.563,09 | -180.105,15 | 125,89 |
| Hipótese 2 | 826.838,98 | -302.792,13 | 287,10 | 385.401,25 | -181.982,67 | 133,82 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: Da: Distância percorrida acumulada. VPL: Valor Presente Líquido.

## 4.3 Caso 2 (veículos compactos)

O Caso 2 envolve a análise entre o VCI *Hyundai HB20 Sense* e o *VE Peugeot E-208 GT*.

### 4.3.1 Dados iniciais

A Tabela 30 apresenta as distancias percorridas, consumo da residência e dos veículos que foram utilizados para o referido caso.

Tabela 30 – Dados de consumo e distância para o Caso 2.

| Descrição | *Peugeot E-208 GT* | | | *Hyundai HB20 Sense* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cenários | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| % Autonomia | 10% | 50% | 100% | | | |
| Distância diária percorrida (km) | 22,00 | 110,00 | 220,00 | 22,00 | 110,00 | 220,00 |
| Distância mensal percorrida (km) | 660 | 3.300 | 6.600 | 660 | 3.300 | 6.600 |
| Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 |
| Consumo EE do VE (Wh/km) | 164,00 | 164,00 | 164,00 | | | |
| Consumo mensal EE VE (kWh) | 109,00 | 542,00 | 1.083,00 | | | |
| Consumo mensal EE (kWh) | 290,00 | 723,00 | 1.264,00 | 181,00 | 181,00 | 181,00 |
| $E_{VEE}$ (%) | 37,59% | 74,97% | 85,68% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| $E_{REE}$ (%) | 62,41% | 25,03% | 14,32% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Consumo combinado gasolina (km/l) | | | | 13,89 | 13,89 | 13,89 |
| Consumo combinado etanol (km/l) | | | | 9,96 | 9,96 | 9,96 |
| Consumo diário gasolina (l) | | | | 1,58 | 7,92 | 15,84 |
| Consumo diário etanol (l) | | | | 2,21 | 11,04 | 22,09 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.3.2 Sistema fotovoltaico

Para a Hipótese 4 e cada cenário, foi utilizada a geração calculada ($G_{SFVCR}$) como parâmetro de entrada para dimensionamento do SFV. O restante de dados de entrada para a simulação pelo programa *Solar Edge Designer* está apresentado na Tabela 31.

Tabela 31 – Dados de entrada e resultado para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 2.

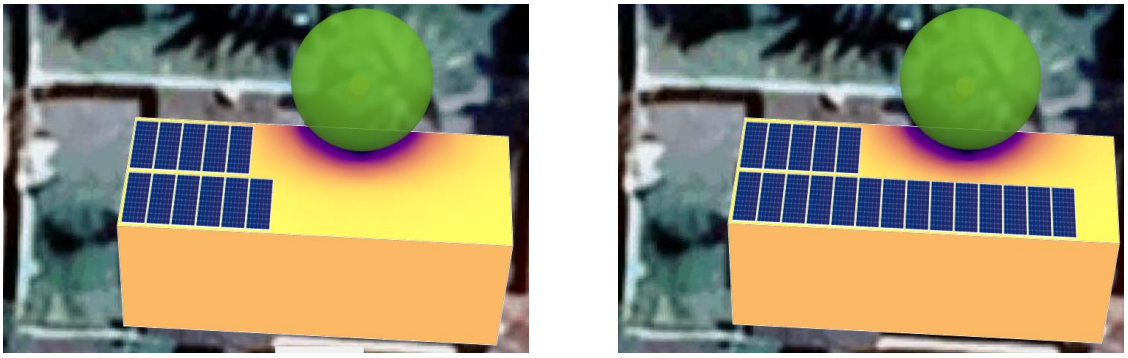
| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $G_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190 | 623 | 1164 |
| Potência painel (Wp) | 500 | 500 | 500 |
| Nº de painéis | 3 | 11 | 19 |
| Potência sistema (kWp) | 1,50 | 5,50 | 9,50 |
| Inclinação painéis | 15º | 15º | 15º |
| Azimute (graus) | 3º | 3º | 3º |
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190 | 702 | 1197 |

Fonte: Autoria própria.

Um dos resultados fornecidos pelo programa é a energia anual produzida pelo SFV, a qual foi encontrada a média aritmética mensal ($E_{SFVCR}$). Para o Cenário 1, não foi possível fazer a simulação, visto que o sistema apresenta uma potência inferior a 80% da potência do menor inversor disponível no programa. Para esse cenário, foi feito uma estimativa com os dados do Cenário 2.

A Figura 56 apresenta a posição dos painéis no telhado, com a simulação da irradiação. O círculo verde nas imagens é a representação de uma árvore existente.

Figura 56 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*.

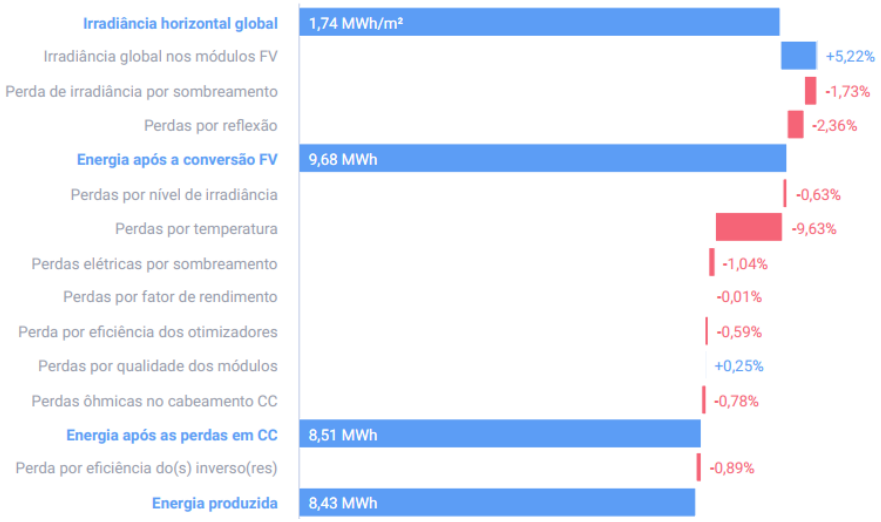


(a) Cenário 2 (b) Cenário 3

Fonte: Solar Edge (2023)

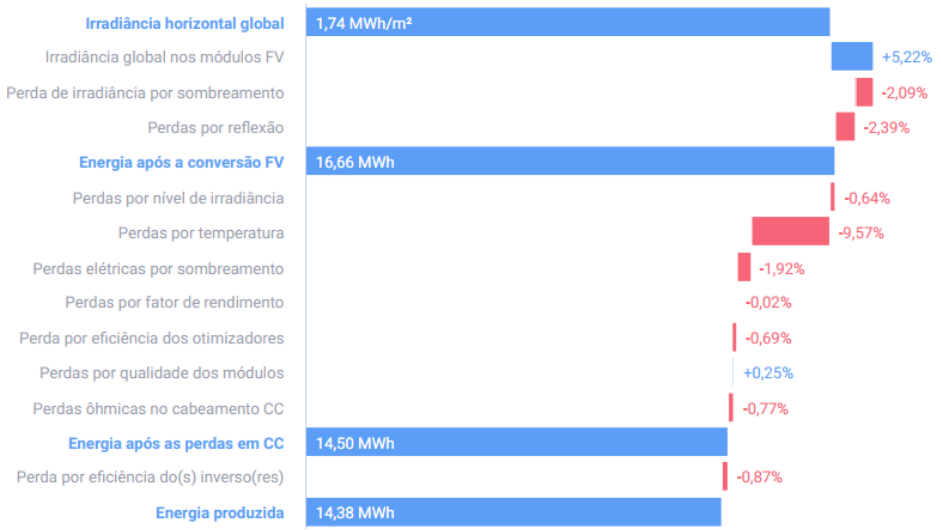
A Figura 57 e Figura 58 apresentam os resultados referentes a geração de energia considerando as perdas do sistema para os cenários 2 e 3. Os valores mostrados são anuais.

Figura 57 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais.




Fonte: Solar Edge (2023)

Figura 58 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais.




Fonte: *Solar Edge* (2023)

### 4.3.2.1 Consumo de energia elétrica para a Hipótese 4

Para a Hipótese 4, que se enquadra no sistema de faturamento classificado como GD II, foram calculados os valores a serem cobrados pela distribuidora do cliente e estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – *Cálculo de* consumo e energia injetada para a geração distribuída.

| Item | Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Consumo mensal EE (kWh) | 290 | 723 | 1264 |
| 2 | Consumo mensal EE VE (kWh) | 109 | 542 | 1083 |
| 3 | Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 |
| 4 | Autoconsumo médio residência (kWh) | 66,83 | 66,83 | 66,83 |
| 5 | Item 3 – Item 4 | 114,17 | 114,17 | 114,17 |
| 6 | Item 2+ Item 5 | 223,17 | 656,17 | 1197,17 |
| 7 | $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 702,00 | 1197,00 |
| 8 | Item 7 – Item 4 | 123,17 | 635,17 | 1130,17 |
| 9 | $E_{Inj}$ (kWh) | 123,17 | 556,17 | 1097,17 |
| 10 | $E_{GD}$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | Item 8 – Item 9 | 0,00 | 79,00 | 33,00 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. VE: Veículo elétrico. $E_{SFVCR}$: Energia média mensal gerada pelo sistema fotovoltaico. $E_{GD}$: Consumo a ser cobrado do cliente com geração distribuída tipo II. Item 5: Energia a ser consumida da rede somente pela residência. Item 6: Energia a ser consumida da rede pela unidade consumidora. Item 8: Saldo entre energia gerada do sistema fotovoltaico e a autoconsumida pela residência. Item 9: Diferença entre o item 6 e o custo de disponibilidade de 100 kWh. Item 11: Saldo da energia a ser utilizada como crédito em contas futuras.

Sendo a energia injetada (Einj) informada para os 3 cenários conforme item 9 da Tabela 32, com os valores de 123,17 kWh, 556,17 kWh e 1097,17 kWh. Para o consumo de energia ($E_{GD}$), ítem 10 da mesma tabela, de 100 kWh para os 3 cenários.

### 4.3.3 Custos

#### 4.3.3.1 Custos do sistema fotovoltaico ($C_{SFVCR}$)

Os custos para o SFVCR estão mostrados na Tabela 33 e foram calculados conforme a Equação (23). Como o SFVCR é utilizado tanto para atender o consumo da residência como da recarga da bateria do veículo elétrico, foi feito o rateio, sendo o custo adquirido para o VE ($C_{VSFVCR}$) de acordo a Equação (24) e para a residência ($C_{RSFVCR}$) de acordo a Equação (25). O rateio foi baseado nos consumos individuais com a geração do SFVCR ($G_{SFVCR}$). A tabela também mostra os custos com a aquisição ($C_{AQSFVCR}$) e custos com a limpeza ($C_{LSFVCR}$).

Tabela 33 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 2.

| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 702,00 | 1.197,00 |
| $C_{AQSFVCR}$ (R$) | 7.803,29 | 19.574,68 | 30.955,23 |
| $C_{LSFVCR}$ (R$) | 6.158,56 | 6.158,56 | 6.158,56 |
| $C_{SFVCR}$ (R$) | 13.961,85 | 25.733,24 | 37.113,79 |
| $E_V$ (kWh) | 109,00 | 542,00 | 1.083,00 |
| $E_D$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| $E_R$ (kWh) | 81,00 | 81,00 | 81,00 |
| $G_{SFVCR}$ (kWh) | 190,00 | 623,00 | 1.164,00 |
| $C_{VSFVCR}$ (%) | 57,37% | 87,00% | 93,04% |
| $C_{RSFVCR}$ (%) | 42,63% | 13,00% | 6,96% |
| $C_{VSFVCR}$ (R$) | 8.009,69 | 22.387,51 | 34.531,13 |
| $C_{RSFVCR}$ (R$) | 5.952,16 | 3.345,73 | 2.582,66 |

Fonte: Autoria própria.

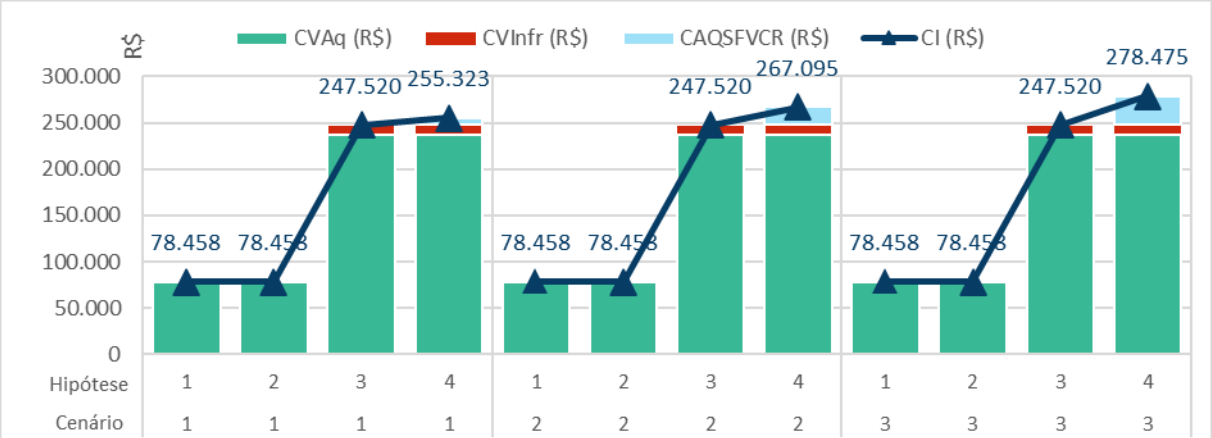
Notas: $E_V$: Energia elétrica consumida pelo veículo elétrico. $E_D$: custo de disponibilidade do sistema. $E_R$: energia elétrica consumida pela residência descontado o ED.

Assim, quanto maior a distância percorrida pelo VE, maior o consumo de energia, fazendo com que seja necessária uma maior potência instalada do sistema fotovoltaico, que por sua vez, possui custos maiores. Para o rateio, o custo adquirido para a residência diminui, dado que sua participação no consumo total de energia diminui e incrementa a do VE.

### 4.3.3.2 Custo inicial ($C_I$)

O $C_I$ é calculado conforme a Equação (14), que também é o investimento inicial na análise financeira. O *Hyundai HB20 Sense* tem um custo de aquisição de R$ 78.458,00 e o *Peugeot E-208 GT* de R$ 236.990,00. Portanto, uma diferença de preço de R$ 158.532,00 entre os veículos. Sendo que para a Hipótese 3, o VE possui o custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga ($C_{VInf}$), que está descrito no Tópico 4.1.3. A Hipótese 4, ainda possui a componente de custo da aquisição do sistema fotovoltaico ($C_{AQSFVCR}$), descrito no tópico 4.2.3.1. Assim, a Hipóteses 4 possui um aumento do $C_I$ dado a mudança de cenários. Para o Cenário 1, um custo de R$ 255.323,45, Cenário 2, R$ 267.094,84 e Cenário 3 tenha um custo de R$ 278.475,38. A Figura 59 apresenta as componentes de custos do $C_I$.

Figura 59 – Custo inicial para o Caso 2.



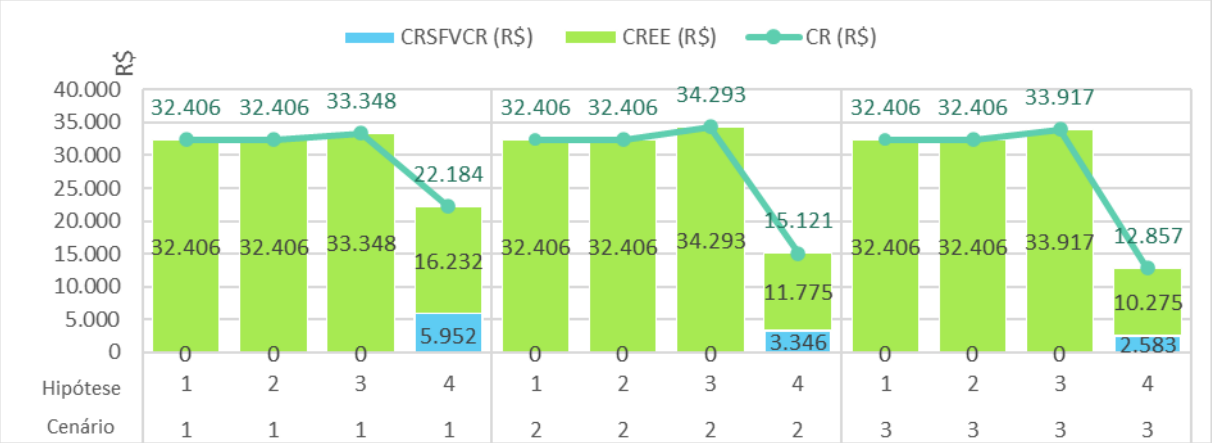

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VAq}$: Custo de aquisição do veículo. $C_{VInfr}$: Custo do veículo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga. $C_{AQSFVCR}$: Custo com a aquisição do sistema fotovoltaico.

### 4.3.3.3 Custo residência ($C_R$)

O $C_R$ é calculado conforme a Equação (17) e possui duas componentes de custo: a componente do sistema fotovoltaico e do consumo de energia elétrica que estão mostrados na Figura 60.

Figura 60 – Custo da residência para o Caso 2.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_{REE}$: Custo da residência com energia elétrica. $C_{RSFVCR}$: Custo absorvido pela residência com o sistema fotovoltaico.

Os valores para as Hipóteses 1 e 2 são os mesmos em todos os cenários, visto que não há alteração de consumo de energia elétrica. Para a Hipótese 3, o Cenário 3 tem um custo menor do que o Cenário 2, isto ocorre devido ao rateio dos custos com a fatura de energia elétrica com o VE que estão mostrados na Tabela 34. Para o Cenário 2 a residência tem a participação de 25,03% e no Cenário 3 de 14,32%. Para a Hipótese 4, em todos os cenários a inserção do SFV gera diminuição dos custos com energia elétrica.

Tabela 34 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3.

| Cenários | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Consumo mensal EE (kWh) | 290 | 723 | 1264 |
| $E_{VEE}$ (%) | 37,59% | 74,97% | 85,68% |
| $E_{REE}$ (%) | 62,41% | 25,03% | 14,32% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.3.3.4 Custos do veículo ($C_V$)

Nesse tópico são apresentados os custos associados ao veículo.

#### 4.3.3.4.1 Custos com a revisão mecânica dos veículos ($C_{VRev}$)

Os $C_{VRev}$ estão mostrados na Tabela 35 e foram consultados em 24 de agosto de 2023. Eles sofreram a atualização monetário do índice IGP-M de 0,7619%. Como há alteração da distância diária percorrida em cada cenário, o veículo alcançará a quilometragem de revisão

em um tempo menor fazendo com que o custo total de revisão no final de 96 meses seja diferente.

Tabela 35 – Custos revisão para o Caso 2.

| Veículo | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 40.000 | 50.000 | 60.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Hyundai HB20 Sense* | 313,67 | 619,31 | 622,67 | 802,12 | 588,33 | 790,98 |
| *Peugeot E-208 GT* | - | 859,00 | - | 1.150,00 | - | 2.037,00 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.3.4.2 Custos com o licenciamento ($C_{VLic}$).

Os $C_{VLic}$ para o Caso 2 estão informados na Tabela 33.

Tabela 36 – Custos com licenciamento para o Caso 2.

| Nº Mês | *Hyundai HB20 Sense* | *Peugeot E-208 GT* |
|---|---|---|
| | $C_{VLIC}$ (R$) | $C_{VLIC}$ (R$) |
| 0 | 214,72 | 214,72 |
| 8 | 231,99 | 231,99 |
| 20 | 260,52 | 260,52 |
| 32 | 292,57 | 292,57 |
| 44 | 328,56 | 328,56 |
| 56 | 368,98 | 368,98 |
| 68 | 414,36 | 414,36 |
| 80 | 465,33 | 465,33 |
| 92 | 522,57 | 522,57 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.3.4.3 Custos com o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores ($C_{VIPVA}$)

Os $C_{VIPVA}$ para os veículos do Caso 2 estão informados na Tabela 37.

Tabela 37 – Custos com IPVA para o Caso 2.

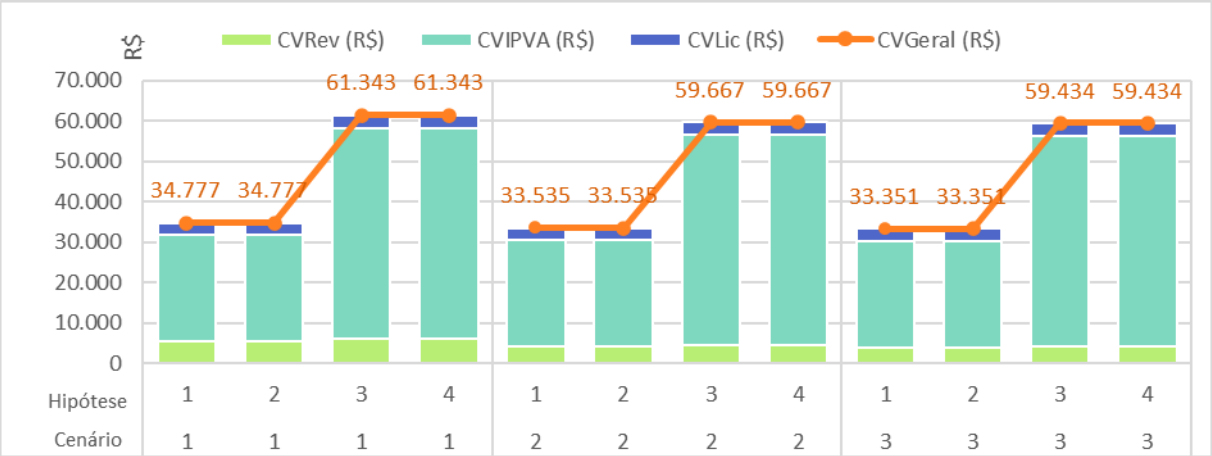
| Nº Mês | *Hyundai HB20 Sense* | | *Peugeot E-208 GT* | |
|---|---|---|---|---|
| | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) |
| 0 | 78.458,00 | 980,73 | 236.990,00 | 2.962,38 |
| 6 | 81.291,99 | 2.438,76 | 232.550,77 | 6.976,52 |
| 18 | 87.270,76 | 2.618,12 | 223.920,22 | 6.717,61 |
| 30 | 93.689,25 | 2.810,68 | 215.609,97 | 6.468,30 |
| 42 | 100.579,80 | 3.017,39 | 207.608,14 | 6.228,24 |
| 54 | 107.977,12 | 3.239,31 | 199.903,27 | 5.997,10 |
| 66 | 115.918,50 | 3.477,56 | 192.484,35 | 5.774,53 |
| 78 | 124.443,94 | 3.733,32 | 185.340,77 | 5.560,22 |
| 90 | 133.596,41 | 4.007,89 | 178.462,30 | 5.353,87 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.3.4.4 Custo geral do veículo ($C_{VGeral}$)

Os $C_{VGeral}$ do veículo envolvem os custos com impostos e revisão mecânica e são calculados conforme a Equação (35) e estão apresentados na Figura 61. Eles se alteram com a mudança do veículo e dos cenários. Eles se alteram com a mudança do veículo e dos cenários, devido ao custo com a revisão calculados até 60.000 km. Esses valores foram atualizados mensalmente, dado o IGP-M.

Figura 61 – Componentes do custo geral para o Caso 2.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VRev}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo. $C_{VGeral}$: Custo geral do veículo.

#### 4.3.3.4.5 Custo de aquisição($C_{VAq}$) e valor de revenda ($V_{Rev}$)

Os valores com a aquisição ($C_{VAq}$) e, após 96 meses, a revenda ($V_{Rev}$) dos dois veículos, dado a taxa de revenda mensal (TR) de 0,59% e -0,31%, respectivamente para *o Hyundai HB20 Sense e o Peugeot E-208 GT*, estão mostrados na Tabela 38.

Tabela 38 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 2.

| Hipótese | Veículo | $C_{VAq}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) | TR (%) |
|---|---|---|---|---|
| Hipótese 1 e 2 | *Hyundai HB20 Sense* | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,59% |
| Hipótese 3 e 4 | *Peugeot E-208 GT* | 236.990,00 | 231.023,75 | -0,31% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{Vaq}$: Custo de aquisição do veículo. $V_{Rev}$: Valor de revenda do veículo. TR: Taxa de revenda mensal.

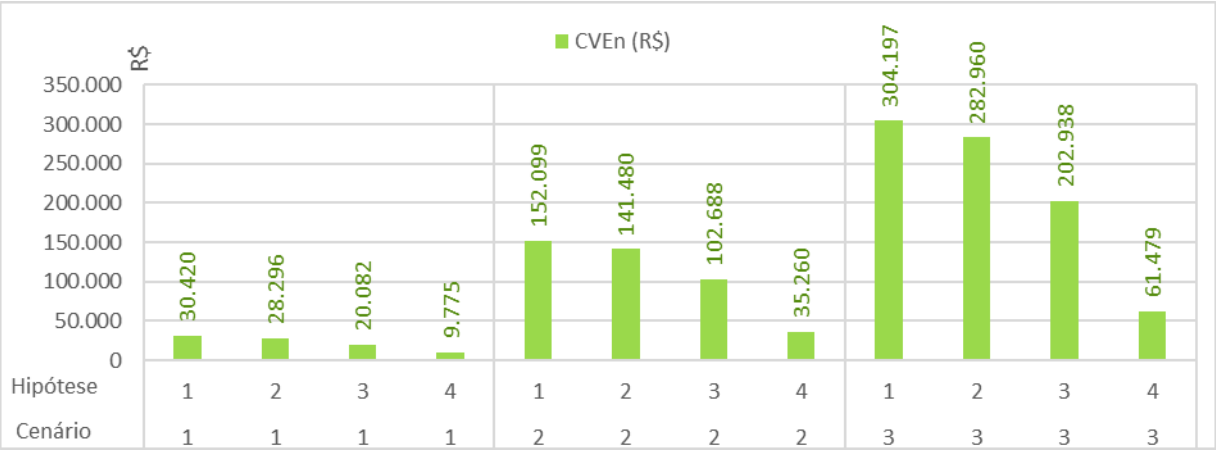
#### 4.3.3.4.6 Custo com energia ($C_{VEn}$)

Em todos os cenários e hipóteses com o VCI, o uso do etanol possui valores mais baixos do que a da gasolina. O mesmo se repete com o VE que usando a energia proveniente do SFV

demonstra ter um custo menor do que utilizando energia elétrica somente fornecida pela concessionária.

Em todos os cenários, as Hipóteses 3 e 4 possuem os $C_{VEn}$ menores dos que as Hipóteses 2 e 3, mostrando que o uso da energia elétrica como combustível é mais barata que a gasolina ou o etanol. O detalhamento do $C_{VEn}$ está mostrado na Figura 62.

Figura 62 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$).



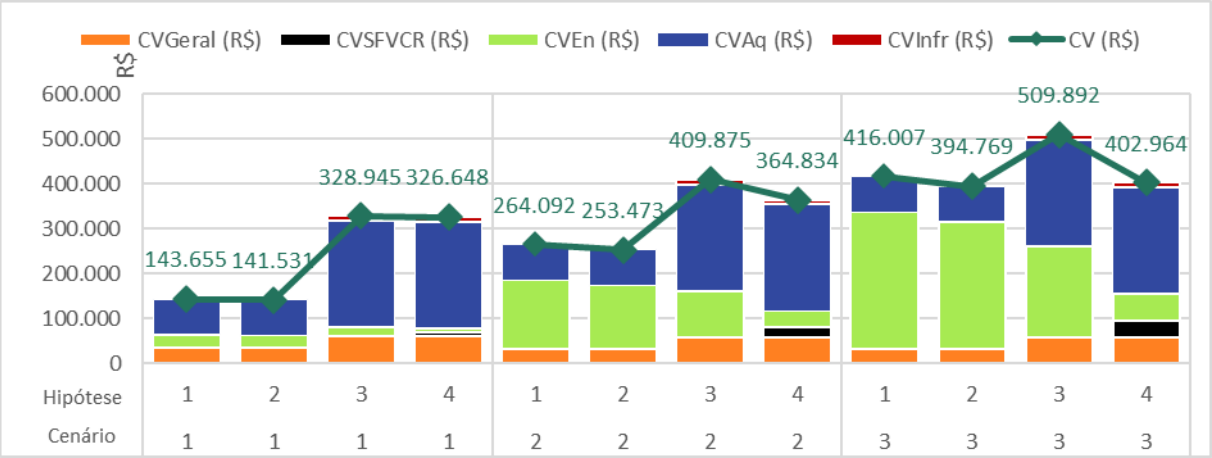

Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.3.4.7 Custo com o veículo ($C_V$)

O $C_V$ é calculado conforme a Equação (15). O Em todos os cenários e hipóteses com o VCI, o uso do etanol possui valores mais baixos do que a da gasolina. O mesmo se repete com o VE que usando a energia proveniente do SFV demonstra ter um custo menor do que utilizando energia elétrica somente fornecida pela concessionária.

A Figura 63 apresenta as componentes associadas ao veículo. O $C_V$ sofre incremento para os diferentes cenários. Para os Cenários 1, 2 e 3 a Hipótese 2 é a menor, com os valores de R$ 141.530,84 e R$ 253.472,65 e R$ 394.768,95 respectivamente.

Figura 63 – Componentes do custo do veículo para o Caso 2.



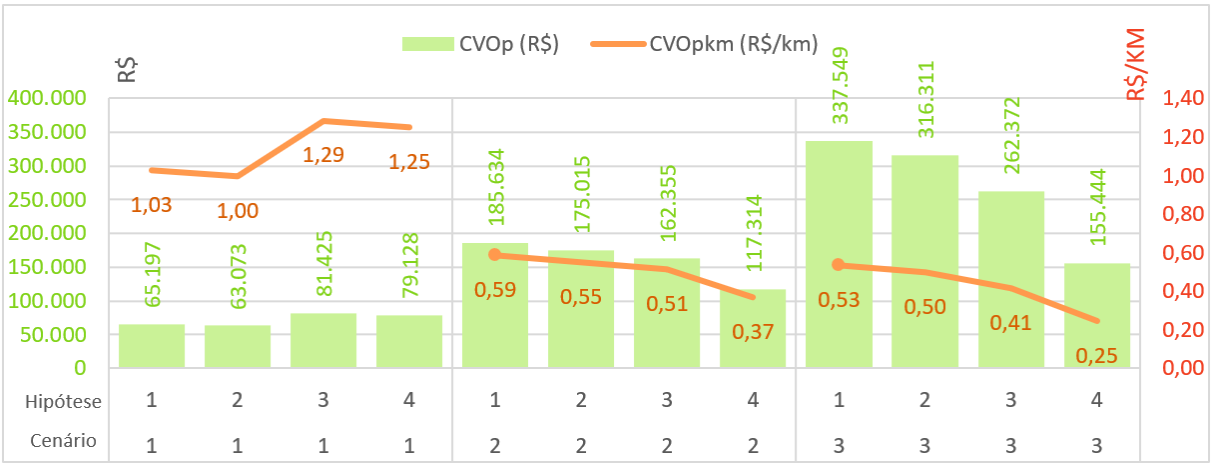

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VREV}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo.

#### 4.3.3.4.8 Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo médio por km ($C_{VOpkm}$)

De acordo as Equações (38) e (39) foi montada a Figura 64. Ele mostra a variação dos custos na fase de uso dos veículos e esses custos por quilômetro. Da análise gráfica, conclui-se que quanto maior a distância percorrida diariamente, maior o custo operacional. Porém, quando isso é visto por quilômetro percorrido, o custo médio se reduz.

Figura 64 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 2.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VOp}$: Custo operacional do veículo. $C_{VOpkm}$: Custo operacional do veículo por km percorrido.

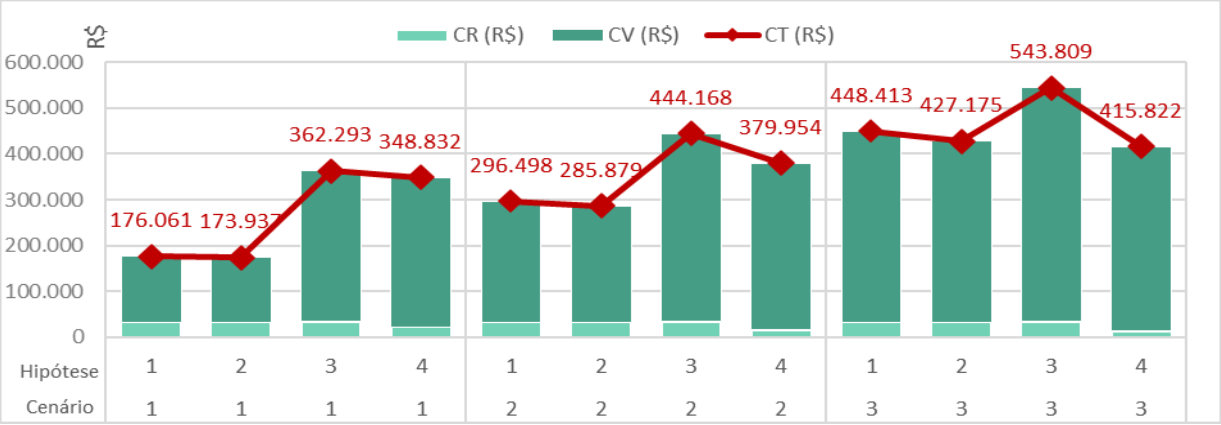
Vale ressaltar que esse trabalho não considerou os custos com a substituição de peças e equipamentos, como por exemplo, para o Cenário 3, com um total de 463.680 km percorridos pelo veículo, que dado a quilometragem de 160.000 km ou 96 meses para a troca

da bateria de 50 kWh do VE, seriam necessárias, ao menos, 3 substituições. O preço da troca de cada bateria do VE é estimado em R$ 51.785,00 para fevereiro de 2023.

### 4.3.4 Custo total ($C_T$)

O $C_T$ é calculado de acordo a Equação (19) e, juntamente, com as componentes $C_V$ e $C_R$ estão mostradas na Figura 65. O custo total ($C_T$) apresentou a seguinte ordem de custo, do mais baixo para o mais alto, para os Cenários 1 e 2: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Cenário 3: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1, e Hipótese 3.

Figura 65 – Custo total ($C_T$) para o Caso 2.



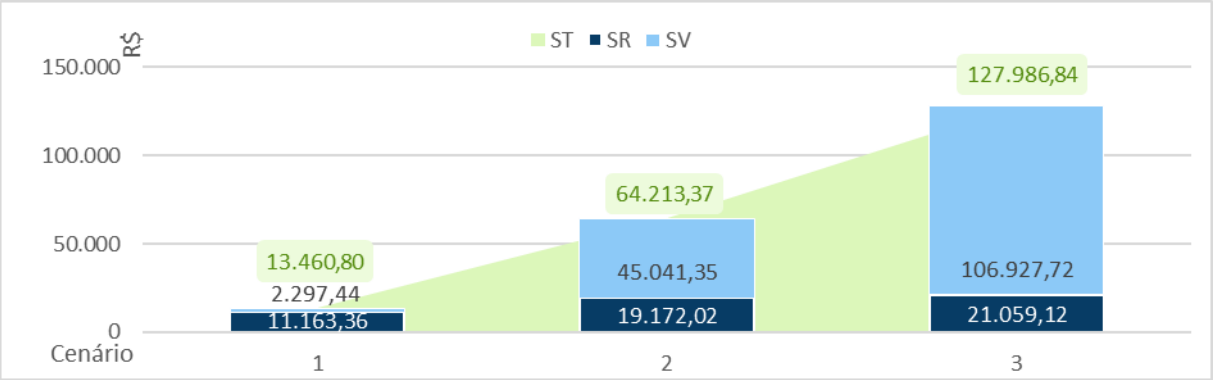

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_V$: Custo do veículo.

### 4.3.5 Economia com o sistema fotovoltaico

A comparação entre as Hipóteses 3 e 4 permitiu determinar a economia de dinheiro com a utilização do SFV, sendo mostrada na Figura 66, para as componentes de custo da residência, veículo e a economia total. Para o Cenário 3, a economia entre essas duas hipóteses foi de R$ 127.986,84.

Figura 66 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 2.



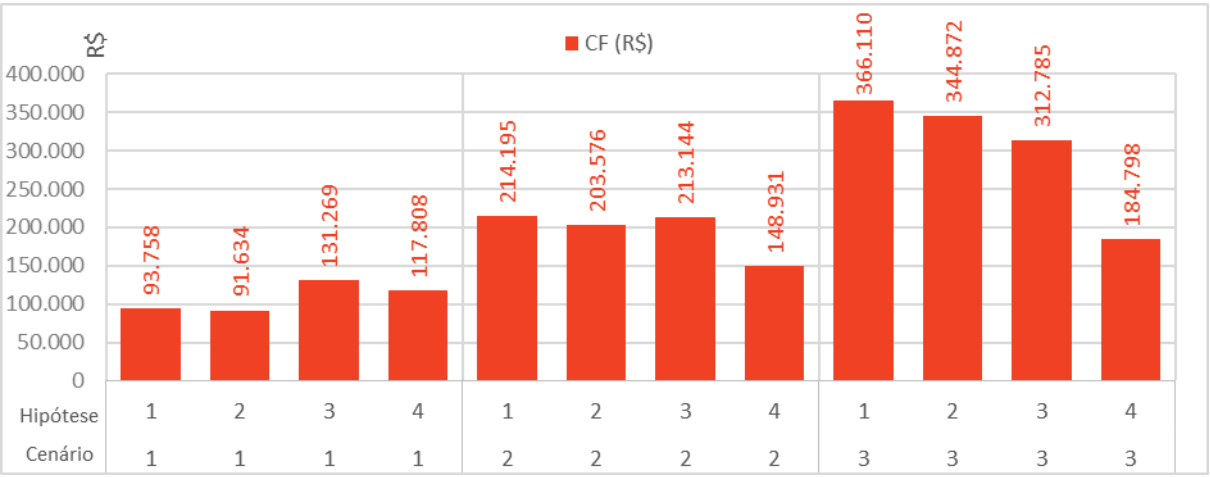

Fonte: Autoria própria.

Notas: $S_R$: Valor da economia para a residência. $S_V$: Valor da economia para o veículo. $S_T$: Valor da economia total.

### 4.3.6 Custo final ($C_F$)

Sendo os valores de aquisição e revenda do VE superiores ao VCI, fez-se necessário a análise dos custos finais que foi definido de acordo com a Equação (21), e estão apresentados na Figura 67.

Figura 67 – Custo final ($C_F$) para o Caso 2.




Fonte: Autoria própria.

O $C_F$ apresentou a seguinte ordem crescente de custos. Para o Cenário 1: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Cenário 2: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 3 e Hipótese 1. Para o Cenário 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1.

### 4.3.7 Análise de viabilidade financeira

As análises de viabilidade financeira entre o *Hyundai HB20 Sense* e *o Peugeot E-208 GT*, de cada cenário e hipótese foram calculadas conforme a Equação (61) e estão

apresentadas em ordem do maior VPL para o menor na Tabela 39, Tabela 40 e Tabela 41. Foi considerada a taxa de atratividade (TA) de 1,042%.

Tabela 39 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -79.653,44 | -106.219,25 |
| 2 | Hipótese 1 | -79.653,44 | -107.356,85 |
| 3 | Hipótese 4 | -258.500,54 | -229.482,51 |
| 4 | Hipótese 3 | -250.697,25 | -234.711,55 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 40 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -79.653,44 | -175.539,83 |
| 2 | Hipótese 1 | -79.653,44 | -181.227,85 |
| 3 | Hipótese 4 | -270.271,93 | -252.910,80 |
| 4 | Hipótese 3 | -250.697,25 | -284.350,37 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 41 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -79.653,44 | -261.855,17 |
| 2 | Hipótese 1 | -79.653,44 | -273.231,21 |
| 3 | Hipótese 4 | -281.652,48 | -277.505,46 |
| 4 | Hipótese 3 | -250.697,25 | -343.267,74 |

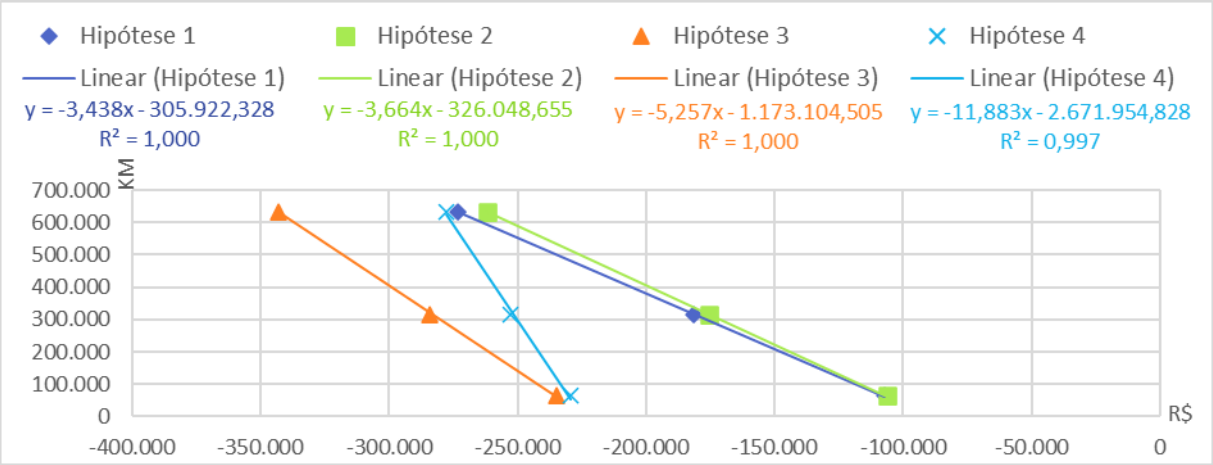
Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 2 e Cenário 1, entre o *Hyundai HB20 Sense* e o *Peugeot E-208 GT*, a ordem dos melhores investimentos da análise financeira, dado o maior valor do VPL, foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 106.219,25, -R$ 107.356,85, -R$ 229.482,51 e -R$ 234.711,55, e investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 258.500,54 e R$ 250.697,25. Para o cenário 2, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 175.539,83, -R$ 181.227,85, -R$ 252.910,80 e -R$ 284.350,37, e investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 270.271,93 e R$ 250.697,25. Para o cenário 3, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 261.855,17, -R$ 273.231,21, -R$ 277.505,46 e -R$ 343.267,74, e investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 281.652,48 e R$ 250.697,25.

#### 4.3.7.1 Comparação dos VPLs utilizando a regressão linear

A Figura 68 apresenta as retas e equações encontradas utilizando a regressão linear dos VPLs de cada hipótese.

Figura 68 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 2.




Fonte: Autoria própria.

A resolução das equações das Hipóteses 1 e 2 com a Hipótese 3 e 4 gerou os valores contidos na Tabela 42, em que os VPLs se tornam maiores para a Hipótese 3 a partir de 462,88 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 563,28 km por dia para a Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 228,23 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 249,91 km por dia à Hipótese 2.

Tabela 42 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 2.

| Hipóteses | Hipótese 3 | | | Hipótese 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia |
| Hipótese 1 | 1.333.094,89 | -476.735,67 | 462,88 | 657.300,85 | -280.169,63 | 228,23 |
| Hipótese 2 | 1.622.232,97 | -531.736,25 | 563,28 | 719.747,70 | -285.424,77 | 249,91 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: Da: Distância percorrida acumulada. VPL: Valor Presente Líquido.

## 4.4 Caso 3 (veículos médios)

O Caso 3 envolve a análise entre o VCI *Nissan Versa Sense* e o *VE BYD Dolphin GS 180EV*.

### 4.4.1 Dados iniciais

A Tabela 43 apresenta as distancias percorridas, consumo da residência e dos veículos que foram utilizados para o referido caso.

Tabela 43 – Dados de consumo e distância para o Caso 3.

| Descrição | *BYD Dolphin GS 180EV* | | | *Nissan Versa Sense* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cenários | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| % Autonomia | 10% | 50% | 100% | | | |
| Distância diária percorrida (km) | 29,10 | 145,50 | 291,00 | 29,10 | 145,50 | 291,00 |
| Distância mensal percorrida (km) | 873 | 4.365 | 8.730 | 873 | 4.365 | 8.730 |
| Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 |
| Consumo EE do VE (Wh/km) | 117,00 | 117,00 | 117,00 | | | |
| Consumo mensal EE VE (kWh) | 103,00 | 511,00 | 1.022,00 | | | |
| Consumo mensal EE (kWh) | 284,00 | 692,00 | 1.203,00 | 181,00 | 181,00 | 181,00 |
| $E_{VEE}$ (%) | 36,27% | 73,84% | 84,95% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| $E_{REE}$ (%) | 63,73% | 26,16% | 15,05% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Consumo combinado gasolina (km/l) | | | | 12,94 | 12,94 | 12,94 |
| Consumo combinado etanol (km/l) | | | | 8,94 | 8,94 | 8,94 |
| Consumo diário gasolina (l) | | | | 2,25 | 11,24 | 22,49 |
| Consumo diário etanol (l) | | | | 3,26 | 16,28 | 32,57 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.4.2 Sistema fotovoltaico

Para a Hipótese 4 e cada cenário, foi utilizada a geração calculada ($G_{SFVCR}$) como parâmetro de entrada para dimensionamento do SFV. O restante de dados de entrada para a simulação pelo programa *Solar Edge Designer* está apresentado na Tabela 44.

Tabela 44 – Dados de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 3.

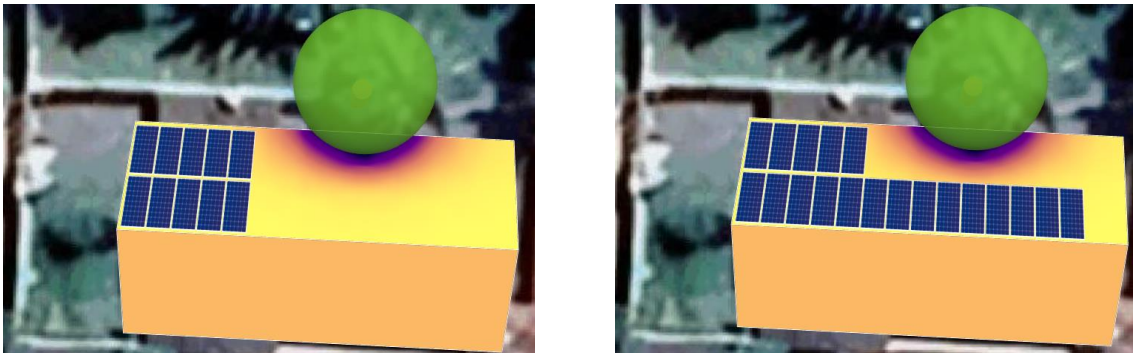
| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $G_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 184 | 592 | 1103 |
| Potência painel (Wp) | 500 | 500 | 500 |
| Nº de painéis | 3 | 10 | 19 |
| Potência sistema (kWp) | 1,50 | 5,00 | 9,50 |
| Inclinação painéis | 15º | 15º | 15º |
| Azimute (graus) | 3º | 3º | 3º |
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190 | 639 | 1197 |

Fonte: Autoria própria.

Um dos resultados fornecidos pelo programa é a energia anual produzida pelo SFV, a qual foi encontrada a média aritmética mensal ($E_{SFVCR}$). Para o Cenário 1, não foi possível fazer a simulação, visto que o sistema apresenta uma potência inferior a 80% da potência do menor inversor disponível no programa. Para esse cenário, foi feito uma estimativa com os dados do Cenário 2.

A Figura 69 apresenta a posição dos painéis no telhado, com a simulação da irradiação. O círculo verde nas imagens é a representação de uma árvore existente.

Figura 69 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*.



(a) Cenário 2 (b) Cenário 3

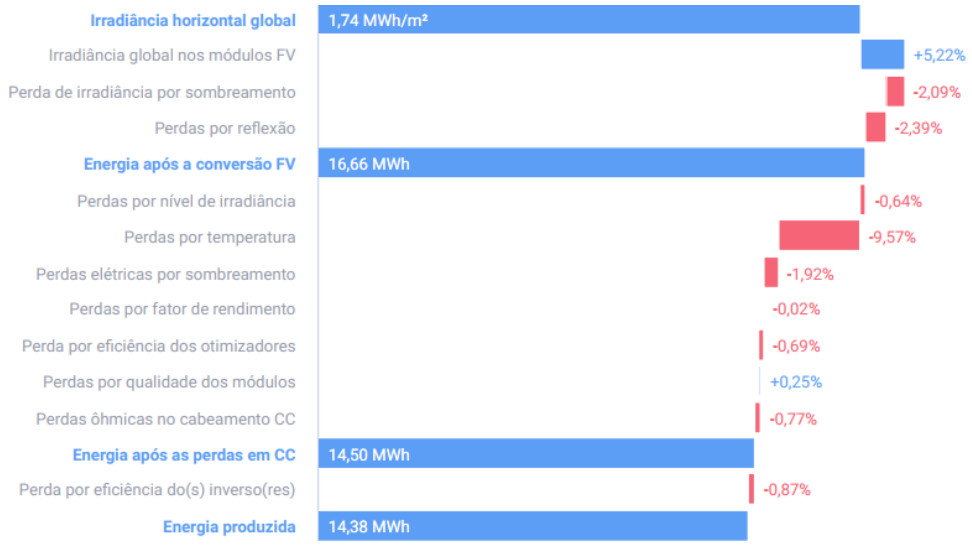
Fonte: Solar Edge (2023)

A Figura 70 e Figura 71 apresentam os resultados referentes a geração de energia considerando as perdas do sistema para os cenários 2 e 3. Os valores mostrados são anuais.

Figura 70 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais.

Fonte: Solar Edge (2023)

Figura 71 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais.




Fonte: *Solar Edge* (2023)

### 4.4.2.1 Consumo de energia elétrica para a Hipótese 4

Para a Hipótese 4, que se enquadra no sistema de faturamento classificado como GD II, foram calculados os valores a serem cobrados pela distribuidora do cliente e estão apresentados na Tabela 45.

Tabela 45 – *Cálculo de* consumo e energia injetada para a geração distribuída.

| Item | Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Consumo mensal EE (kWh) | 284 | 692 | 1203 |
| 2 | Consumo mensal EE VE (kWh) | 103 | 511 | 1022 |
| 3 | Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 |
| 4 | Autoconsumo médio residência (kWh) | 66,83 | 66,83 | 66,83 |
| 5 | Item 3 – Item 4 | 114,17 | 114,17 | 114,17 |
| 6 | Item 2+ Item 5 | 217,17 | 625,17 | 1136,17 |
| 7 | $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 639,00 | 1197,00 |
| 8 | Item 7 – Item 4 | 123,17 | 572,17 | 1130,17 |
| 9 | $E_{Inj}$ (kWh) | 117,17 | 525,17 | 1036,17 |
| 10 | $E_{GD}$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | Item 8 – Item 9 | 6,00 | 47,00 | 94,00 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. VE: Veículo elétrico. $E_{SFVCR}$: Energia média mensal gerada pelo sistema fotovoltaico. Item 5: Energia a ser consumida da rede somente pela residência. Item 6: Energia a ser consumida da rede pela unidade consumidora. Item 8: Saldo entre energia gerada do sistema fotovoltaico e a autoconsumida pela residência. Item 9: diferença entre o item 6 e o custo de disponibilidade de 100 kWh. Item 11: Saldo da energia a ser utilizada como crédito em contas futuras.

Sendo a energia injetada (Einj) informada para os 3 cenários conforme item 9 da Tabela 45, com os valores de 117,17 kWh, 525,17 kWh e 1036,17 kWh. Para o consumo de energia ($E_{GD}$), ítem 10 da mesma tabela, de 100 kWh para os 3 cenários.

### 4.4.3 Custos

#### 4.4.3.1 Custos do sistema fotovoltaico ($C_{SFVCR}$)

Os custos para o SFVCR estão mostrados na Tabela 59 e foram calculados conforme a Equação (23). Como o SFVCR é utilizado tanto para atender o consumo da residência como da recarga da bateria do veículo elétrico, foi feito o rateio, sendo o custo adquirido para o VE ($C_{VSFVCR}$) de acordo a Equação (24) e para a residência ($C_{RSFVCR}$) de acordo a Equação (25). O rateio foi baseado nos consumos individuais com a geração do SFVCR ($G_{SFVCR}$). A tabela também mostra os custos com a aquisição ($C_{AQSFVCR}$) e custos com a limpeza ($C_{LSFVCR}$).

Tabela 46 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 3.

| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 639,00 | 1.197,00 |
| $C_{AQSFVCR}$ (R$) | 7.803,29 | 18.126,25 | 30.955,23 |
| $C_{LSFVCR}$ (R$) | 6.158,56 | 6.158,56 | 6.158,56 |
| $C_{SFVCR}$ (R$) | 13.961,85 | 24.284,81 | 37.113,79 |
| $E_V$ (kWh) | 103,00 | 511,00 | 1.022,00 |
| $E_D$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| $E_R$ (kWh) | 81,00 | 81,00 | 81,00 |
| $G_{SFVCR}$ (kWh) | 184,00 | 592,00 | 1.103,00 |
| $C_{VSFVCR}$ (%) | 55,98% | 86,32% | 92,66% |
| $C_{RSFVCR}$ (%) | 44,02% | 13,68% | 7,34% |
| $C_{VSFVCR}$ (R$) | 7.815,60 | 20.962,06 | 34.388,30 |
| $C_{RSFVCR}$ (R$) | 6.146,25 | 3.322,75 | 2.725,49 |

Fonte: Autoria própria.

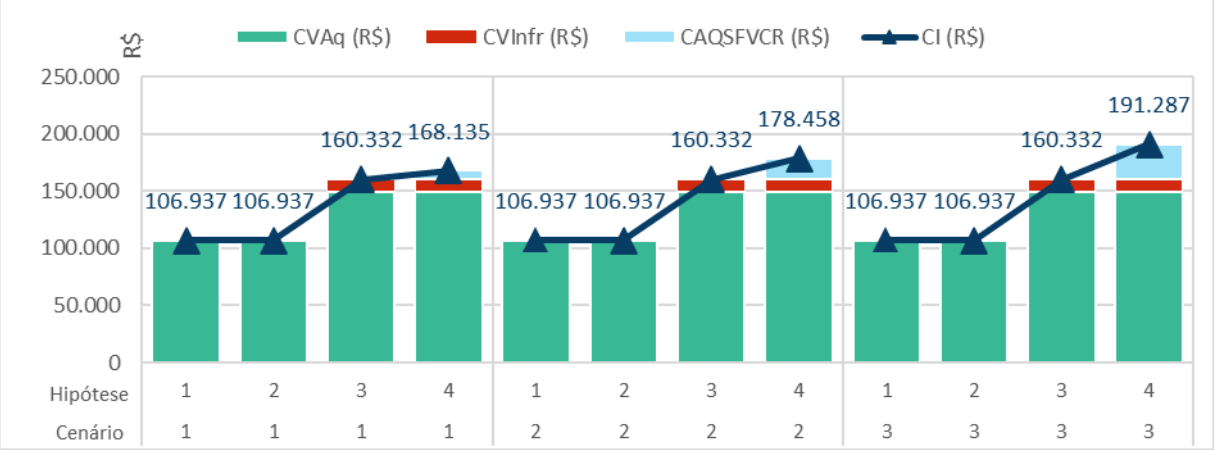
Notas: $E_V$: Energia elétrica consumida pelo veículo elétrico. $E_D$: custo de disponibilidade do sistema. $E_R$: energia elétrica consumida pela residência descontado o ED.

Assim, quanto maior a distância percorrida pelo VE, maior o consumo de energia, fazendo com que seja necessária uma maior potência instalada do sistema fotovoltaico, que por sua vez, possui custos maiores. Para o rateio, o custo adquirido para a residência diminui, dado que sua participação no consumo total de energia diminui e incrementa a do VE.

### 4.4.3.2 Custo inicial ($C_I$)

O $C_I$ é calculado conforme a Equação (14), que também é o investimento inicial na análise financeira. O *Nissan Versa Sense* tem um custo de aquisição de R$ 106.937,00 e o *BYD Dolphin GS 180EV* de R$ 149.802,00. Portanto, uma diferença de preço de R$ 42.865,00 entre os veículos. Sendo que para Hipótese 3, o VE possui o custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga ($C_{VInf}$), que está descrito no Tópico 4.1.3. A Hipótese 4, ainda possui a componente de custo da aquisição do sistema fotovoltaico ($C_{AQSFVCR}$), descrito no tópico 4.2.3.1. Assim, a Hipóteses 4 possui um aumento do $C_I$ dado a mudança de cenários. Para o Cenário 1, um custo de R$ 168.135,45, Cenário 2, R$ 178.458,41 e Cenário 3 tenha um custo de R$ 191.287,38. A Figura 72 apresenta as componentes de custos do $C_I$.

Figura 72 – Custo inicial para o Caso 3.



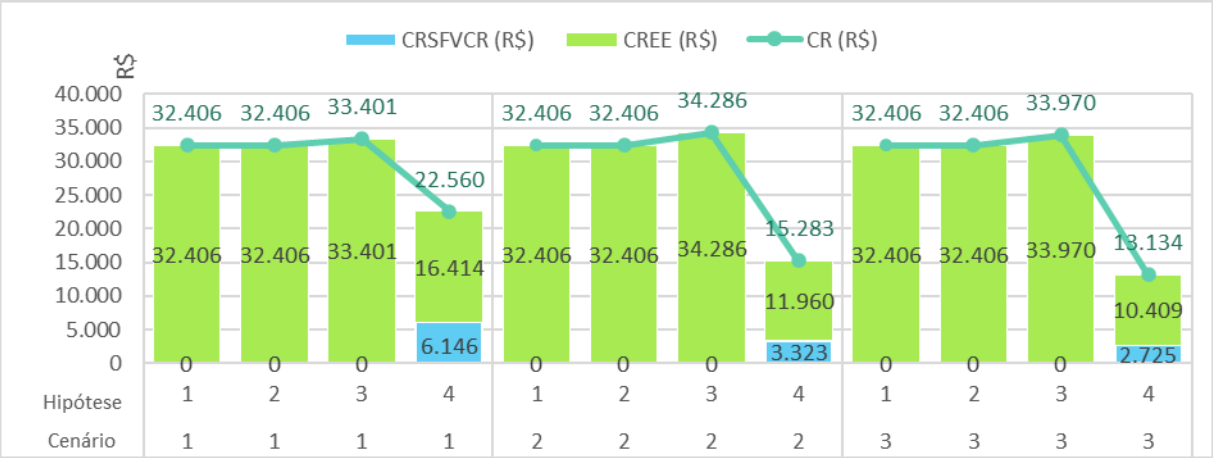

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VAq}$: Custo de aquisição do veículo. $C_{VInfr}$: Custo do veículo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga. $C_{AQSFVCR}$: Custo com a aquisição do sistema fotovoltaico.

### 4.4.3.3 Custo residência ($C_R$)

O $C_R$ é calculado conforme a Equação (17) e possui duas componentes de custo: a componente do sistema fotovoltaico e do consumo de energia elétrica que estão mostradas na Figura 73.

Figura 73 – Custo da residência para o Caso 3.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_{REE}$: Custo da residência com energia elétrica. $C_{RSFVCR}$: Custo absorvido pela residência com o sistema fotovoltaico.

Os valores para as Hipóteses 1 e 2 são os mesmos em todos os cenários, visto que não há alteração de consumo de energia elétrica. Para a Hipótese 3, o Cenário 3 tem um custo menor do que o Cenário 2, isto ocorre devido ao rateio dos custos com a fatura de energia elétrica com o VE que estão mostrados na Tabela 47. Para o Cenário 2 a residência tem a participação de 26,16% e no Cenário 3 de 15,05%. Para a Hipótese 4, em todos os cenários a inserção do SFV gera diminuição dos custos com energia elétrica.

Tabela 47 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3.

| Cenários | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Consumo mensal EE (kWh) | 284 | 692 | 1203 |
| $E_{VEE}$ (%) | 36,27% | 73,84% | 84,95% |
| $E_{REE}$ (%) | 63,73% | 26,16% | 15,05% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.4.3.4 Custos do veículo

Nesse tópico são apresentados os custos associados ao veículo.

#### 4.4.3.4.1 Custos com a revisão mecânica dos veículos ($C_{VRev}$)

Os $C_{VRev}$ estão mostrados na Tabela 48 e foram consultados em 24 de agosto de 2023. Eles sofreram a atualização monetário do índice IGP-M de 0,7619%. Como há alteração da distância diária percorrida em cada cenário, o veículo alcançará a quilometragem de revisão

em um tempo menor fazendo com que o custo total de revisão no final de 96 meses seja diferente.

Tabela 48 – Custos revisão para o Caso 3.

| Veículo | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 40.000 | 50.000 | 60.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Nissan Versa Sense* | 558,00 | 831,00 | 558,00 | 831,00 | 558,00 | 831,00 |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | 400,00 | 1.040,00 | 400,00 | 1.040,00 | 400,00 | 1.040,00 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.3.4.2 Custos com o licenciamento ($C_{VLic}$).

Os $C_{VLic}$ para o Caso 3 estão informados na Tabela 49.

Tabela 49 – Custos com licenciamento para o Caso 3.

| Nº Mês | *Nissan Versa Sense* | *BYD Dolphin GS 180EV* |
|---|---|---|
| | $C_{VLIC}$ (R$) | $C_{VLIC}$ (R$) |
| 0 | 214,72 | 214,72 |
| 8 | 231,99 | 231,99 |
| 20 | 260,52 | 260,52 |
| 32 | 292,57 | 292,57 |
| 44 | 328,56 | 328,56 |
| 56 | 368,98 | 368,98 |
| 68 | 414,36 | 414,36 |
| 80 | 465,33 | 465,33 |
| 92 | 522,57 | 522,57 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.3.4.3 Custos com o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores ($C_{VIPVA}$)

Os $C_{VIPVA}$ para os veículos do Caso 3 estão informados na Tabela 50.

Tabela 50 – Custos com IPVA para o Caso 3.

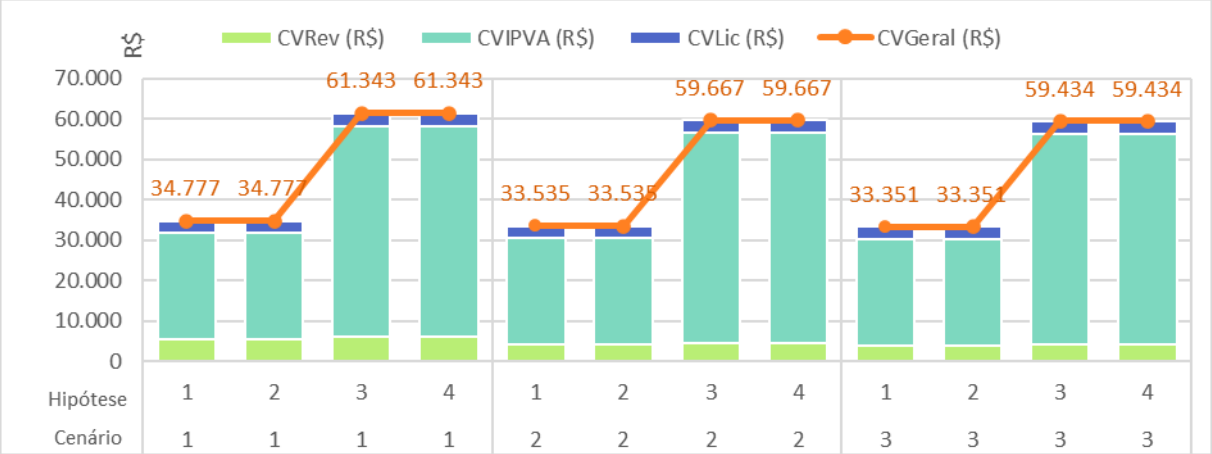
| Nº Mês | *Nissan Versa Sense* | | *BYD Dolphin GS 180EV* | |
|---|---|---|---|---|
| | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) |
| 0 | 106.937,00 | 1.336,71 | 149.802,00 | 1.872,53 |
| 6 | 104.933,89 | 3.148,02 | 146.995,95 | 4.409,88 |
| 18 | 101.039,52 | 3.031,19 | 141.540,56 | 4.246,22 |
| 30 | 97.289,69 | 2.918,69 | 136.287,63 | 4.088,63 |
| 42 | 93.679,02 | 2.810,37 | 131.229,65 | 3.936,89 |
| 54 | 90.202,35 | 2.706,07 | 126.359,38 | 3.790,78 |
| 66 | 86.854,72 | 2.605,64 | 121.669,86 | 3.650,10 |
| 78 | 83.631,32 | 2.508,94 | 117.154,38 | 3.514,63 |
| 90 | 80.527,55 | 2.415,83 | 112.806,49 | 3.384,19 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.3.4.4 Custo geral do veículo ($C_{VGeral}$)

Os $C_{VGeral}$ envolvem os custos com impostos e revisão mecânica e são calculados conforme a Equação (35) e estão apresentados na Figura 74. Eles se alteram com a mudança do veículo e dos cenários, devido ao custo com a revisão calculados até 60.000 km. Esses valores foram atualizados mensalmente, dado o IGP-M.

Figura 74 – Componentes do custo geral para o Caso 3.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VRev}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo. $C_{VGeral}$: Custo geral do veículo.

#### 4.4.3.4.5 Custo de aquisição($C_{VAq}$) e valor de revenda ($V_{Rev}$)

Os valores com a aquisição ($C_{VAq}$) e, após 96 meses, a revenda ($V_{Rev}$), dos dois veículos, dado a taxa de revenda mensal (TR) de 0,149% e -0,201%, respectivamente para *o Nissan Versa Sense e o BYD Dolphin GS 180EV*, estão mostrados na Tabela 51.

Tabela 51 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 3.

| Hipótese | Veículo | $C_{VAq}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) | TR (%) |
|---|---|---|---|---|
| Hipótese 1 e 2 | *Nissan Versa Sense* | 106.937,00 | 104.244,85 | -0,31% |
| Hipótese 3 e 4 | *BYD Dolphin GS 180EV* | 149.802,00 | 146.030,72 | -0,31% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{Vaq}$: Custo de aquisição do veículo. $V_{Rev}$: Valor de revenda do veículo. TR: Taxa de revenda mensal.

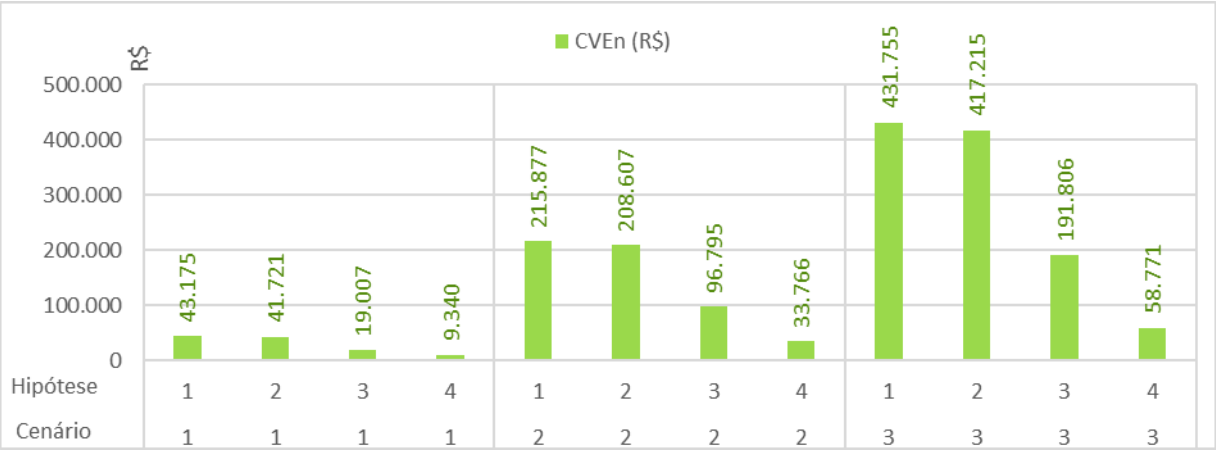
#### 4.4.3.4.6 Custo com energia ($C_{VEn}$)

Em todos os cenários e Hipóteses com o VCI, o uso do etanol possui valores mais baixos do que a da gasolina. O mesmo se repete com o VE que usando a energia proveniente do SFV

demonstra ter um custo menor do que utilizando energia elétrica somente fornecida pela concessionária.

Em todos os cenários, as Hipóteses 3 e 4 possuem os $C_{VEn}$ menores dos que as Hipóteses 2 e 3, mostrando que o uso da energia elétrica como combustível é mais barata que a gasolina ou o etanol. O detalhamento do $C_{VEn}$ está mostrado na Figura 75.

Figura 75 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$) para o Caso 3.

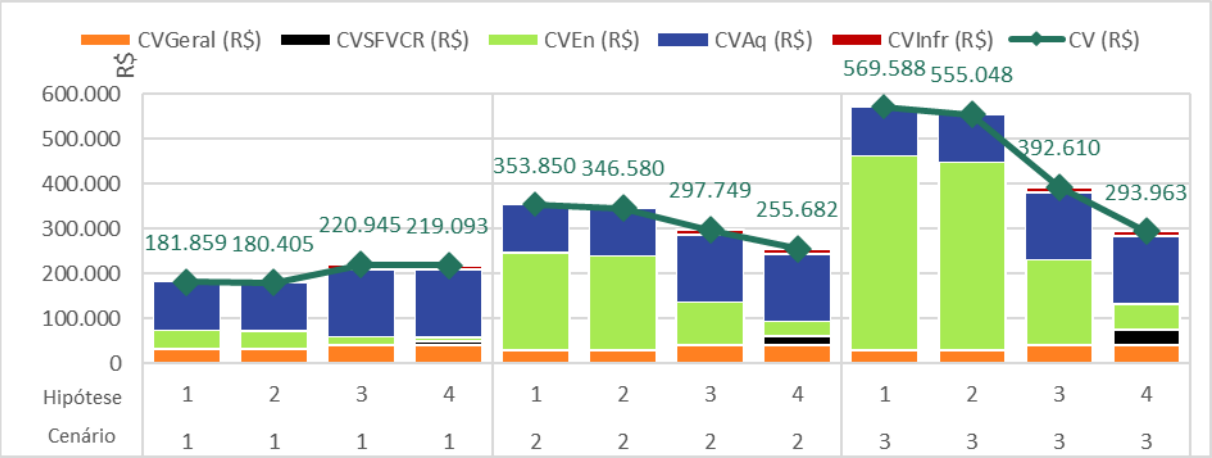



Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.3.4.7 Custo com o veículo ($C_V$)

O $C_V$ é calculado conforme a Equação (15). A Figura 76 apresenta as componentes associadas ao veículo. O $C_V$ sofre incremento para os diferentes cenários, tendo alternância entre os custos mais baixos, sendo que, para os Cenário 1, a Hipótese 2 é a menor com o valor de R$ 180.404,65. Para os Cenários 2 e 3, a Hipótese 3 possui os menores custos, sendo estes R$ 255.681,81 e R$ 293.963,05 respectivamente.

Figura 76 – Componentes do custo do veículo para o Caso 3.



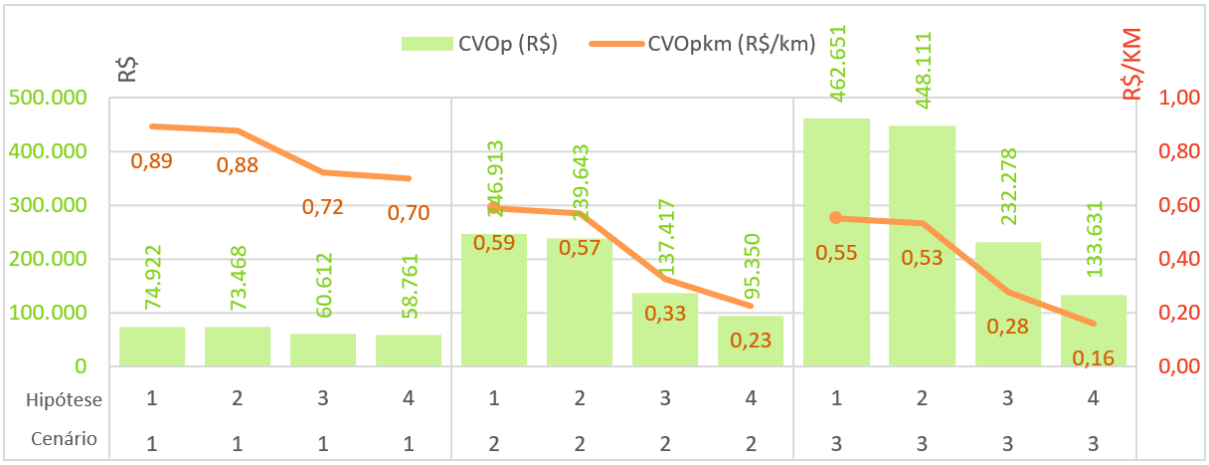

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VREV}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: : Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo.

### 4.4.3.4.8 Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo médio por km ($C_{VOpkm}$)

De acordo as Equações (38) e (39) foi montado a Figura 64. Ele mostra a variação dos custos na fase de uso dos veículos e esses custos por quilômetro. Da análise gráfica, conclui-se que quanto maior a distância percorrida diariamente, maior o custo operacional. Porém, quando isso é visto por quilometro percorrido, o custo médio se reduz.

Figura 77 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 3.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VOp}$: Custo operacional do veículo. $C_{VOpkm}$: Custo operacional do veículo por km percorrido.

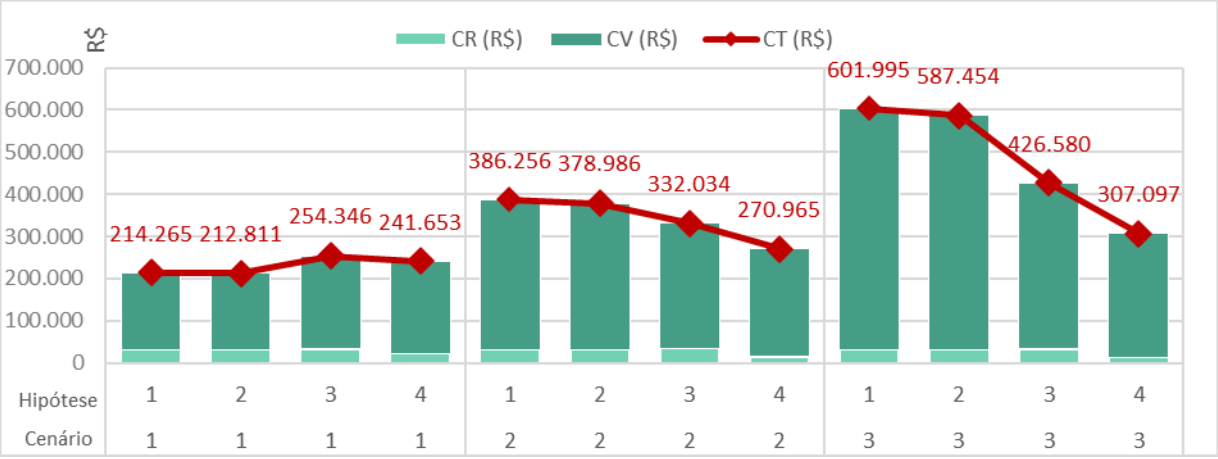
Vale ressaltar que esse trabalho não considerou os custos com a substituição de peças e equipamentos, como por exemplo, para o Cenário 3, com um total de 463.680 km percorridos pelo veículo, que dado a quilometragem de 160.000 km ou 96 meses para a troca

da bateria de 44,9 kWh do VE, seriam necessárias, ao menos, 5 substituições. O preço da troca de cada bateria do VE é estimado em R$ 46.502,93 para fevereiro de 2023.

### 4.4.4 Custo total ($C_T$)

O $C_T$ é calculado de acordo a Equação (19) e, juntamente, com as componentes $C_V$ e $C_R$ estão mostradas na Figura 78. O custo total ($C_T$) apresentou a seguinte ordem crescente de custo. Para os Cenários 1: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para os Cenários 2 e 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2, e Hipótese 1.

Figura 78 – Custo total ($C_T$) para o Caso 3.



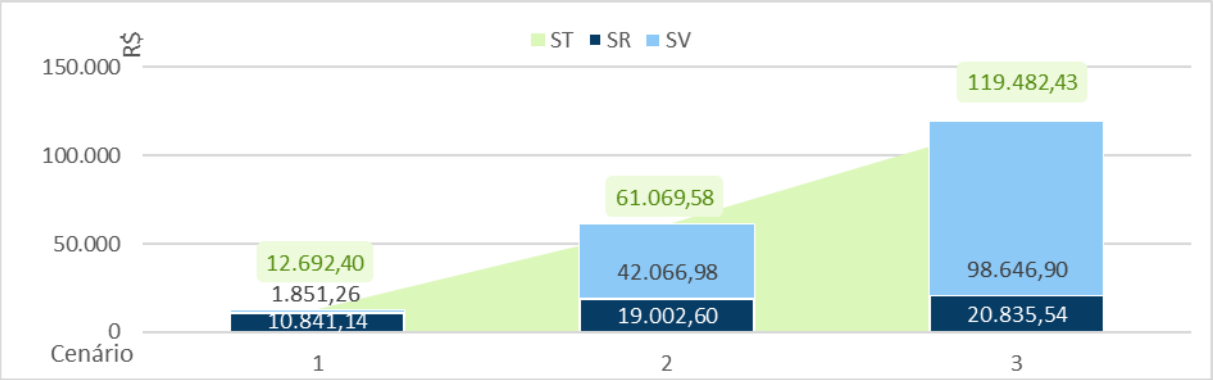

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Valor da residência. $C_V$: Custo do veículo. $C_T$: Custo total.

### 4.4.5 Economia com o sistema fotovoltaico

A comparação entre as Hipóteses 3 e 4 permitiu determinar a economia de dinheiro com a utilização do SFV, sendo mostrada na Figura 79, para as componentes de custo da residência, veículo e a economia total. Para o Cenário 3, a economia entre essas duas hipóteses foi de R$ 119.482,43.

Figura 79 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 3.



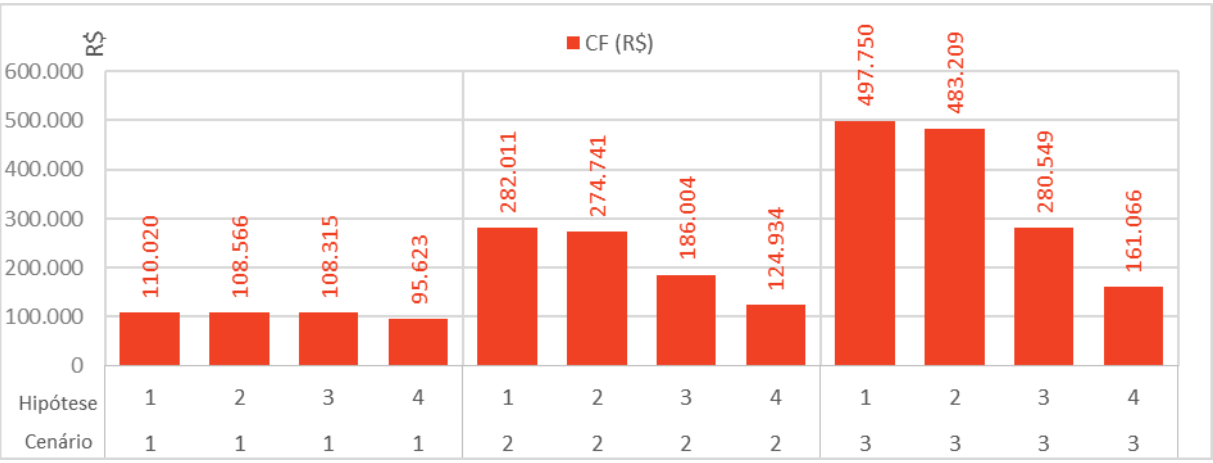

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_V$: Custo do veículo. $C_T$: Custo total.

### 4.4.6 Custo final ($C_F$)

Sendo os valores de aquisição e revenda do VE superiores ao VCI, fez-se necessário a análise do custo final que foi definido de acordo com a Equação (21), e está apresentado na Figura 80.

Figura 80 – Custo final ($C_F$) para o Caso 3.




Fonte: Autoria própria.

O $C_F$ apresentou a seguinte ordem de custos, do mais baixo para o mais alto. Para os Cenários 1 a 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1.

### 4.4.7 Análise de viabilidade financeira

As análises de viabilidade financeira entre o *Nissan Versa Sense* e *o BYD Dolphin GS 180EV*, de cada cenário e hipótese foram calculadas conforme a Equação (61) e estão apresentadas em ordem do maior VPL para o menor na Tabela 52, Tabela 53 e Tabela 54. Foi considerada a taxa de atratividade (TA) de 1,042%.

Tabela 52 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -108.488,43 | -134.136,98 |
| 2 | Hipótese 1 | -108.488,43 | -134.800,36 |
| 3 | Hipótese 4 | -170.222,69 | -160.427,58 |
| 4 | Hipótese 3 | -162.419,40 | -165.188,01 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 53 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 4 | -180.545,65 | -182.208,15 |
| 2 | Hipótese 3 | -162.419,40 | -212.302,07 |
| 3 | Hipótese 2 | -108.488,43 | -236.770,87 |
| 4 | Hipótese 1 | -108.488,43 | -240.087,73 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 54 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 4 | -193.374,63 | -207.562,74 |
| 2 | Hipótese 3 | -162.419,40 | -268.153,10 |
| 3 | Hipótese 2 | -108.488,43 | -363.998,37 |
| 4 | Hipótese 1 | -108.488,43 | -370.632,10 |

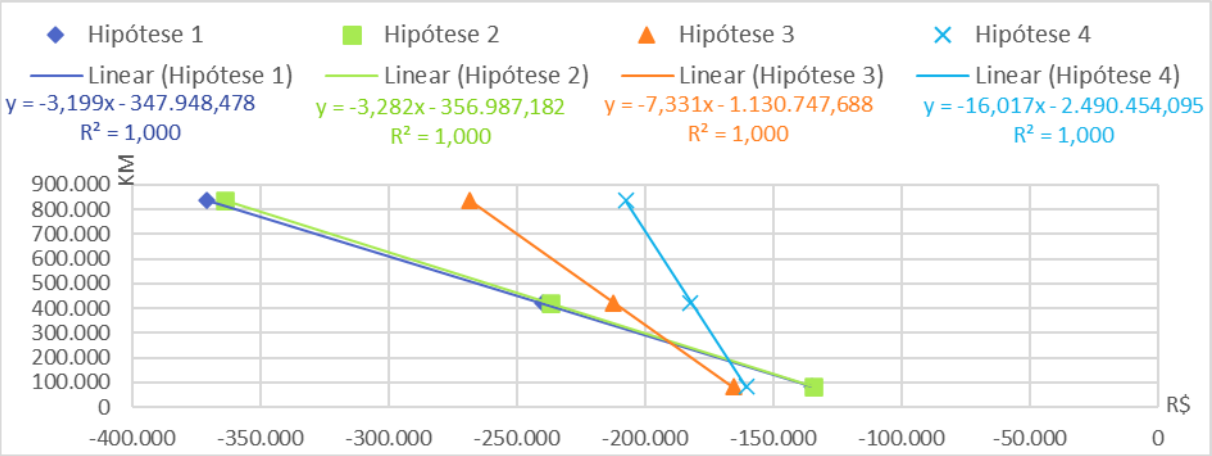
Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 3 e Cenário 1, entre o *Nissan Versa Sense* e o *BYD Dolphin GS 180EV*, a ordem dos melhores investimentos da análise financeira, dado o maior valor do VPL, foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 134.136,98, -R$ 134.800,36, -R$ 160.427,58 e -R$ 165.188,01, e investimento inicial de: R$ 108.488,43, R$ 108.488,43, R$ 170.222,69 e R$ 162.419,40. Para o cenário 2, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1. Com os respectivos VPL: -R$ 182.208,15, -R$ 212.302,07, -R$ 236.770,87 e -R$ 240.087,73, e investimento inicial de: R$ 180.545,65, R$ 162.419,40, R$ 108.488,43 e R$ 108.488,43. Para o cenário 3, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1. Com os respectivos VPL: -R$ 207.562,74, -R$ 268.153,10, -R$ 363.998,37 e -R$ 370.632,10, e investimento inicial de: R$ 193.374,63, R$ 162.419,40, R$ 108.488,43 e R$ 108.488,43.

#### 4.4.7.1 Comparação dos VPLs utilizando a regressão linear

A Figura 81 apresenta as retas e equações encontradas utilizando a regressão linear dos VPLs de cada hipótese.

Figura 81 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 3.




Fonte: Autoria própria.

A resolução das equações das Hipóteses 1 e 2 com a Hipótese 3 e 4 gerou os valores contidos na Tabela 55, em que os VPLs se tornam maiores para a Hipótese 3 a partir de 89,62 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 93,82 km por dia para a Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 64,85 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 66,96 km por dia à Hipótese 2.

Tabela 55 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 3.

| Hipóteses | Hipótese 3 | | | Hipótese 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia |
| Hipótese 1 | 258.095,73 | -189.448,02 | 89,62 | 186.758,61 | -167.148,20 | 64,85 |
| Hipótese 2 | 270.200,27 | -191.099,16 | 93,82 | 192.839,16 | -167.527,83 | 66,96 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: Da: Distância percorrida acumulada. VPL: Valor Presente Líquido.

## 4.5 Caso 4 (veículos grandes)

O Caso 4 envolve a análise entre o VCI *Nissan Leaf Tekna* e o VE *Toyota Corolla Cross XR 20*.

### 4.5.1 Dados iniciais

A Tabela 56 apresenta as distancias percorridas, consumo da residência e dos veículos que foram utilizados para o referido caso.

Tabela 56 – Dados de consumo e distância para o Caso 4.

| Descrição | *Nissan Leaf Tekna* | | | *Toyota Corolla Cross XR 20* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cenários | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| % Autonomia | 10% | 50% | 100% | | | |
| Distância diária percorrida (km) | 19,20 | 96,00 | 192,00 | 19,20 | 96,00 | 192,00 |
| Distância mensal percorrida (km) | 576 | 2.880 | 5.760 | 576 | 2.880 | 5.760 |
| Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 | 181 |
| Consumo EE do VE (Wh/km) | 162,00 | 162,00 | 162,00 | | | |
| Consumo mensal EE VE (kWh) | 94,00 | 467,00 | 934,00 | | | |
| Consumo mensal EE (kWh) | 275,00 | 648,00 | 1.115,00 | 181,00 | 181,00 | 181,00 |
| $E_{VEE}$ (%) | 34,18% | 72,07% | 83,77% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| $E_{REE}$ (%) | 65,82% | 27,93% | 16,23% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Consumo combinado gasolina (km/l) | | | | 12,29 | 12,29 | 12,29 |
| Consumo combinado etanol (km/l) | | | | 8,56 | 8,56 | 8,56 |
| Consumo diário gasolina (l) | | | | 1,56 | 7,81 | 15,63 |
| Consumo diário etanol (l) | | | | 2,24 | 11,21 | 22,43 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.5.2 Sistema fotovoltaico

Para a Hipótese 4 e cada cenário, foi utilizada a geração calculada ($G_{SFVCR}$) como parâmetro de entrada para dimensionamento do SFV. O restante de dados de entrada para a simulação pelo programa *Solar Edge Designer* está apresentado na Tabela 57.

Tabela 57 – Dados de entrada para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para o Caso 4.

| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $G_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 175 | 548 | 1015 |
| Potência painel (Wp) | 500 | 500 | 500 |
| Nº de painéis | 3 | 9 | 17 |
| Potência sistema (kWp) | 1,50 | 4,50 | 8,50 |
| Inclinação painéis | 15º | 15º | 15º |
| Azimute (graus) | 3º | 3º | 3º |
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190 | 578 | 1057 |

Fonte: Autoria própria.

Um dos resultados fornecidos pelo programa é a energia anual produzida pelo SFV, a qual foi encontrada a média aritmética mensal ($E_{SFVCR}$). Para o Cenário 1, não foi possível fazer a simulação, visto que o sistema apresenta uma potência inferior a 80% da potência do menor inversor disponível no programa. Para esse cenário, foi feito uma estimativa com os dados do Cenário 2.

A Figura 82 apresenta a posição dos painéis no telhado, com a simulação da irradiação. O círculo verde nas imagens é a representação de uma árvore existente.

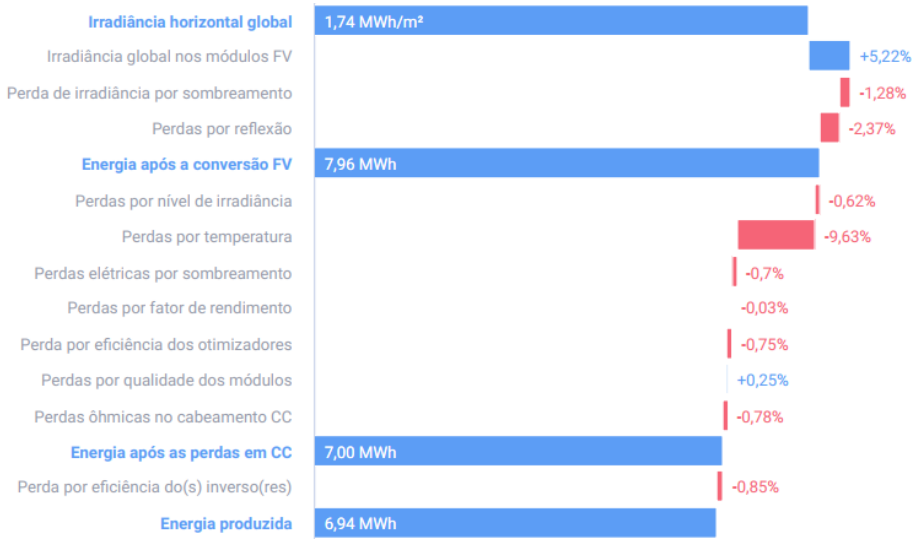
Figura 82 – Localização dos painéis e simulação da irradiação utilizando o programa *Solar Edge Designer*.

(a) Cenário 2 (b) Cenário 3

Fonte: Solar Edge (2023)

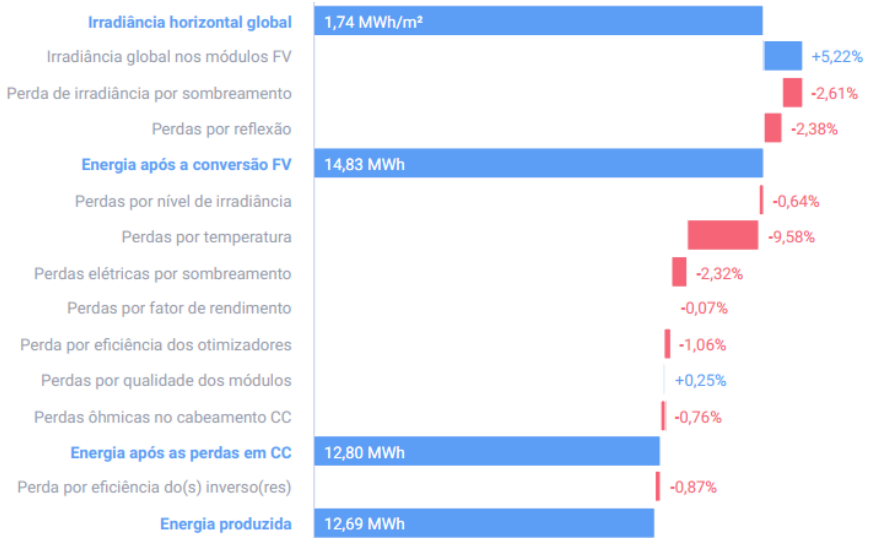
A Figura 83 e Figura 84 apresentam os resultados referentes a geração de energia considerando as perdas do sistema para os Cenários 2 e 3. Os valores mostrados são anuais.

Figura 83 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 2 para valores anuais.




Fonte: Solar Edge (2023)

Figura 84 – Resultado produzido pelo programa *Solar Edge Designer* para o Cenário 3 para valores anuais.




Fonte: *Solar Edge* (2023)

### 4.5.2.1 Consumo de energia elétrica para a Hipótese 4

Para a Hipótese 4, que se enquadra no sistema de faturamento classificado como GD II, foram calculados os valores a serem cobrados pela distribuidora do cliente e estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58 – *Cálculo de* consumo e energia injetada para a geração distribuída.

| Item | Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Consumo mensal EE (kWh) | 275 | 648 | 1115 |
| 2 | Consumo mensal EE VE (kWh) | 94 | 467 | 934 |
| 3 | Consumo EE residência (kWh) | 181 | 181 | 181 |
| 4 | Autoconsumo médio residência (kWh) | 66,83 | 66,83 | 66,83 |
| 5 | Item 3 – Item 4 | 114,17 | 114,17 | 114,17 |
| 6 | Item 2+ Item 5 | 208,17 | 581,17 | 1048,17 |
| 7 | $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 578,00 | 1057,00 |
| 8 | Item 7 – Item 4 | 123,17 | 511,17 | 990,17 |
| 9 | $E_{Inj}$ (kWh) | 108,17 | 481,17 | 948,17 |
| 10 | $E_{GD}$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 11 | Item 8 – Item 9 | 15,00 | 30,00 | 42,00 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. VE: Veículo elétrico. $E_{SFVCR}$: Energia média mensal gerada pelo sistema fotovoltaico. $E_{GD}$: Consumo a ser cobrado do cliente com geração distribuída tipo II. Item 5: Energia a ser consumida da rede somente pela residência. Item 6: Energia a ser consumida da rede pela unidade consumidora. Item 8: Saldo entre energia gerada do sistema fotovoltaico e a autoconsumida pela residência. Item 9: Diferença entre o item 6 e o custo de disponibilidade de 100 kWh. Item 11: Saldo da energia a ser utilizada como crédito em contas futuras.

Sendo a energia injetada ($E_{inj}$) informada para os 3 cenários conforme item 9 da Tabela 32Tabela 19, com os valores de 108,17 kWh, 481,17 kWh e 948,17 kWh. Para o consumo de energia ($E_{GD}$), item 10 da mesma tabela, de 100 kWh para os 3 cenários.

### 4.5.3 Custos

#### 4.5.3.1 Custos do sistema fotovoltaico ($C_{SFVCR}$)

Os custos para o SFVCR estão mostrados na Tabela 59 e foram calculados conforme a Equação (23). Como o SFVCR é utilizado tanto para atender o consumo da residência como da recarga da bateria do veículo elétrico, foi feito o rateio, sendo o custo adquirido para o VE ($C_{VSFVCR}$) de acordo a Equação (24) e para a residência ($C_{RSFVCR}$) de acordo a Equação (25). O rateio foi baseado nos consumos individuais com a geração do SFVCR ($G_{SFVCR}$). A tabela também mostra os custos com a aquisição ($C_{AQSFVCR}$) e custos com a limpeza ($C_{LSFVCR}$).

Tabela 59 – Análise de custos do sistema fotovoltaico para o Caso 4.

| Cenário | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $E_{SFVCR}$ (kWh/mês) | 190,00 | 639,00 | 1.197,00 |
| $C_{AQSFVCR}$ (R$) | 7.803,29 | 18.126,25 | 30.955,23 |
| $C_{LSFVCR}$ (R$) | 6.158,56 | 6.158,56 | 6.158,56 |
| $C_{SFVCR}$ (R$) | 13.961,85 | 24.284,81 | 37.113,79 |
| $E_V$ (kWh) | 103,00 | 511,00 | 1.022,00 |
| $E_D$ (kWh) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| $E_R$ (kWh) | 81,00 | 81,00 | 81,00 |
| $G_{SFVCR}$ (kWh) | 184,00 | 592,00 | 1.103,00 |
| $C_{VSFVCR}$ (%) | 55,98% | 86,32% | 92,66% |
| $C_{RSFVCR}$ (%) | 44,02% | 13,68% | 7,34% |
| $C_{VSFVCR}$ (R$) | 7.815,60 | 20.962,06 | 34.388,30 |
| $C_{RSFVCR}$ (R$) | 6.146,25 | 3.322,75 | 2.725,49 |

Fonte: Autoria própria.

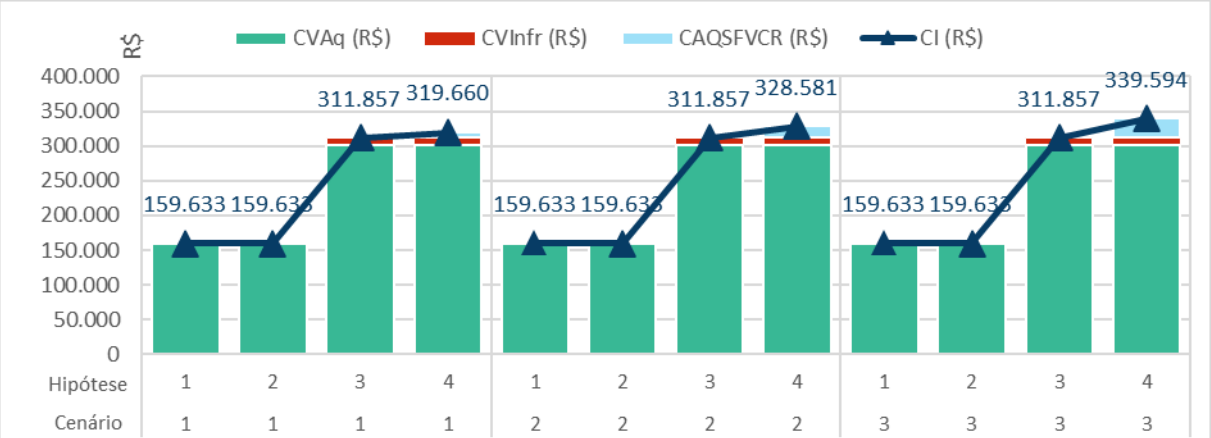
Notas: $E_V$: Energia elétrica consumida pelo veículo elétrico. $E_D$: custo de disponibilidade do sistema. $E_R$: energia elétrica consumida pela residência descontado o ED.

Assim, quanto maior a distância percorrida pelo VE, maior o consumo de energia, fazendo com que seja necessária uma maior potência instalada do sistema fotovoltaico, que por sua vez, possui custos maiores. Para o rateio, o custo adquirido para a residência diminui, dado que sua participação no consumo total de energia diminui e incrementa a do VE.

### 4.5.3.2 Custo inicial ($C_I$)

O $C_I$ é calculado conforme a Equação (14), que também é o investimento inicial na análise financeira. O *Toyota Corolla Cross XR 20* tem um custo de aquisição de R$ 159.633,00 e o *Nissan Leaf Tekna* de R$ 301.327,00. Portanto, uma diferença de preço de R$ 141.694,00 entre os veículos. Sendo que para Hipótese 3, o VE possui o custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga ($C_{VInfr}$), que está descrito no Tópico 4.1.3. A Hipótese 4, ainda possui a componente de custo da aquisição do sistema fotovoltaico ($C_{AQSFVCR}$), descrito no tópico 4.2.3.1. Assim, a Hipóteses 4 possui um aumento do $C_I$ dado a mudança de cenários. Para o Cenário 1, um custo de R$ 319.660,45, Cenário 2, R$ 328.580,95 e Cenário 3 tenha um custo de R$ 339.593,64. A Figura 85 apresenta as componentes de custos do $C_I$.

Figura 85 – Custo inicial para o Caso 4.



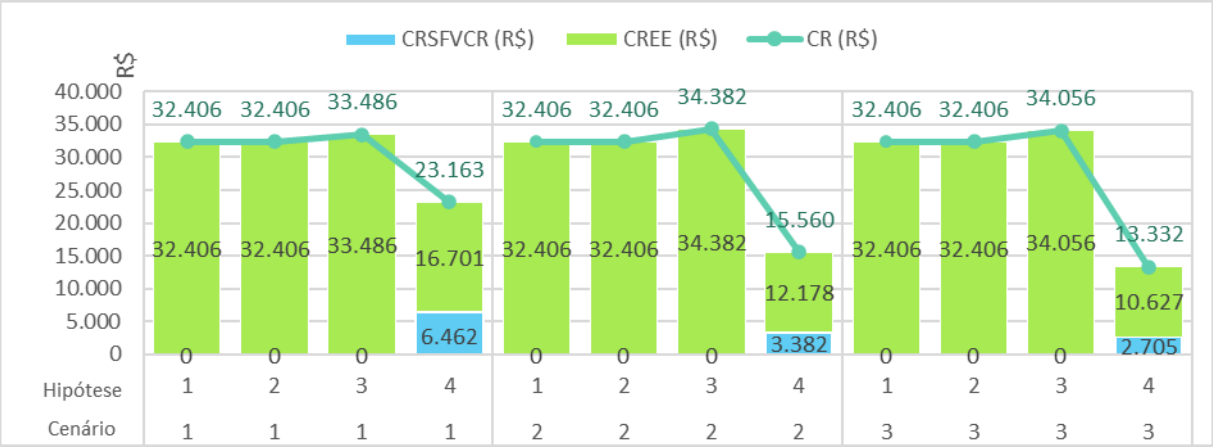

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VAq}$: Custo de aquisição do veículo. $C_{VInfr}$: Custo do veículo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga. $C_{AQSFVCR}$: Custo com a aquisição do sistema fotovoltaico.

### 4.5.3.3 Custo residência ($C_R$)

O $C_R$ é calculado conforme a Equação (17) e possui duas componentes de custo: a componente do sistema fotovoltaico e do consumo de energia elétrica que estão mostrados na Figura 86.

Figura 86 – Custo da residência para o Caso 4.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_{REE}$: Custo da residência com energia elétrica. $C_{RSFVCR}$: Custo absorvido pela residência com o sistema fotovoltaico.

Os valores para as Hipóteses 1 e 2 são os mesmos em todos os cenários, visto que não há alteração de consumo de energia elétrica. Para a Hipótese 3, o Cenário 3 tem um custo menor do que o Cenário 2, isto ocorre devido ao rateio dos custos com a fatura de energia elétrica com o VE que estão mostrados na Tabela 60. Para o Cenário 2 a residência tem a participação de 27,93% e no Cenário 3 de 16,23%. Para a Hipótese 4, em todos os cenários a inserção do SFV gera diminuição dos custos com energia elétrica.

Tabela 60 – Rateio de energia elétrica consumida pelo veículo e residência para a Hipótese 3.

| Cenários | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Consumo mensal EE (kWh) | 275 | 648 | 1115 |
| $E_{VEE}$ (%) | 34,18% | 72,07% | 83,77% |
| $E_{REE}$ (%) | 65,82% | 27,93% | 16,23% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: EE: Energia elétrica. $E_{VEE}$: Rateio de consumo de energia para o veículo elétrico. $E_{REE}$: Rateio de consumo de energia para a residência.

### 4.5.3.4 Custos do veículo

Nesse tópico são apresentados os custos associados ao veículo.

#### 4.5.3.4.1 Custos com a revisão mecânica dos veículos

Os $C_{VRev}$ estão mostrados na Tabela 61 e foram consultados em 24 de agosto de 2023. Eles sofreram a atualização monetário do índice IGP-M de 0,7619%. Como há alteração da distância diária percorrida em cada cenário, o veículo alcançará a quilometragem de revisão

em um tempo menor fazendo com que o custo total de revisão no final de 96 meses seja diferente.

Tabela 61 – Custos revisão para o Caso 4.

| Veículo | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 40.000 | 50.000 | 60.000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Toyota Corolla Cross XR 20* | 509,70 | 948,00 | 723,00 | 1.374,00 | 702,00 | - |
| *Nissan Leaf Tekna* | 261,00 | 900,00 | 261,00 | 900,00 | 261,00 | 900,00 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.5.3.4.2 Custos com o licenciamento ($C_{VLic}$).

Os $C_{VLic}$ para o Caso 4 estão informados na Tabela 62.

Tabela 62 – Custos com licenciamento para o Caso 4.

| Nº Mês | *Toyota Corolla Cross XR 20* | *Nissan Leaf Tekna* |
|---|---|---|
| | $C_{VLIC}$ (R$) | $C_{VLIC}$ (R$) |
| 0 | 214,72 | 214,72 |
| 8 | 231,99 | 231,99 |
| 20 | 260,52 | 260,52 |
| 32 | 292,57 | 292,57 |
| 44 | 328,56 | 328,56 |
| 56 | 368,98 | 368,98 |
| 68 | 414,36 | 414,36 |
| 80 | 465,33 | 465,33 |
| 92 | 522,57 | 522,57 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.5.3.4.3 Custos com o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores ($C_{VIPVA}$)

Os $C_{VIPVA}$ para os veículos do Caso 4 estão informados na Tabela 63.

Tabela 63 – Custos com IPVA para o Caso 4.

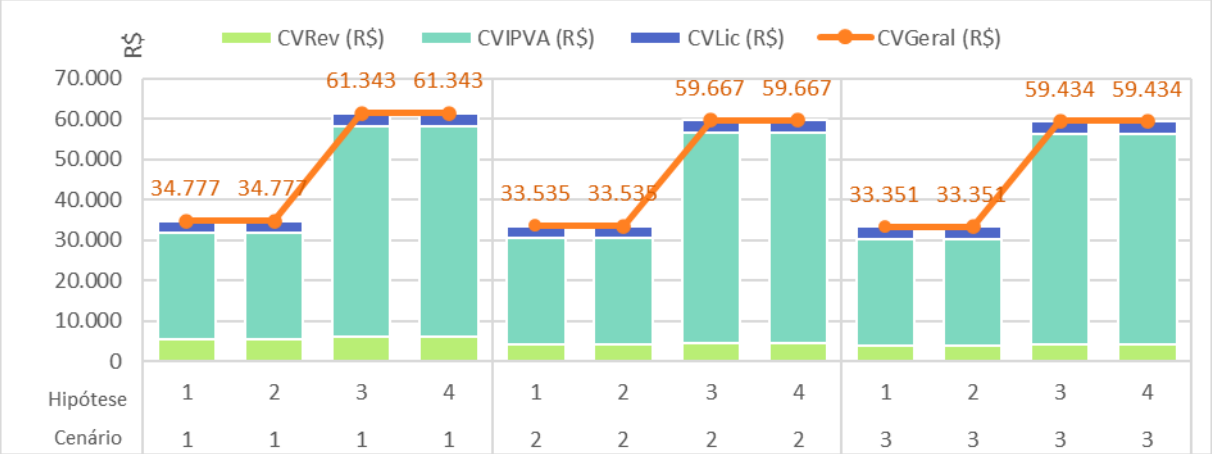
| Nº Mês | *Toyota Corolla Cross XR 20* | | *Nissan Leaf Tekna* | |
|---|---|---|---|---|
| | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | Valor de referência (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) |
| 0 | 159.633,00 | 1.995,41 | 301.327,00 | 3.766,59 |
| 6 | 165.446,37 | 4.963,39 | 294.372,56 | 8.831,18 |
| 18 | 177.715,93 | 5.331,48 | 280.941,50 | 8.428,24 |
| 30 | 190.895,41 | 5.726,86 | 268.123,24 | 8.043,70 |
| 42 | 205.052,29 | 6.151,57 | 255.889,82 | 7.676,69 |
| 54 | 220.259,04 | 6.607,77 | 244.214,57 | 7.326,44 |
| 66 | 236.593,53 | 7.097,81 | 233.072,02 | 6.992,16 |
| 78 | 254.139,40 | 7.624,18 | 222.437,86 | 6.673,14 |
| 90 | 124.443,94 | 3.733,32 | 185.340,77 | 5.560,22 |

Fonte: Autoria própria.

#### 4.5.3.4.4 Custo geral do veículo ($C_{VGeral}$)

Os $C_{VGeral}$ envolvem os custos com impostos e revisão mecânica e são calculados conforme a Equação (35) e estão apresentados na Figura 87. Eles se alteram com a mudança do veículo e dos cenários, devido ao custo com a revisão calculados até 60.000 km. Esses valores foram atualizados mensalmente, dado o IGP-M.

Figura 87 – Componentes do custo geral para o Caso 4.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VRev}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo. $C_{VGeral}$: Custo geral do veículo.

#### 4.5.3.4.5 Custo de aquisição($C_{VAq}$) e valor de revenda ($V_{Rev}$)

Os valores com a aquisição ($C_{VAq}$) e, após 96 meses, a revenda ($V_{Rev}$), dos dois veículos, Dado a taxa de revenda mensal (TR) de 0,60% e -0,39%, respectivamente para o *Toyota Corolla Cross XR 20* e o *Nissan Leaf Tekna* estão mostrados na Tabela 64.

Tabela 64 – Custos com aquisição e revenda para o Caso 4.

| Hipótese | Veículo | $C_{VAq}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) | TR (%) |
|---|---|---|---|---|
| Hipótese 1 e 2 | *Toyota Corolla Cross XR 20* | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,60% |
| Hipótese 3 e 4 | *Nissan Leaf Tekna* | 301.327,00 | 291.987,52 | -0,39% |

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{Vaq}$: Custo de aquisição do veículo. $V_{Rev}$: Valor de revenda do veículo. TR: Taxa de revenda mensal.

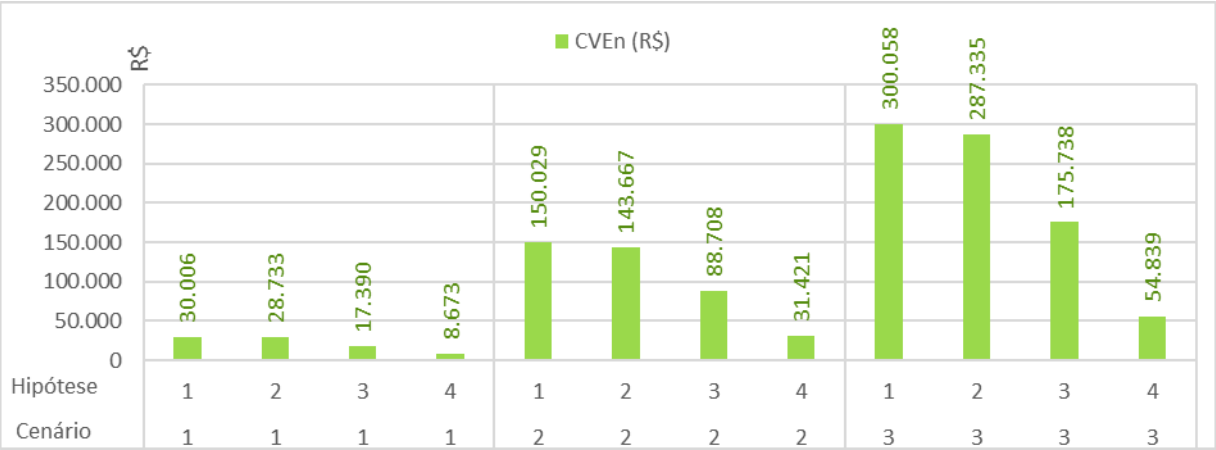
#### 4.5.3.4.6 Custo com energia ($C_{VEn}$)

Em todos os cenários e Hipóteses com o VCI, o uso do etanol possui valores mais baixos do que a da gasolina. O mesmo se repete com o VE que usando a energia proveniente do SFV

demonstra ter um custo menor do que utilizando energia elétrica somente fornecida pela concessionária.

Em todos os cenários, as Hipóteses 3 e 4 possuem os $C_{VEn}$ menores dos que as Hipóteses 2 e 3, mostrando que o uso da energia elétrica como combustível é mais barata que a gasolina ou o etanol. O detalhamento do $C_{VEn}$ está mostrado na Figura 88.

Figura 88 – Custo com energia do veículo ($CV_{En}$) para o Caso 4.

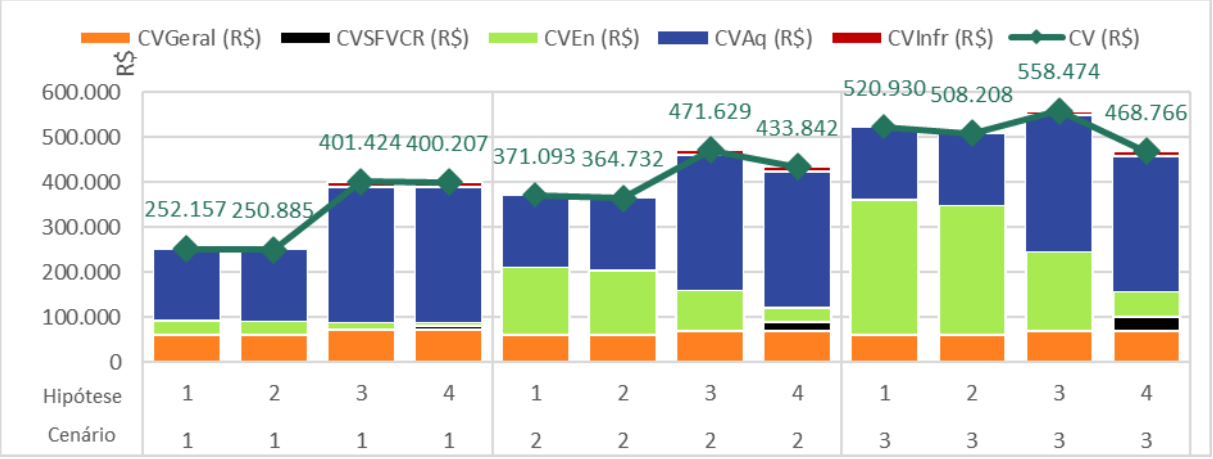



Fonte: Autoria própria.

### 4.5.3.4.7 Custo com o veículo ($C_V$)

O $C_V$ é calculado conforme a Equação (15). A Figura 89 apresenta as componentes associadas ao veículo. O $C_V$ sofre incremento para os diferentes cenários, sendo que, para os Cenários 1 e 2 a Hipótese 2 é a menor, com os valores de R$ 250.884,95 e R$ 364.732,08. Porém, para o Cenário 3, a Hipótese 4 se torna a menor com o valor de R$ 468.765,83.

Figura 89 – Componentes do custo do veículo para o Caso 4.



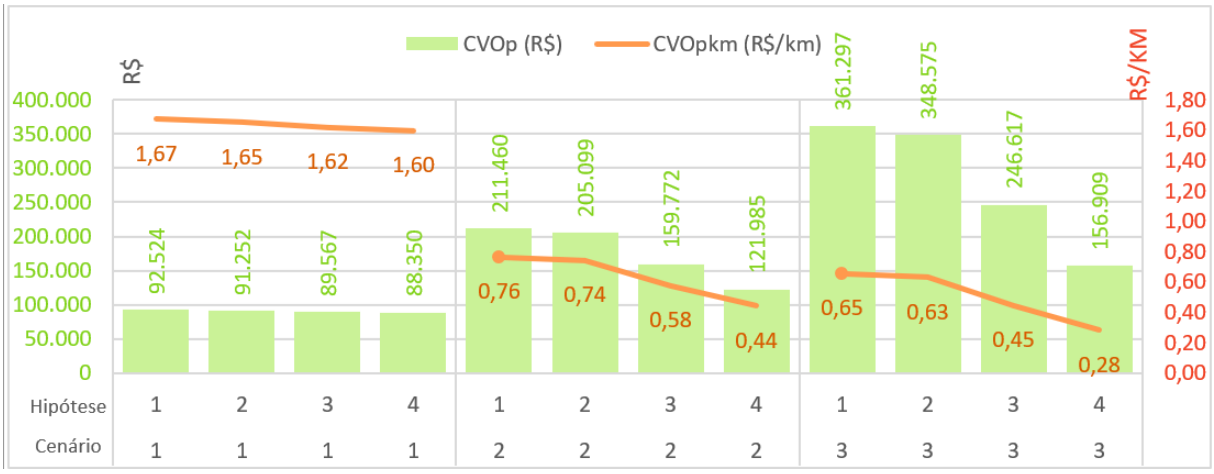

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VREV}$: Custo com revisão mecânica do veículo. $C_{VIPVA}$: : Custo com o IPVA do veículo. $C_{VLic}$: Custo com o licenciamento do veículo.

#### 4.5.3.4.8 Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo médio por km ($C_{VOpkm}$)

De acordo as Equações (38) e (39) foi montada a Figura 90. Ele mostra a variação dos custos na fase de uso dos veículos e esses custos por quilômetro. Da análise gráfica, conclui-se que quanto maior a distância percorrida diariamente, maior o custo operacional. Porém, quando isso é visto por quilometro percorrido, o custo se reduz.

Figura 90 – Custo operacional ($C_{VOp}$) e custo operacional por km ($C_{VOpkm}$) para o Caso 4.




Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_{VOp}$: Custo operacional do veículo. $C_{VOpkm}$: Custo operacional do veículo por km percorrido.

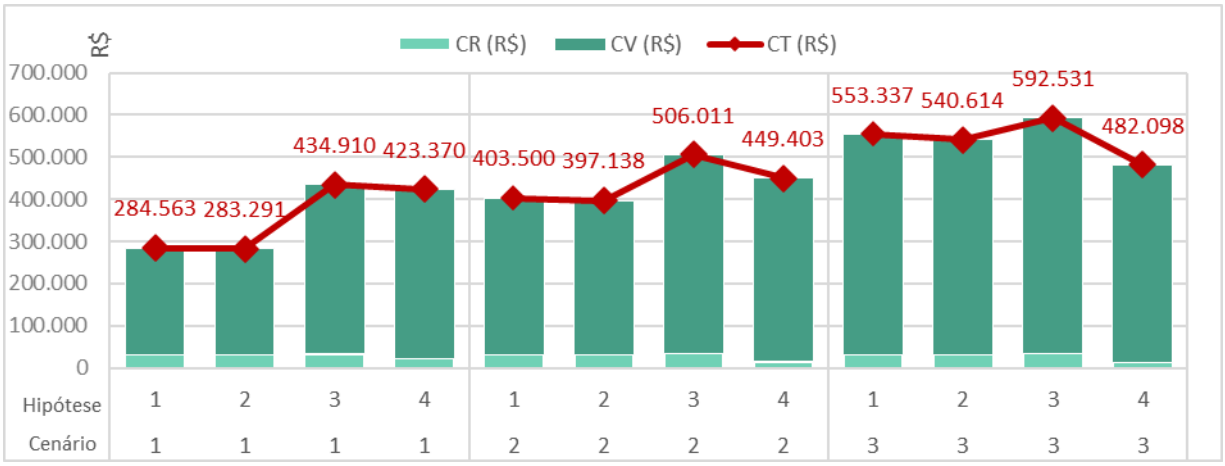
Vale ressaltar que esse trabalho não considerou os custos com a substituição de peças e equipamentos, como por exemplo, para o Cenário 3, com um total de 463.680 km percorridos pelo veículo, que dado a quilometragem de 160.000 km ou 96 meses para a troca da bateria de 40 kWh do VE, seriam necessárias, ao menos, 3 substituições. O preço da troca de cada bateria do VE é estimado em R$ 41.428,00 para fevereiro de 2023.

### 4.5.4 Custo total ($C_T$)

O CT é calculado de acordo a Equação (19) e, juntamente, com as componentes CV e CR estão mostradas na

Figura 91. O custo total (CT) apresentou a seguinte ordem de custo, do mais baixo para o mais alto, para os Cenários 1 e 2: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Cenário 3: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1, e Hipótese 3.

Figura 91 – Custo total ($C_T$) para o Caso 4.



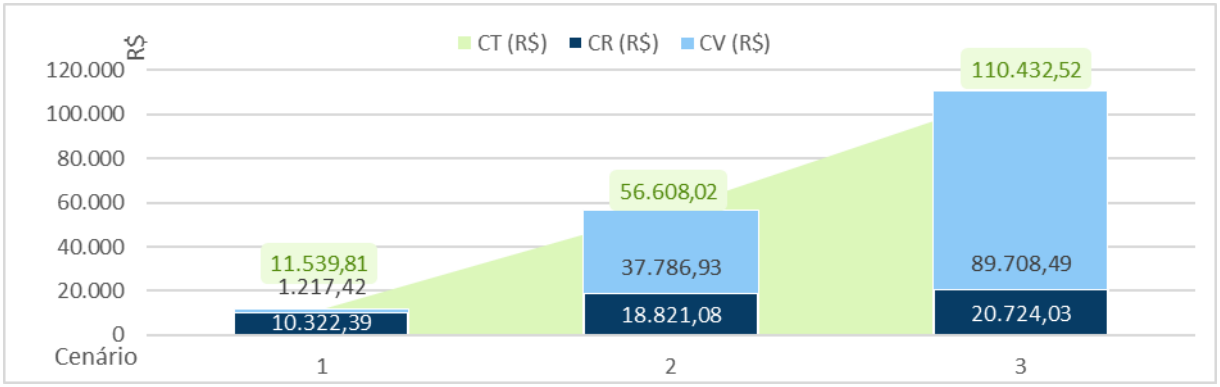

Fonte: Autoria própria.

Notas: $C_R$: Custo da residência. $C_V$: Custo do veículo.

### 4.5.5 Economia com o sistema fotovoltaico

A comparação entre as Hipóteses 3 e 4 permitiu determinar a economia de dinheiro com a utilização do SFV, sendo mostrada na Figura 92, para as componentes de custo da residência, veículo e a economia total. Para o Cenário 3, a economia entre essas duas hipóteses foi de R$ 110.432,52.

Figura 92 – Economia de dinheiro dado a utilização do sistema fotovoltaico para o Caso 4.



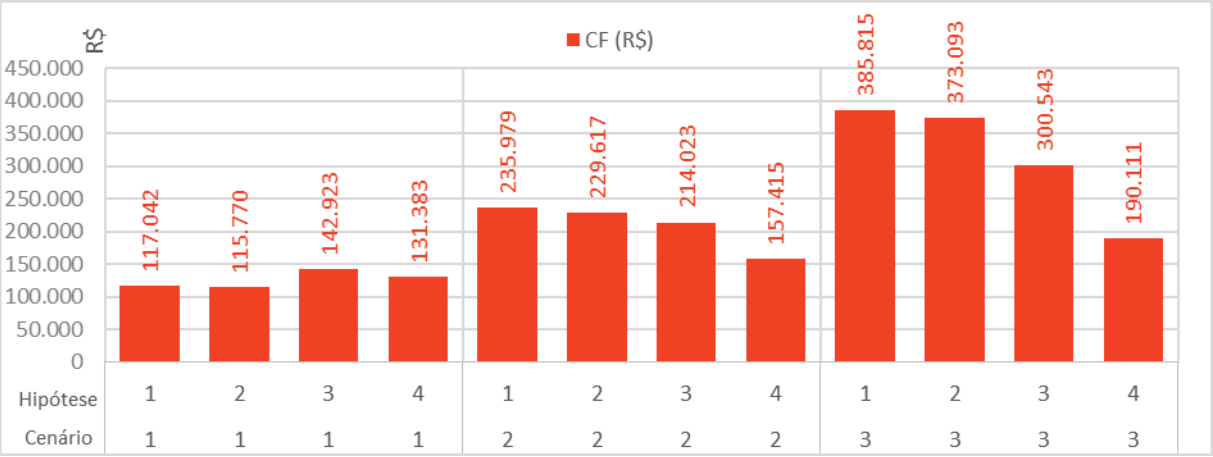

Fonte: Autoria própria.

Notas: $S_R$: Valor da economia para a residência. $S_V$: Valor da economia para o veículo. $S_T$: Valor da economia total.

### 4.5.6 Custo final ($C_F$)

Sendo os valores de aquisição e revenda do VE superiores ao VCI, fez-se necessário a análise do custo final que foi definido de acordo com a Equação (21), e está apresentado na Figura 93.

Figura 93 – Custo final ($C_F$) para o Caso 4.




Fonte: Autoria própria.

O $C_F$ apresentou a seguinte ordem de custos, do mais baixo para o mais alto. Para o Cenário 1: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para os Cenários 2 e 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1.

### 4.5.7 Análise de viabilidade financeira

As análises de viabilidade financeira entre o *Toyota Corolla Cross XR 20* e *o Nissan Leaf Tekna*, de cada cenário e hipótese foram calculadas conforme a Equação (61) e estão apresentadas em ordem do maior VPL para o menor na Tabela 65, Tabela 66 e Tabela 67. Foi considerada a taxa de atratividade (TA) de 1,042%.

Tabela 65 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 1, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -161.843,13 | -173.959,68 |
| 2 | Hipótese 1 | -161.843,13 | -174.580,29 |
| 3 | Hipótese 4 | -323.641,75 | -279.113,85 |
| 4 | Hipótese 3 | -315.838,46 | -283.171,35 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 66 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 2, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 2 | -161.843,13 | -244.324,75 |
| 2 | Hipótese 1 | -161.843,13 | -247.427,78 |
| 3 | Hipótese 4 | -332.562,26 | -298.071,62 |
| 4 | Hipótese 3 | -315.838,46 | -326.003,16 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 67 – Análise de viabilidade financeira para o Cenário 3, ordenada do maior para o menor VPL.

| Ordem | Hipótese | Investimento (R$) | VPL (R$) |
|---|---|---|---|
| 1 | Hipótese 4 | -343.574,95 | -320.810,54 |
| 2 | Hipótese 2 | -161.843,13 | -331.977,18 |
| 3 | Hipótese 1 | -161.843,13 | -338.183,24 |
| 4 | Hipótese 3 | -315.838,46 | -377.158,51 |

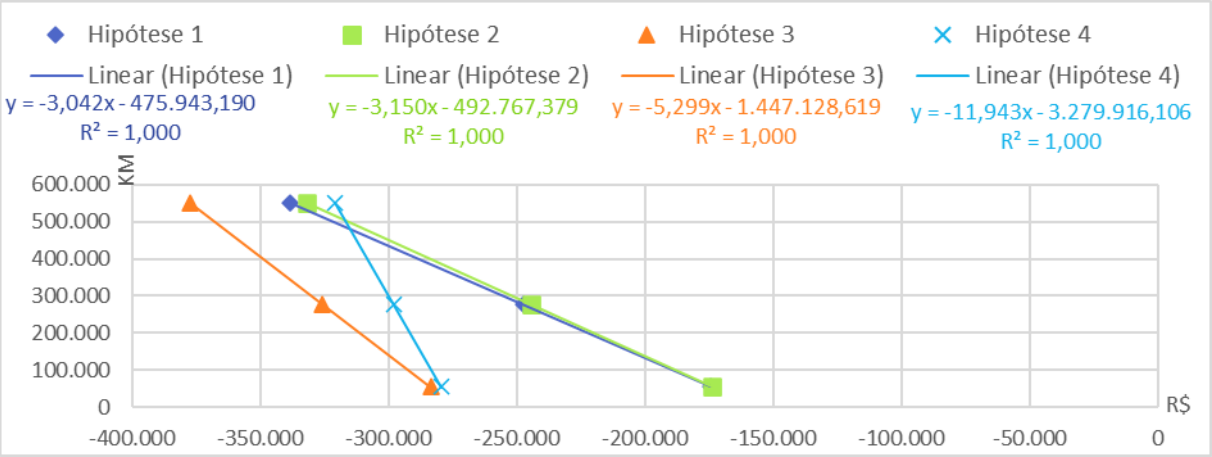
Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 4 e Cenário 1, entre o *Toyota Corolla Cross XR 20* e o *Nissan Leaf Tekna*, a ordem dos melhores investimentos da análise financeira, dado o maior valor do VPL, foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 173.959,68, -R$ 174.580,29, -R$ 279.113,85 e -R$ 283.171,35. E Investimento inicial de: R$ 161.843,13, R$ 161.843,13, R$ 323.641,75 e R$ 315.838,46. Para o cenário 2, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 244.324,75, -R$ 247.427,78, -R$ 298.071,62 e -R$ 326.003,16. E investimento inicial de: R$ 161.843,13, R$ 161.843,13, R$ 332.562,26 e R$ 315.838,46. Para o cenário 3, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1 e Hipótese 3. Com os respectivos VPL: -R$ 320.810,54, -R$ 331.977,18, -R$ 338.183,24 e -R$ 377.158,51. E investimento inicial de: R$ 343.574,95, R$ 161.843,13, R$ 161.843,13 e R$ 315.838,46.

#### 4.5.7.1 Comparação dos VPLs utilizando a regressão linear

A Figura 94 apresenta as retas e equações encontradas utilizando a regressão linear dos VPLs de cada hipótese.

Figura 94 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 4.




Fonte: Autoria própria.

A resolução das equações das Hipóteses 1 e 2 com a Hipótese 3 e 4 gerou os valores contidos na Tabela 68, em que os VPLs se tornam maiores para a Hipótese 3 a partir de 289,25 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 314,63 km por dia para a Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 167,48 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 175,59 km por dia à Hipótese 2.

Tabela 68 – Resolução das equações lineares do Valor Presente Líquido (VPL) para o Caso 4.

| Hipóteses | Hipótese 3 | | | Hipótese 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia | y = Da (km) | x = VPL (R$) | km/dia |
| Hipótese 1 | 833.027,16 | -430.299,26 | 289,25 | 482.340,78 | -315.017,74 | 167,48 |
| Hipótese 2 | 906.133,46 | -444.095,50 | 314,63 | 505.699,41 | -316.973,58 | 175,59 |

Fonte: Autoria própria.

Notas: Da: Distância percorrida acumulada. VPL: Valor Presente Líquido.

## 4.6 Análise entre os casos

O estudo entre os varios veículos e categorias deste trabalho apresentou em comum que:

I. A distância influencia diretamente nos custos finais e na viabilidade econômica do veículo. Quanto maior a distância percorrida, mais atrativo se torna o VE. O que está de acordo aos resultados alcançados por Pg Abas *et al.* (2019).

II. Para distâncias até 10% da autonomia do VE, os VCIs apresentam maior VPL

III. Para distâncias de 50%, os VCIs apresentam maior VPL exceto para o Caso 3 em que a diferença no custo com a aquisição é de R$ 42.865,00.

IV. Para distâncias de 100% da autonomia, os VEs com SFV apresentam maior VPL exceto para o Caso 2 em que a diferença nos valores de aquisição é de R$ 176.865,45.

V. Os custos são maiores com IPVA para os VEs, dado a cobrança de 3% sobre o valor o veículo.

VI. O custo com o consumo de EE para os VEs é menor do que o custo com consumo de gasolina ou etanol dos VCIs (Antunes, 2018; Pg Abas *et al.*, 2019; Galeski, 2023; Menezes, 2022; Cavalcante Júnior e Couras, 2021; Antunes, 2018; Dallepiane *et al.*, 2022).

VII. O SFV reduz os custos com o consumo de energia elétrica para os VEs. (Souza *et al.*, 2022; Lucca, 2021; Thomé, 2021; Félix, 2021; Coimbra, Araujo e Faesarella, 2020; Pezerico, 2020).

VIII. O custo operacional dos VEs são menores do que os custos dos VCIs (Pg Abas *et al.*, 2019; Dallepiane *et al.*, 2022; Galeski, 2023).

Assim, com a mesma conclusão dada pelos autores, Pg Abas *et al,* (2019), Vieira *et al.* (2021); Sinigaglia (2023); Ferreira (2012); Santos (2017) e Dutra (2020), o custo de aquisição do VE é um critério impeditivo na sua adoção.

# 5 CONCLUSÃO

Os veículos elétricos têm sido apontado como uma das maneiras de reduzir o impacto ambiental e o aquecimento global, porém, a troca de tecnologias passa também pelo critério econômico do consumidor. Assim o objetivo desse trabalho é de contribuir com uma análise de economia aos consumidores e para a sustentabilidade pela substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos alimentados por geração renovável fotovoltaica. Para isso, foi utilizada a análise técnica e econômica para os veículos a combustão interna e veículos elétricos em quatro casos segundo suas categorias: Caso 1 os subcompactos *Fiat Mobi Like* e *JAC e-JS1*; Caso 2 os compactos *Hyundai HB20 Sense* e *Peugeot E-208 GT*; Caso 3 os médios *Nissan Versa Sense* e *BYD Dolphin GS 180EV*; o Caso 4 para os grandes *Nissan Leaf Tekna* e *Toyota Corolla Cross XR 20*. Foram usados 3 cenários em que a distância diária percorrida foi de 10%, 50% e 100% da autonomia do veículo elétrico. Para os veículos a combustão se considera a utilização de gasolina (Hipótese 1) e etanol (Hipótese 2) e para o veículo elétrico se considera a utilização da energia elétrica proveniente da concessionária (Hipótese 3) e com a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) (Hipótese 4) para uma residência na cidade de Campo Grande - MS em um período de 96 meses, iniciando-se em agosto de 2023. Para este trabalho não foi incluso custos com trocas de peças e equipamentos.

Para o objetivo geral, esse trabalho mostra a partir de que distância diária seria viável economicamente o veículo e elétrico em comparação ao veículo a combustão interna e, também, calcula a economia com a utilização do sistema fotovoltaico.

Para os objetivos específicos, foi feito a comparação dos consumos dos veículos, os custos envolvidos para cada caso e suas componentes. Com a utilização do programa *Soft Edge Designer* foi dimensionado o sistema fotovoltaico para as Hipóteses 4 de cada cenário. Foi comparado os custos e realizado a análise financeira com os valores descritos a seguir.

Para o Caso 1 e Cenário 1, entre o *Hyundai HB20 Sense* e *Peugeot E-208 GT*, a ordem dos melhores investimentos da análise financeira, dado o maior valor do VPL, foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 106.219,25, -R$ 107.356,85, -R$ 229.482,51 e -R$ 234.711,55. Investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 258.500,54 e R$ 250.697,25. Para o Cenário 2, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 175.539,83, -R$ 181.227,85, -R$ 252.910,80 e -

R$ 284.350,37. Investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 270.271,93 e R$ 250.697,25. Para o Cenário 3, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 261.855,17, -R$ 273.231,21, -R$ 277.505,46 e -R$ 343.267,74. Investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 281.652,48 e R$ 250.697,25.

Para o Caso 2 e Cenário 1, entre o *Hyundai HB20 Sense* e *Peugeot E-208 GT*, a ordem dos melhores investimentos da análise financeira foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 106.219,25, -R$ 107.356,85, -R$ 229.482,51 e -R$ 234.711,55. Investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 258.500,54 e R$ 250.697,25. Para o Cenário 2, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 175.539,83, -R$ 181.227,85, -R$ 252.910,80 e -R$ 284.350,37. Investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 270.271,93 e R$ 250.697,25. Para o Cenário 3, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 261.855,17, -R$ 273.231,21, -R$ 277.505,46 e -R$ 343.267,74. Investimento inicial de: R$ 79.653,44, R$ 79.653,44, R$ 281.652,48 e R$ 250.697,25.

Para o Caso 3 e Cenário 1, entre o *Nissan Versa Sense* e o *BYD Dolphin GS 180EV*, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 134.136,98, -R$ 134.800,36, -R$ 160.427,58 e -R$ 165.188,01. Investimento inicial de: R$ 108.488,43, R$ 108.488,43, R$ 170.222,69 e R$ 162.419,40. Para o Cenário 2, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1. Com os respectivos VPLs: -R$ 182.208,15, -R$ 212.302,07, -R$ 236.770,87 e -R$ 240.087,73. Investimento inicial de: R$ 180.545,65, R$ 162.419,40, R$ 108.488,43 e R$ 108.488,43. Para o Cenário 3, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1. Com os respectivos VPLs: -R$ 207.562,74, -R$ 268.153,10, -R$ 363.998,37 e -R$ 370.632,10. Investimento inicial de: R$ 193.374,63, R$ 162.419,40, R$ 108.488,43 e R$ 108.488,43.

Para o Caso 4 e Cenário 1, entre o *Toyota Corolla Cross XR 20* e o *Nissan Leaf Tekna*, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 173.959,68, -R$ 174.580,29, -R$ 279.113,85 e -R$ 283.171,35. Investimento inicial de: R$ 161.843,13, R$ 161.843,13, R$ 323.641,75 e R$ 315.838,46. Para o Cenário 2, a ordem foi: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 244.324,75, -R$ 247.427,78, -R$ 298.071,62 e -R$ 326.003,16. Investimento inicial de: R$ 161.843,13, R$ 161.843,13, R$ 332.562,26 e R$ 315.838,46. Para o Cenário 3, a ordem foi: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1 e Hipótese 3. Com os respectivos VPLs: -R$ 320.810,54, -R$ 331.977,18,

-R$ 338.183,24 e -R$ 377.158,51. Investimento inicial de: R$ 343.574,95, R$ 161.843,13, R$ 161.843,13 e R$ 315.838,46.

Como resultado, a análise concluiu que apresentaram a seguinte ordem de melhores investimentos, para o Cenário 1 dos Casos 1, 2, 3 e 4: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3.

Para o Cenário 2 dos Casos 1, 2 e 4: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Caso 3, do mesmo cenário, a seguinte ordem: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1.

Para o Cenário 3 dos Casos 1 e 4: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1 e Hipótese 3. Para o Caso 2: Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para o Caso 3: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2 e Hipótese 1.

Assim, esse trabalho demonstrou que em cada categoria pesquisada a viabilidade econômica dos veículos elétricos está condicionada a distância diária percorrida para que o seu menor custo operacional compense o maior custo com a aquisição do veículo se comparado ao veículo a combustão interna. Sendo que o caso que melhor apresentou a relação de VPL foi para o caso 3 com a utilização de sistema fotovoltaico e do VE *BYD Dolphin GS 180EV* a partir de 64,85 km por dia em comparação ao VCI *Nissan Versa*. Porém, vale ressaltar que esse trabalho não considerou a troca de baterias.

Como proposta de continuação de estudo, a adição do custo com a manutenção incluindo troca de peças para uma análise mais integral dos custos envolvidos. Análises envolvendo consumos de energia elétrica e combustível somente para a cidade. Análises com redução no valor do IPVA, IPI e ICMS. Análise entre outros modelos e categorias de veículos elétricos e veículos a combustão interna.

## REFERÊNCIAS

A CRÍTICA. **Entenda como será cobrada a taxa de Iluminação Pública em Campo Grande**, 2017. Disponível em: https://www.acritica.net/editorias/geral/saiba-como-sera-cobrado-a-taxa-de-iluminacao-publica-em-campo-grande/221965/. Acesso em: 21 fev. 2023.

ABB. **Manual de instalação Terra AC**. [*S.l.*]: ABB, 2021. Disponível em: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107680A8797&LanguageCode=pt&DocumentPartId=&Action=Launch.

ABB. **Carregadores para veículos elétricos**, 2023. Disponível em: https://loja.br.abb.com/produtos-residenciais/carregadores-para-veiculos-eletricos.html. Acesso em: 20 fev. 2023.

ABNT. **ABNT NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Versão Corrigida 2008. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. **ABNT NBR 10899:** Energia solar fotovoltaica: Terminologia. 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **ABNT NBR 7024:** Veículos rodoviários automotores leves: Medição do consumo de combustível: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ALBATAYNEH, *et al.* Comparison of the overall energy efficiency for internal combustion engine vehicles and electric vehicles. **Environmental and Climate Technologies**, v. 24, n. 1, p. 669-680, 2020. DOI: https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0041.

ANDRADE, A. C. D. O custo dos carregamentos de um veículo elétrico: Nissan Leaf II. **Neutro à Terra**, Porto, v. 28, p. 29-35, 2022. DOI: https://doi.org/10.34630/neutroaterra.vi28.4493. Disponível em: https://parc.ipp.pt/index.php/neutroaterra/article/download/4493/2284. Acesso em: 03 maio 2023.

ANEEL. **Por dentro da conta de luz:** informação de utilidade pública. 7ª. ed. Brasília: ANEEL, 2016.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída:** Sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016a.

ANEEL. **Por dentro da conta de luz:** informação de utilidade pública. 7ª. ed. Brasília: ANEEL, 2016b.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Brasília: ANEEL, 2016c.

ANEEL. **Geração distribuída:** regulamentação atual e processo de revisão. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/655804/14752877/Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribu%C3%ADda+%E2%80%93+regulamenta%C3%A7%C3%A3o+atual+e+processo+de+revis%C3%A3o.pdf/3def5a2e-baef-bb59-2ce1-4f69a9cb2d88. Acesso em: 02 fev. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021.** Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html. Acesso em: 10 ago. 2023.

ANEEL. **Perguntas frequentes sobre Bandeiras Tarifárias**, 2022a. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias/faq-bandeiras-tarifarias. Acesso em: 20 fev. 2023.

ANEEL. **Procedimentos de Regulação Tarifária - Proret:** Módulo 7 - Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica. Submódulo 7.1 Procedimentos Gerais. 2.8. ed. Brasília: ANEEL, 2022c. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret. Acesso em: 05 out. 2023.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2023. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/tarifa/. Acesso em: 01 out. 2023.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2023a. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/tarifa/. Acesso em: 01 out. 2023.

ANEEL. **Procedimento de regulação tarifária - Proret:** Módulo 7 - Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição. Submódulo 7.3 - Tarifas de Aplicação. 2.6. ed. Brasilia: ANEEL, 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret. Acesso em: 05 out. 2023.

ANFAVEA. **Dados estatísticos para download**, 2023. Disponível em: https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/. Acesso em: 03 nov. 2023.

ANTUNES, P. D. R. **Veículos elétricos, funcionamento e seus benefícios**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2018.

AUTOESPORTE. **Os 25 carros elétricos mais vendidos do Brasil em 2023; Volvo lidera**, 2023a. Disponível em: https://autoesporte.globo.com/eletricos-e-hibridos/noticia/2023/09/os-25-carros-eletricos-mais-vendidos-do-brasil-em-2023-volvo-lidera.ghtml. Acesso em: 13 out. 2023.

AUTOESPORTE. **Veja os 50 carros novos mais vendidos do Brasil em agosto de 2023**, 2023b. Disponível em: https://autoesporte.globo.com/mercado/noticia/2023/09/veja-os-50-carros-novos-mais-vendidos-do-brasil-em-agosto-de-2023.ghtml. Acesso em: 13 out. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversor de moedas**, 2023. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/conversao. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Brasília, DF: [s.n.], 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Lei complementar nº 194, de 23 de junho de 2022.** Altera a Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966 (Código Tributário Nacional), e a Lei Complementar nº 87, de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir). Brasília: [s.n.], 2022a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp194.htm. Acesso em: 15 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Brasília, DF: [s.n.], 2022b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Série histórica de preços de combustíveis e de GLP**, 2023. Disponível em: https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/srie-histrica-de-preos-de-combustveis-e-de-glp. Acesso em: 9 jan. 2023.

BRASIL. **Série histórica de preços de combustíveis e de GLP**, 2023. Disponível em: https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/serie-historica-de-precos-de-combustveis-e-de-glp. Acesso em: 9 jan. 2023.

BRASIL. **Lei complementar nº 194, de 23 de junho de 2022.** Altera a Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966 (Código Tributário Nacional), e a Lei Complementar nº 87, de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir). Brasília: [s.n.], 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp194.htm. Acesso em: 15 out. 2023.

CAMPO GRANDE. **Lei complementar nº 58, de 30 de setembro de 2003.** Extra. ed. Campo Grande: Diário Oficial de Campo Grande-MS, 2003.

CAPES. **Periódicos**, 2023. Disponível em: https://www-periodicos-capes-gov-br.ez51.periodicos.capes.gov.br/. Acesso em: 03 maio 2023.

CASAGRANDE JUNIOR, E. F. *et al.* Energia solar fotovoltaica e automóveis elétricos: a combinação de um modelo para redução de emissões de carbono na cidade de Curitiba. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 653-678, 2019.

CAVALCANTE JÚNIOR , L. C. P.; COURAS , D. D. J. N. P. **Análise comparativa da substituição de motores a combustão por motores elétricos no setor de transportes.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, [S. l.], 2021.

CIA, J. C.; VARTANIAN, P. R.; SILVA, W. M. **Econometria - Análise de dados com regressão linear em Excel e Gretl**. São Paulo: Saint Paul, 2013.

CLARKE ENERGIA. **Entenda o histórico do sistema de bandeiras tarifárias no Brasil**, 2021. Disponível em: https://clarke.com.br/entenda-o-historico-do-sistema-de-bandeiras-tarifarias-no-brasil. Acesso em: 16 abr. 2023.

COIMBRA, A. P. D. M.; ARAUJO, K. B.; FAESARELLA, A. S. Recarga elétrica automotica em estacionamento com sistema de energia fotovoltaico. **USF**, 2020. Disponível em: https://www.usf.edu.br/galeria/getImage/768/2890608669257179.pdf. Acesso em: 02 maio 2023.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**, 2022. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. Acesso em: 11 nov. 2022.

CURRAN, S. J. *et al.* Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in. **Elsevier**, Knoxville, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.035.

DALLEPIANE, P. G. *et al.* Análise da viabilidade econômica no setor de transporte com a introdução de veículos elétricos em órgãos públicos. **SBA**, v. 2, n. 1, 2022. DOI: 10.20906/sbse.v2i1.3158. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/3158. Acesso em: 04 abr. 2023.

DARGAY, J.; GATELY, D.; SOMMER, M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030. **Energy Journal**, v. 28, n. 4, p. 143–170, 2007. Disponível em: https://www.biee.org/wp-content/uploads/Vehicle_ownership_and_income_growth_worldwide_1960-2030_2006_pres.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

DETRAN MS. **Está aberto calendário de Licenciamento 2022 para veículos com placas final 1 e 2**, 2022. Disponível em: https://www.detran.ms.gov.br/esta-aberto-calendario-de-licenciamento-2022-para-veiculos-com-placas-final-1-e-2/. Acesso em: 18 fev. 2023.

DETRAN MS. **Autoatendimento IPVA**, 2023. Disponível em: https://www.autoatendimento.ms.gov.br/ipva/. Acesso em: 20 fev. 2023.

DETRAN MS. **Autoatendimento IPVA**, 2023b. Disponível em: https://www.autoatendimento.ms.gov.br/ipva/. Acesso em: 20 fev. 2023.

DUTRA, M. D. D. S. Avaliação financeira de um projeto de casa inteligente para uma residência no Ceará. **Exacta**, v. 20, n. 1, p. 176-197, 2020. DOI: https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17173.

ECHAVARRÍA, F. A. T. **Tecnologías fotovoltaicas para integración en edificios:** análisis comparativo. 2018. Dissertação (Mestrado em energia renováveis) - Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2018. Disponível em: https://repositorio.upct.es/handle/10317/7350. Acesso em: 04 maio 2023.

EMPALUX. **Ficha técnica Módulo fotovoltaico 450W**. [*S.l.*]: Empalux, 2020a.

EMPALUX. **Ficha técnica Módulo fotovoltaico 500W**. [*S.l.*]: Empalux, 2020b.

ENERGISA. **Cartilha geração distribuída**. [*S.l.*]: [s.n.], 2021. Disponível em: https://www.energisa.com.br/Documents/CARTILHA_geracao_distribuida.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

ENERGISA. **Fornecimento de energia para estações de recarga de veículos elétricos:** NDU 042. Cataguases: Energisa, 2021.

ENERGISA MS. **Impostos e outros encargos**, 2023. Disponível em: https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/impostos-outros-encargos.aspx. Acesso em: 20 fev. 2023.

EPM. **RA8-31 Instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos**. Medellin: EPM, 2018.

FÉLIX, J. P. A. **Estudo de viabilidade econômica para instalação de UPAC e adoção de veículos elétricos na indústria**. 2021. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Setúbal, 2021.

FERREIRA, F. B. **A evolução automobilística e aplicação de Smart Grid para utilização de**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade São Francisco, 2012, Itatiba.

FGV ENERGIA. Carros Elétricos. **FGV ENERGIA**, Rio de Janeiro, n. 7, MAIO 2017. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

FIPE. **Preço médio dos veículos**, 2023. Disponível em: https://veiculos.fipe.org.br/. Acesso em: 18 fev. 2023.

GALESKI, A. Estudo sobre a viabilidade de aplicação do veículo elétrico na Polícia. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 8811–8828, 2023. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-170. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/57669. Acesso em: 02 maio 2023.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 12ª. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

GOOGLE. **Google Acadêmico**, 2023. Disponível em: https://scholar.google.com.br/. Acesso em: 2 maio 2023.

HAWKINS, T. R. *et al.* Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 1, p. 53–64, 2013. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x. Acesso em: 05 ago. 2021.

HINRICHS, A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. D. **Energia e Meio Ambiente**. 5ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

IBGE. **Frota de veículos**, 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120. Acesso em: 28 fev. 2024.

IBGE. **IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas. Acesso em: 28 fev. 2024.

INMETRO. **Qualidade e tecnologia Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE):** Classificação quanto ao consumo energético. [*S.l.*]: [s.n.], 2022. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular. Acesso em: 4 jun. 2022.

INMETRO. **Portaria Nº 169, de 3 de maio de 2023. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves - Consolidado**. Brasilia: [s.n.], 2023a.

INMETRO. Veículos Automotivos (PBE veicular), 2023a. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/@@download/file. Acesso em: 13 out. 2023.

INMETRO. **Veículos Automotivos (PBE veicular)**, 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-

brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/@@download/file. Acesso em: 13 out. 2023.

INMETRO. Portaria Nº 169, de 3 de maio de 2023. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves - Consolidado. **Diário Oficial da União**, Brasilia, 25 maio 2023b.

KALOGIROU, S. A. **Solar Energy Engineering**. San Diego: Elsevier, 2014.

LABOURET, A.; VILLOZ, M. **Solar photovoltaic energy**. 4. ed. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010.

LALITH, D.; GHATGE, G. C.; SETLOOR, K. G. Electric and hibrid electric vehicles. **IJRAR**, v. 8, n. 4, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359120589_ELECTRIC_AND_HYBRID_ELECTRIC_VEHICLES. Acesso em: 16 out. 2022.

LARMINIE, J.; LOWRY, J. **Electric vehicle techonoly explained**. 2ª. ed. Chennai: John Wiley & Sons Ltd, 2012.

LEGISWEB. Decreto Nº 9203 DE 18/09/1998, 2022. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=135852. Acesso em: 2023 Abril 03.

LUCCA,. **Avaliação da capacidade de abastecimento de veículos elétricos a partir da geração solar fotovoltaica instalada na Universidade Federal de Santa Maria**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

MARIANO, J. D.; URBANETZ JUNIOR, J. **Energia Solar Fotovoltaica:** princípios fundamentais. Ponta Grossa: Atena, 2022.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 11ª. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MATO GROSSO DO SUL. **Decreto Nº 9203 de 18 de setembro de 1998**. Aprova o Regulamento do ICMS e dá outras providências. [*S.l.*]: Diário Oficial Estadual, 2022. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=135852. Acesso em: 3 abr. 2023.

MATO GROSSO DO SUL. Secretária de Fazenda do Estado de Mato Grosso do Sul. **UFERMS**, 2023. Disponível em: https://servicos.efazenda.ms.gov.br/crd/CreditoTributario/IndicadoresSefaz/uferms. Acesso em: 24 fev. 2023.

MENEZES, R. R. **Análise econométrica associada à operação de uma frota de veículos elétricos e híbridos em comparação com veículos movidos à combustão**. 2022. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) - Universidade de Brasília, 2022, Brasília.

MERCADO LIVRE. **Mercado Livre**, 2023a. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1045701223-100metros-fio-cabo-flexivel-nax-flex-1000v-1kv-4mm-inmetro-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=570b4af1-8521-4160-9687-a0d6679b9189. Acesso em: 20 fev. 2023.

MERCADO LIVRE. **Mercado Livre**, 2023b. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2185902465-eletroduto-galvanizado-zincado-leve-34-3-metros-5-pcs-_JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=dc6c922b-afc6-4cb2-aa46-1f5569e597bc. Acesso em: 20 fev. 2023.

MOREIRA, J. R. S. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MOTOR PASSION. **Hábitos que aumentarán la vida útil de la batería de tu coche eléctrico (y te ahorrarán disgustos)**, 2022. Disponível em: https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/habitos-que-aumentaran-vida-util-bateria-tu-coche-electrico-te-ahorraran-disgustos. Acesso em: 20 fev. 2023.

NEALER, ; REICHMUTH, D.; ANAIR, D. **Cleaner cars from cradle to grave:** How electric cars ceat casoline cars on lifetime global warming emissions. [*S.l.*]: Union of Concerned Scientists, 2015. Disponível em: https://www.ucsusa.org/resources/cleaner-cars-cradle-grave.

NEALER, R.; REICHMUTH, D.; ANAIR, D. **Cleaner cars from cradle to grave:** How electric cars ceat casoline cars on lifetime global warming emissions. [*S.l.*]: Union of Concerned Scientists, 2015. Disponível em: https://www.ucsusa.org/resources/cleaner-cars-cradle-grave. Acesso em: 2022 ago. 15.

NISSAN. **Especificações técnicas Nissan Leaf**. [*S.l.*]: Nissan, 2023a.

NISSAN. **Nissan Leaf 2023**, 2023b. Disponível em: https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html. Acesso em: 24 fev. 2023.

NISSAN. **Nissan Leaf 2023**, 2023b. Disponível em: https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html. Acesso em: 24 fev. 2023.

NOGUEIRA, T. R. S. *et al.* Simulação de medidor digital de energia elétrica BT utilizando LabView. **CBQEE**, Campina Grande, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282809456_Simulacao_de_medidor_digital_de_energia_eletrica_BT_utilizando_LabView. Acesso em: 08 abr. 2023.

NREL. **Best Research-Cell Efficiency Chart**, 2023. Disponível em: https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html. Acesso em: 10 31 2023.

OLIVEIRA, B. S.; KOLODZEI, S. L. F.; COSTA, V. E. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de estacionamento fotovoltaico no campus Ecoville da UTFPR**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Univesidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PASTUSZAK, J.; WEGIEREK, P. Photovoltaic cell generations and current research directions. **Materials**, Lublin, v. 15, n. 5542, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ma15165542.

PEZERICO, V. N. D. O. **Estudo comparativo para carregamento de carros elétricos através de geração distribuída e análise econômica**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

PG ABAS, A. E. *et al.* Techno-economic analysis and environmental impact of electric vehicle. **IEEE Access**, v. 7, p. 98565 - 98578, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929530.

PG ABAS, A. E. *et al.* Techno-economic analysis and environmental impact of electric vehicle. **IEEE Access**, v. 7, p. 98565 - 98578, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929530.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Revisada e Atualizada. ed. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

PRYSMIAN. **Guia de dimensionamento de cabos para baixa tensão**. Sorocaba: Prysmian, 2020.

PUCCINI, E. C. **Matemática FInanceira e análise de investimentos**. Florianópolis: UFSC, 2011.

R7. **Carro elétrico deve dominar também o Brasil, dizem especialistas**, 2023. Disponível em: https://noticias.r7.com/economia/carro-eletrico-deve-dominar-tambem-o-brasil-dizem-especialistas-27022023. Acesso em: 5 maio 2023.

RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A. **Carro elétrico deve dominar também o Brasil, dizem especialistas**, 2023. Disponível em: https://noticias.r7.com/economia/carro-eletrico-deve-dominar-tambem-o-brasil-dizem-especialistas-27022023. Acesso em: 5 maio 2023.

REVISTA CARRO. **Teste completo:** Nissan Leaf em condições reais de uso, 2019. Disponível em: https://revistacarro.com.br/teste-completo-nissan-leaf-em-condicoes-reais-de-uso/. Acesso em: 24 fev. 2023.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos:** o potencial da geração solar fotovoltaica. Florianópolis: UFSC, 2004.

S&P GLOBAL. **EV sales momentum to face challenges in 2023, but long-term expectations unaffected**, 2023. Disponível em: https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/metals/013123-ev-sales-momentum-to-face-challenges-in-2023-but-long-term-expectations-unaffected. Acesso em: 05 nov. 2023.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira, aplicações a análise de investimentos**. 3ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira, aplicações a análise de investimentos**. 3ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SANGUESA, J. A. *et al.* A review on electric vehicles: technologies and challenges. **Smart Cities**, v. 4, n. 1, p. 372–404, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/smartcities4010022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2624-6511/4/1/22. Acesso em: 04 maio 2023.

SANTOS, A. C. F. R. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico vesus veículo a combustão**. 2017. Monografia ( Especialista em eficiência energética aplicada aos processos produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, 2017, Santana do Livramente.

SANTOS, M. M. D. **Veículos elétricos e híbridos:** fundamentos características e aplicações. São Paulo: Érica, 2020.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Why to choose type B earth leakage protection for safe and efficient people protection**. [*S.l.*]: Schneider Electric, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DE FAZENDA DE MS. **Autoatendimento IPVA**, 2023. Disponível em: https://www.sefaz.ms.gov.br/ipva-3/. Acesso em: 20 fev. 2023.

SESKO. **EV charging**. [*S.l.*]: SESKO, 2016. Disponível em: https://www.sesko.fi/files/671/EV-charging_standards_may2016_Compatibility_Mode_.pdf. Acesso em: 27 maio 2016.

SINIGAGLIA, T. **Análise do ciclo de vida da tecnologia dos veículos com motores de combustão interna e dos veículo eletrificados.** 2023. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

SIQUEIRA, J. C. *et al.* Medição e análise de fluxo de potência em quatro quadrantes com FPGA. **COPEC**, Guimarães, 2014. DOI: 10.14684/INTERTECH.13.2014.428-432.

SMA. **Installation manual:** PV inverter Sunny Boy 2000HF / 2500HF / 3000HF. [*S.l.*]: SMA, 2013.

SOLAR EDGE. **Solar Edge Design**, 2023. Disponível em: https://www.solaredge.com/en/products/software-tools/designer. Acesso em: 10 ago. 2023.

SOLAR EDGE. **Solar Edge Design**. [*S.l.*]: [s.n.], 2023. Disponível em: https://www.solaredge.com/en/products/software-tools/designer.

SOUSA, L. N. *et al.* Estudo de viabilidade da geração fotovoltaica como fonte energética principal para a frota de veículos elétricos em Fernando de Noronha, Brasil. **Principia**, v. 60, n. 4, p. 1161-1186, out. 2022. DOI: https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6590. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6590. Acesso em: 05 mar. 2023.

SOUZA, L. A. D. **Michael Faraday**, 2022. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/michael-faraday.htm. Acesso em: 05 set. 2022.

SWE-CHECK. **Solar photovoltaic (PV) system circuit protection guide**, 2023. Disponível em: https://www.swe-check.com.au/editorials/solar-pv-circuit-protection-guide.php. Acesso em: 04 jan. 2023.

TAPIA, C. *et al.* Premio Nobel de Quimica 2019: Baterias Ion-Lítio. **Educación Química**, v. 31, p. 12-22, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.72730. Acesso em: 02 out. 2022.

THOMÉ, B. A. **Veículos elétricos em órgãos públicos:** metodologia para substituição gradual da frota a combustão por veículos elétricos. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

TINDO SOLAR. **Types of crystalline silicon cells**, 2022. Disponível em: https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/. Acesso em: 29 nov. 2022.

VASCO, M. N. **Breve abordagem da viabilidade econômica dos carros 100% elétricos**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas. 2020.

VERSINETIC LIMITED. **EV Charging Connector Types Guide**, 2023. Disponível em: https://www.versinetic.com/news-blog/ev-charging-connector-types-guide/. Acesso em: 02 nov. 2023.

VIEIRA, M. G. *et al.* **Análise de políticas públicas para veículos elétricos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/50_vieira_2021_05_10.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

VIEIRA, M. G. *et al.* **Análise de políticas públicas para veículos elétricos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/50_vieira_2021_05_10.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

WAPPELHORST, S. **The end of the road? An overview of combustion- engine car**. [*S.l.*]: ICCT, 2020. Disponível em: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Combustion-engine-phase-out-briefing-may11.2020.pdf. Acesso em: 4 maio 2023.

WEG. **Guia de instalação rápida Wemob-wall G2 Modelos 1T1/ 1T2**. [*S.l.*]: WEG, 2021.

WEG. **Wemob:** Estações de Recarga para Veículos Elétricos. [*S.l.*]: WEG, 2022a. Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hee/hbf/WEG-WEMOB-guia-selecao-estacao-de-recarga-50110139-pt.pdf.

WEG. **Guia para seleção de estações de recarga (CA) para veículos elétricos.** [*S.l.*]: WEG, 2022b. Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hee/hbf/WEG-WEMOB-guia-selecao-estacao-de-recarga-50110139-pt.pdf.

WEG. **Estação de Recarga para Veículos Elétricos**, 2023. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Infraestrutura-para-Mobilidade-El%C3%A9trica/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/p/MK. Acesso em: 10 jan. 2023.

ZANELLA, J. P. **Viabilidade econômica da implantação diferentes modelos de carregadores para carros elétricos, comercializando energia gerada por sistemas fotovoltaicos**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engeharia Elétrica) - Universidade Técnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

ZHANG, X. *et al.* Electrospun nanofiber-based anodes, cathodes, and separators for advanced lithium-Ion batteries. **Polymer Reviews**, London, v. 51, n. 3, p. 239-264, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/15583724.2011.593390.

# APÊNDICE A – Resumo dos custos para os cenários e hipóteses

A Tabela 69 apresentam os custos para cada caso, cenário e hipótese ao final de 96 meses que foram utilizados nesse trabalho.

Tabela 69 – Resumo dos custos utilizados no trabalho, parte 1.

| Veículo | Hipótese | Cenários | $C_{VAq}$ (R$) | $C_{VInfr}$ (R$) | $C_{AQSFVCR}$ (R$) | $C_{I}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) | $C_{RSFVCR}$ (R$) | $C_{REE}$ (R$) | $C_{R}$ (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FIAT MOBI LIKE | 1 | 1 | 62.653,00 | 0,00 | 0,00 | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| FIAT MOBI LIKE | 1 | 2 | 62.653,00 | 0,00 | 0,00 | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| FIAT MOBI LIKE | 1 | 3 | 62.653,00 | 0,00 | 0,00 | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| FIAT MOBI LIKE | 2 | 1 | 62.653,00 | 0,00 | 0,00 | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| FIAT MOBI LIKE | 2 | 2 | 62.653,00 | 0,00 | 0,00 | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| FIAT MOBI LIKE | 2 | 3 | 62.653,00 | 0,00 | 0,00 | 62.653,00 | 63.409,83 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| JAC e-JS1 | 3 | 1 | 144.297,00 | 10.530,16 | 0,00 | 154.827,16 | 141.969,71 | 0,00 | 33.661,58 | 33.661,58 |
| JAC e-JS1 | 3 | 2 | 144.297,00 | 10.530,16 | 0,00 | 154.827,16 | 141.969,71 | 0,00 | 34.516,82 | 34.516,82 |
| JAC e-JS1 | 3 | 3 | 144.297,00 | 10.530,16 | 0,00 | 154.827,16 | 141.969,71 | 0,00 | 34.160,40 | 34.160,40 |
| JAC e-JS1 | 4 | 1 | 144.297,00 | 10.530,16 | 7.803,29 | 162.630,45 | 141.969,71 | 7.157,66 | 16.107,96 | 23.265,62 |
| JAC e-JS1 | 4 | 2 | 144.297,00 | 10.530,16 | 15.114,43 | 169.941,58 | 141.969,71 | 3.705,62 | 12.395,13 | 16.100,75 |
| JAC e-JS1 | 4 | 3 | 144.297,00 | 10.530,16 | 23.414,18 | 178.241,34 | 141.969,71 | 2.821,43 | 10.944,14 | 13.765,57 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 1 | 1 | 78.458,00 | 0,00 | 0,00 | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 1 | 2 | 78.458,00 | 0,00 | 0,00 | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 1 | 3 | 78.458,00 | 0,00 | 0,00 | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 2 | 1 | 78.458,00 | 0,00 | 0,00 | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 2 | 2 | 78.458,00 | 0,00 | 0,00 | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 2 | 3 | 78.458,00 | 0,00 | 0,00 | 78.458,00 | 82.303,21 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| PEUGEOT E-208 GT | 3 | 1 | 236.990,00 | 10.530,16 | 0,00 | 247.520,16 | 231.023,75 | 0,00 | 33.347,70 | 33.347,70 |
| PEUGEOT E-208 GT | 3 | 2 | 236.990,00 | 10.530,16 | 0,00 | 247.520,16 | 231.023,75 | 0,00 | 34.292,61 | 34.292,61 |
| PEUGEOT E-208 GT | 3 | 3 | 236.990,00 | 10.530,16 | 0,00 | 247.520,16 | 231.023,75 | 0,00 | 33.916,62 | 33.916,62 |
| PEUGEOT E-208 GT | 4 | 1 | 236.990,00 | 10.530,16 | 7.803,29 | 255.323,45 | 231.023,75 | 5.952,16 | 16.232,18 | 22.184,34 |

| Veículo | Hipótese | Cenários | $C_{VAq}$ (R$) | $C_{VInfr}$ (R$) | $C_{AQSFVCR}$ (R$) | $C_{I}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) | $C_{RSFVCR}$ (R$) | $C_{REE}$ (R$) | $C_{R}$ (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PEUGEOT E-208 GT | 4 | 2 | 236.990,00 | 10.530,16 | 19.574,68 | 267.094,84 | 231.023,75 | 3.345,73 | 11.774,85 | 15.120,59 |
| PEUGEOT E-208 GT | 4 | 3 | 236.990,00 | 10.530,16 | 30.955,23 | 278.475,38 | 231.023,75 | 2.582,66 | 10.274,84 | 12.857,50 |
| NISSAN VERSA SENSE | 1 | 1 | 106.937,00 | 0,00 | 0,00 | 106.937,00 | 104.244,85 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| NISSAN VERSA SENSE | 1 | 2 | 106.937,00 | 0,00 | 0,00 | 106.937,00 | 104.244,85 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| NISSAN VERSA SENSE | 1 | 3 | 106.937,00 | 0,00 | 0,00 | 106.937,00 | 104.244,85 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| NISSAN VERSA SENSE | 2 | 1 | 106.937,00 | 0,00 | 0,00 | 106.937,00 | 104.244,85 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| NISSAN VERSA SENSE | 2 | 2 | 106.937,00 | 0,00 | 0,00 | 106.937,00 | 104.244,85 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| NISSAN VERSA SENSE | 2 | 3 | 106.937,00 | 0,00 | 0,00 | 106.937,00 | 104.244,85 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 3 | 1 | 149.802,00 | 10.530,16 | 0,00 | 160.332,16 | 146.030,72 | 0,00 | 33.401,16 | 33.401,16 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 3 | 2 | 149.802,00 | 10.530,16 | 0,00 | 160.332,16 | 146.030,72 | 0,00 | 34.285,57 | 34.285,57 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 3 | 3 | 149.802,00 | 10.530,16 | 0,00 | 160.332,16 | 146.030,72 | 0,00 | 33.969,61 | 33.969,61 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 4 | 1 | 149.802,00 | 10.530,16 | 7.803,29 | 168.135,45 | 146.030,72 | 6.146,25 | 16.413,77 | 22.560,02 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 4 | 2 | 149.802,00 | 10.530,16 | 18.126,25 | 178.458,41 | 146.030,72 | 3.322,75 | 11.960,21 | 15.282,96 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 4 | 3 | 149.802,00 | 10.530,16 | 30.955,23 | 191.287,38 | 146.030,72 | 2.725,49 | 10.408,58 | 13.134,08 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 1 | 1 | 159.633,00 | 0,00 | 0,00 | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 1 | 2 | 159.633,00 | 0,00 | 0,00 | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 1 | 3 | 159.633,00 | 0,00 | 0,00 | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 2 | 1 | 159.633,00 | 0,00 | 0,00 | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 2 | 2 | 159.633,00 | 0,00 | 0,00 | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 2 | 3 | 159.633,00 | 0,00 | 0,00 | 159.633,00 | 167.521,10 | 0,00 | 32.406,27 | 32.406,27 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 3 | 1 | 301.327,00 | 10.530,16 | 0,00 | 311.857,16 | 291.987,52 | 0,00 | 33.485,74 | 33.485,74 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 3 | 2 | 301.327,00 | 10.530,16 | 0,00 | 311.857,16 | 291.987,52 | 0,00 | 34.381,58 | 34.381,58 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 3 | 3 | 301.327,00 | 10.530,16 | 0,00 | 311.857,16 | 291.987,52 | 0,00 | 34.056,28 | 34.056,28 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 4 | 1 | 301.327,00 | 10.530,16 | 7.803,29 | 319.660,45 | 291.987,52 | 6.462,34 | 16.701,00 | 23.163,35 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 4 | 2 | 301.327,00 | 10.530,16 | 16.723,80 | 328.580,95 | 291.987,52 | 3.382,25 | 12.178,25 | 15.560,50 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 4 | 3 | 301.327,00 | 10.530,16 | 27.736,49 | 339.593,64 | 291.987,52 | 2.704,93 | 10.627,32 | 13.332,24 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 70 – Resumo dos custos utilizados no trabalho, parte 2.

| Veículo | Hipótese | Cenários | $C_{VRev}$ (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | $C_{VLic}$ (R$) | $C_{VGeral}$ (R$) | $C_{VSFVCR}$ (R$) | $C_{VEn}$ (R$) | $C_V$ (R$) | $C_T$ (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FIAT MOBI LIKE | 1 | 1 | 8.723,77 | 16.943,61 | 3.099,62 | 28.766,99 | 0,00 | 21.806,27 | 113.226,26 | 145.632,53 |
| FIAT MOBI LIKE | 1 | 2 | 6.745,93 | 16.943,61 | 3.099,62 | 26.789,15 | 0,00 | 109.031,33 | 198.473,48 | 230.879,75 |
| FIAT MOBI LIKE | 1 | 3 | 6.324,24 | 16.943,61 | 3.099,62 | 26.367,46 | 0,00 | 218.062,66 | 307.083,13 | 339.489,39 |
| FIAT MOBI LIKE | 2 | 1 | 8.723,77 | 16.943,61 | 3.099,62 | 28.766,99 | 0,00 | 20.707,49 | 112.127,49 | 144.533,76 |
| FIAT MOBI LIKE | 2 | 2 | 6.745,93 | 16.943,61 | 3.099,62 | 26.789,15 | 0,00 | 103.537,47 | 192.979,63 | 225.385,89 |
| FIAT MOBI LIKE | 2 | 3 | 6.324,24 | 16.943,61 | 3.099,62 | 26.367,46 | 0,00 | 207.074,94 | 296.095,41 | 328.501,68 |
| JAC e-JS1 | 3 | 1 | 3.835,17 | 33.298,25 | 3.099,62 | 40.233,04 | 0,00 | 14.320,12 | 209.380,31 | 243.041,89 |
| JAC e-JS1 | 3 | 2 | 3.077,10 | 33.298,25 | 3.099,62 | 39.474,96 | 0,00 | 73.229,05 | 267.531,17 | 302.047,99 |
| JAC e-JS1 | 3 | 3 | 2.911,60 | 33.298,25 | 3.099,62 | 39.309,46 | 0,00 | 144.945,80 | 339.082,42 | 373.242,83 |
| JAC e-JS1 | 4 | 1 | 3.835,17 | 33.298,25 | 3.099,62 | 40.233,04 | 6.804,19 | 6.852,56 | 208.716,94 | 231.982,57 |
| JAC e-JS1 | 4 | 2 | 3.077,10 | 33.298,25 | 3.099,62 | 39.474,96 | 17.567,37 | 26.296,86 | 238.166,35 | 254.267,10 |
| JAC e-JS1 | 4 | 3 | 2.911,60 | 33.298,25 | 3.099,62 | 39.309,46 | 26.751,31 | 46.437,02 | 267.324,95 | 281.090,52 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 1 | 1 | 5.353,51 | 26.323,76 | 3.099,62 | 34.776,88 | 0,00 | 30.419,73 | 143.654,61 | 176.060,88 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 1 | 2 | 4.111,50 | 26.323,76 | 3.099,62 | 33.534,87 | 0,00 | 152.098,63 | 264.091,50 | 296.497,77 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 1 | 3 | 3.928,03 | 26.323,76 | 3.099,62 | 33.351,40 | 0,00 | 304.197,26 | 416.006,66 | 448.412,93 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 2 | 1 | 5.353,51 | 26.323,76 | 3.099,62 | 34.776,88 | 0,00 | 28.295,95 | 141.530,84 | 173.937,11 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 2 | 2 | 4.111,50 | 26.323,76 | 3.099,62 | 33.534,87 | 0,00 | 141.479,77 | 253.472,65 | 285.878,92 |
| HYUNDAI HB20 SENSE | 2 | 3 | 3.928,03 | 26.323,76 | 3.099,62 | 33.351,40 | 0,00 | 282.959,55 | 394.768,95 | 427.175,22 |
| PEUGEOT E-208 GT | 3 | 1 | 6.204,39 | 52.038,77 | 3.099,62 | 61.342,77 | 0,00 | 20.082,32 | 328.945,25 | 362.292,95 |
| PEUGEOT E-208 GT | 3 | 2 | 4.528,13 | 52.038,77 | 3.099,62 | 59.666,52 | 0,00 | 102.688,36 | 409.875,04 | 444.167,64 |
| PEUGEOT E-208 GT | 3 | 3 | 4.295,86 | 52.038,77 | 3.099,62 | 59.434,25 | 0,00 | 202.937,56 | 509.891,96 | 543.808,58 |
| PEUGEOT E-208 GT | 4 | 1 | 6.204,39 | 52.038,77 | 3.099,62 | 61.342,77 | 8.009,69 | 9.775,18 | 326.647,81 | 348.832,15 |
| PEUGEOT E-208 GT | 4 | 2 | 4.528,13 | 52.038,77 | 3.099,62 | 59.666,52 | 22.387,51 | 35.259,50 | 364.833,69 | 379.954,27 |
| PEUGEOT E-208 GT | 4 | 3 | 4.295,86 | 52.038,77 | 3.099,62 | 59.434,25 | 34.531,13 | 61.478,72 | 402.964,25 | 415.821,74 |
| NISSAN VERSA SENSE | 1 | 1 | 5.165,12 | 23.481,45 | 3.099,62 | 31.746,19 | 0,00 | 43.175,48 | 181.858,68 | 214.264,94 |
| NISSAN VERSA SENSE | 1 | 2 | 4.454,35 | 23.481,45 | 3.099,62 | 31.035,42 | 0,00 | 215.877,42 | 353.849,84 | 386.256,11 |
| NISSAN VERSA SENSE | 1 | 3 | 4.315,36 | 23.481,45 | 3.099,62 | 30.896,43 | 0,00 | 431.754,84 | 569.588,27 | 601.994,54 |

| Veículo | Hipótese | Cenários | $C_{VRev}$ (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | $C_{VLic}$ (R$) | $C_{VGeral}$ (R$) | $C_{VSFVCR}$ (R$) | $C_{VEn}$ (R$) | $C_{V}$ (R$) | $C_{T}$ (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NISSAN VERSA SENSE | 2 | 1 | 5.165,12 | 23.481,45 | 3.099,62 | 31.746,19 | 0,00 | 41.721,45 | 180.404,65 | 212.810,92 |
| NISSAN VERSA SENSE | 2 | 2 | 4.454,35 | 23.481,45 | 3.099,62 | 31.035,42 | 0,00 | 208.607,27 | 346.579,69 | 378.985,96 |
| NISSAN VERSA SENSE | 2 | 3 | 4.315,36 | 23.481,45 | 3.099,62 | 30.896,43 | 0,00 | 417.214,55 | 555.047,98 | 587.454,25 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 3 | 1 | 5.611,71 | 32.893,84 | 3.099,62 | 41.605,17 | 0,00 | 19.007,29 | 220.944,62 | 254.345,78 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 3 | 2 | 4.628,02 | 32.893,84 | 3.099,62 | 40.621,48 | 0,00 | 96.795,16 | 297.748,80 | 332.034,36 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 3 | 3 | 4.478,02 | 32.893,84 | 3.099,62 | 40.471,47 | 0,00 | 191.806,32 | 392.609,95 | 426.579,56 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 4 | 1 | 5.611,71 | 32.893,84 | 3.099,62 | 41.605,17 | 7.815,60 | 9.340,43 | 219.093,36 | 241.653,38 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 4 | 2 | 4.628,02 | 32.893,84 | 3.099,62 | 40.621,48 | 20.962,06 | 33.766,12 | 255.681,81 | 270.964,78 |
| BYD DOLPHIN GS 180EV | 4 | 3 | 4.478,02 | 32.893,84 | 3.099,62 | 40.471,47 | 34.388,30 | 58.771,12 | 293.963,05 | 307.097,13 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 1 | 1 | 5.730,77 | 53.688,07 | 3.099,62 | 62.518,45 | 0,00 | 30.005,76 | 252.157,21 | 284.563,48 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 1 | 2 | 4.643,91 | 53.688,07 | 3.099,62 | 61.431,59 | 0,00 | 150.028,78 | 371.093,37 | 403.499,64 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 1 | 3 | 4.452,01 | 53.688,07 | 3.099,62 | 61.239,69 | 0,00 | 300.057,55 | 520.930,25 | 553.336,52 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 2 | 1 | 5.730,77 | 53.688,07 | 3.099,62 | 62.518,45 | 0,00 | 28.733,50 | 250.884,95 | 283.291,22 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 2 | 2 | 4.643,91 | 53.688,07 | 3.099,62 | 61.431,59 | 0,00 | 143.667,48 | 364.732,08 | 397.138,34 |
| TOYOTA COROLLA CROSS XR 20 | 2 | 3 | 4.452,01 | 53.688,07 | 3.099,62 | 61.239,69 | 0,00 | 287.334,96 | 508.207,66 | 540.613,93 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 3 | 1 | 4.970,34 | 64.106,80 | 3.099,62 | 72.176,75 | 0,00 | 17.390,38 | 401.424,29 | 434.910,03 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 3 | 2 | 3.857,51 | 64.106,80 | 3.099,62 | 71.063,93 | 0,00 | 88.708,28 | 471.629,37 | 506.010,95 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 3 | 3 | 3.672,83 | 64.106,80 | 3.099,62 | 70.879,25 | 0,00 | 175.737,91 | 558.474,32 | 592.530,59 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 4 | 1 | 4.970,34 | 64.106,80 | 3.099,62 | 72.176,75 | 7.499,51 | 8.673,45 | 400.206,87 | 423.370,22 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 4 | 2 | 3.857,51 | 64.106,80 | 3.099,62 | 71.063,93 | 19.500,11 | 31.421,23 | 433.842,43 | 449.402,93 |
| NISSAN LEAF TEKNA | 4 | 3 | 3.672,83 | 64.106,80 | 3.099,62 | 70.879,25 | 31.190,12 | 54.839,30 | 468.765,83 | 482.098,07 |

Fonte: Autoria própria.

# APÊNDICE B – Artigo científico

## ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS E VEÍCULOS A COMBUSTÃO INTERNA

## *TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS BETWEEN ELECTRIC VEHICLES AND INTERNAL COMBUSTION VEHICLES*


### RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de caso para uma família com residência na cidade de Campo Grande – MS em que é feito uma proposta técnica e econômica comparativa entre a utilização de veículos a combustão interna (VCI) e veículos elétricos (VE), modelos 2023, em 4 categorias diferentes. O Caso 1 envolve a análise dos subcompactos Fiat Mobi Like e Jac e-JS1. O Caso 2, os compactos Hyundai HB20 Sense e Peugeot E-208 GT. O Caso 3, os médios Nissan Versa Sense e BYD Dolphin GS 180EV. O Caso 4 para os grandes Nissan Leaf Tekna e Toyota Corolla Cross XR 20. Também, é analisado a hipótese da utilização ou não de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR). Foram criados 3 cenários de utilização baseados na distância diária percorrida, sendo 10%, 50% e 100% da autonomia do VE. Os resultados alcançados mostram que, em cada categoria pesquisada, a viabilidade dos veículos elétricos está condicionada à distância diária percorrida para que o seu menor custo operacional compense o maior custo com a aquisição do veículo se comparado ao veículo a combustão interna.

Palavras-chave: análise técnica. análise econômica. veículo elétrico. mobilidade elétrica.


### *ABSTRACT*

*This article presents a case study for a family living in the city of Campo Grande – MS in which a technical and economic comparative proposal is made between the use of internal combustion vehicles (VCI) and electric vehicles (EV), 2023 models, in 4 different categories. Case 1 involves the analysis of the Fiat Mobi Like and Jac e-JS1 subcompacts. Case 2, the compact Hyundai HB20 Sense and Peugeot E-208 GT. Case 3, the midsize Nissan Versa Sense and BYD Dolphin GS 180EV. Case 4 for the large Nissan Leaf Tekna and Toyota Corolla Cross*

*XR 20. The hypotheses of using or not using a photovoltaic system connected to the grid (SFVCR) and 3 scenarios based on the daily distance covered by the EV are analyzed, being 10%, 50 % and 100% of its autonomy. The results achieved show that, in each category researched, the viability of electric vehicles is conditioned by the daily distance traveled so that their lower operating cost compensates for the higher cost of purchasing the vehicle compared to internal combustion vehicles.*

Keywords: technical analysis. economic analysis. electric vehicle. electric mobility.

## 1 INTRODUÇÃO

Os veículos elétricos (VE) têm sido implementados ao redor do mundo como solução para a redução das emissões dos gases do efeito estufa para veículos de transporte de pessoas, conforme o acordo de Paris de 2015, em que tem sido proposto a substituição dos atuais veículos a combustão interna (VCI) pelos VE (NEALER, REICHMUTH e ANAIR, 2015).

Para sua aceitação no mercado, vários países têm implementado medidas de incentivos econômicos para a aquisição dos veículos elétricos pelo consumidor, entre os quais a isenção de taxas de importação, o bônus ambiental que se reverte em desconto para a aquisição do veículo, a revisão do regime tributário de veículos, sendo reduzidos os valores com registro de veículos e licenciamento, a possibilidade de utilização das faixas do transporte público, estacionamentos exclusivos, estações de recarga públicas e isenção de pagamento de pedágios em rodovias (VIEIRA *et al.*, 2021).

Segundo notícia veiculada por R7 (2023), no Brasil, porém, ainda não foram promulgadas leis federais, estaduais e municipais com incentivos econômicos para os VEs, tais como redução no Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). Segundo relatórios de 2022 até setembro de 2023 da ANFAVEA (2023), os VEs são 0,46% do total de automóveis e comerciais leves licenciados no Brasil.

Conforme Vieira et al. (2021), uma das preocupações dos consumidores referentes aos veículos elétricos são: o custo elevado para aquisição, falta de infraestrutura para recarga e autonomia do veículo. Sendo que o custo elevado tem um fator impeditivo na substituição da frota de VCIs por VEs.

Dado o custo maior de aquisição dos VEs, que é um dos fatores decisórios na implementação da nova tecnologia e dado sua maior eficiência em comparação aos VCIs, esse trabalho se propôs a estudar essa relação, analisando a viabilidade econômica em pares de veículos em 4 categorias diferentes: os subcompactos, compactos, médios e grandes conforme classificação do INMETRO (2023a).

Outros autores investigaram sobre esse tema, com análises de custos de operação do veículo (Antunes, 2018; Andrade, 2022; Galeski, 2023; Dutra, 2020; Pezerico, 2020), alguns apresentaram a solução com a utilização de sistema fotovoltaico para fornecer energia ao VE (Casagrande Junior et al. 2019; Thomé, 2021; Pezerico, 2020; Lucca, 2021; Sousa et al., 2022; Zanella, 2022; Oliveira et al., 2018) e para a análise financeira utilizaram VPL, TIR e Payback (Cavalcante Júnior & Couras, 2021; Sousa et al., 2022; Zanella, 2022; Félix, 2021; Coimbra et al., 2020). As conclusões dos autores variam sobre a utilização do VE ser mais vantajosa ou não do que o VCI.

Assim, esse trabalho tem o objetivo geral de contribuir para a economia e ser um guia decisório para os consumidores que tem se interessado pelos VE e para a sustentabilidade pela substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos alimentados por geração renovável fotovoltaica.

## 2 METODOLOGIA DE ANÁLISE

A pesquisa quanto ao procedimento de coleta de dados se caracteriza como um Estudo de Caso. Fizeram-se levantamentos bibliográficos em livros, normas técnicas, em artigos científicos, em dissertações, resoluções, leis e outros materiais. Desta forma, informações relevantes sobre o tema foram adquiridas, para que as obtenções de dados e recomendações de procedimentos técnicos fossem adequados. Com a busca por informações relevantes em outros trabalhos, obteve-se auxílio sobre o tema em estudo, sendo esses, portanto, fontes de dados secundários. A pesquisa teve caráter interdisciplinar, pois integrou informações, dados, técnicas, perspectivas, conceitos e teorias de engenharia elétrica, física, eficiência energética, entre outros, na busca de análises e soluções da pesquisa. Foram realizadas visitas *in loco* para caracterizar o ambiente de estudo, além de se verificar as condições da instalação elétrica do local e determinação do SFVCR.

## 2.1 Cenários, hipóteses e delimitação do período

A Tabela 71 mostra os 4 casos e 3 cenários de estudo, baseados na autonomia de 10%, 50% e 100% do VE, conforme dados do INMETRO (2023a), visto que isto influencia no consumo de energia, no tamanho do SFVCR e nos custos envolvidos. Foram consideradas 4 hipóteses para o combustível: gasolina, etanol, energia elétrica proveniente da concessionária Energisa MS e a utilização do SFVCR. As categorias dos veículos foram definidas conforme INMETRO (2023b).

Tabela 71 – Dados de consumo e geração de energia elétrica (EE) para o cenário 1.

| C. | Categoria | Veículo | Tipo | Cenários (km) | | | Hipótese | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Sub Compacto | *Fiat Mobi Like* | VCI | 16,1 | 80,5 | 161 | G | Et | | |
| | | *Jac e-JS1* | VE | | | | | | El | El + SFVCR |
| 2 | Compacto | *Hyundai HB20 Sense* | VCI | 22 | 110 | 220 | G | Et | | |
| | | *Peugeot E-208 GT* | VE | | | | | | El | El + SFVCR |
| 3 | Médio | *Nissan Versa Sense* | VCI | 29,1 | 145,5 | 291 | G | Et | | |
| | | *BYD Dolphin GS 180EV* | VE | | | | | | El. | El + SFVCR |
| 4 | Grande | *Toyota Corolla Cross XR 20* | VCI | 19,2 | 96 | 192 | G | Et | | |
| | | *Nissan Leaf Tekna* | VE | | | | | | El | El + SFVCR |

Fonte: Autoria própria.

Notas. C.: Caso. Et: Etanol; G: Gasolina; El: Eletricidade; SFVCR: Sistema fotovoltaico conectado à rede. VE: Veículo elétrico. VCI: Veículo a combustão interna.

Foi considerado o período de análise de 96 meses, iniciado em agosto de 2023, pois a vida útil das baterias está projetada entre 150 mil km a 200 mil km ou 96 meses (Motor Passion, 2022; Nissan 2023a).

## 2.2 Caracterização do ambiente de estudo

O local estudado é uma residência localizada no bairro Nova Campo Grande em Campo Grande, MS, onde moram 2 pessoas e uma área de 794 m², em que a área da casa com as seguintes coordenadas, latitude -20.458075°e longitude -54.692725°. Possui um consumo médio de 181 kWh, baseado nas faturas de energia elétrica de janeiro de 2022 a dezembro de 2023.

## 2.3 Caracterização dos veículos

Foram utilizados os dados de consumo dos veículos disponibilizados pelo INMETRO (2023a) e estão mostrados na Tabela 6. A autonomia considerada foi de 45% para uso em estrada e 55% na cidade.

Tabela 72 – Dados de consumo dos veículos.

| Veículo | Cidade (km/l) | | | Estrada (km/l) | | | CE (MJ/km) | Aut. (km) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Et | G | El[1] | Et | G | El[1] | | |
| *Fiat Mobi Like* | 9,6 | 13,5 | | 10,4 | 15,0 | | 1,50 | |
| *Jac e-JS1* | | | 40,9 | | | 30,3 | 0,57 | 161 |
| *Hyundai HB20 Sense* | 9,6 | 13,3 | | 10,4 | 14,6 | | 1,52 | |
| *Peugeot E-208 GT* | | | 37,8 | | | 30,8 | 0,59 | 220 |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | | | 51,9 | | | 43,5 | 0,42 | 291 |
| *Nissan Versa Sense* | 7,9 | 11,5 | - | 10,2 | 14,7 | | 1,70 | |
| *Nissan Leaf Tekna* | | | 38,7 | | | 31,9 | 0,58 | 192 |
| *Toyota Corolla Cross XR 20* | 8,2 | 11,7 | | 9 | 13 | | 1,76 | |

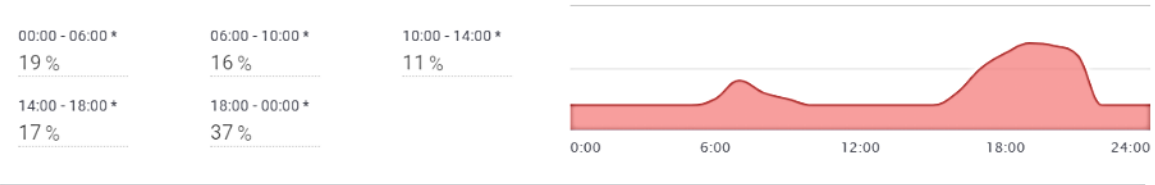
Fonte: Adaptado de INMETRO (2023a).

Notas. Et: Etanol; G: Gasolina; El: Eletricidade; CE: Consumo energético; Aut.: autonomia.[1] km/l equivalente.

## 2.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede

Para a Hipótese 4, foi considerada a utilização do painel fotovoltaico *Empalux MF00500* que possui uma potência pico de 500 Wp segundo STC. O SFVCR tem um azimute de 3° com inclinação do telhado de 15°. Foi utilizado o programa *Solar Edge Designer* para o dimensionamento do SFVCR. Foi considerada a curva de carga "residência com uma ou duas pessoas" como consumo típico diário para a residência que está mostrada na Figura 1. Assim, foi considerada a simultaneidade entre a geração e o consumo instantâneo realizado pela residência no valor de 66,83 kWh.

Figura 1 – Curva de carga típica adotada para a residência para os sistemas fotovoltaicos.




Fonte: Solar Edge (2023).

## 2.5 Custo da energia elétrica

Para a análise dos gastos com energia elétrica, fez-se os cálculos de faturamento para o Grupo B, classe residencial e para a Hipótese 4, a utilização da geração distribuída tipo II (GD II). Para a determinação da taxa de atualização monetária, foi feito o levantamento das tarifas de energia elétrica para clientes residenciais B1 da Energisa MS consultando os relatórios presentes na página da ANEEL (2023), desde 2019 até 2023. Foi utilizada a média aritmética do crescimento percentual da TUSD de 13,32% e TE de 4,96%. Os valores são atualizados em abril de cada ano nos reajustes tarifários e revisões tarifárias.

O Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), possuem uma média aritmética para o PIS de 1,0845% e COFINS de 4,999%, para os meses de janeiro de 2023 a agosto de 2023, conforme consta em Energisa MS (2023).

O imposto estadual de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), baseia-se no Decreto nº 9.203, de 18 de setembro de 1998 de Mato Grosso do Sul, que pode ser consultado em LEGISWEB (2022). Para a classe residencial, o ICMS cobrado depende do consumo: 17% para o consumo de 1 a 200 kWh; 20% para a faixa de 201 a 500 kWh; 25% com consumos superiores a 501 kWh.

A COSIP é um imposto municipal que para Campo Grande MS, obedece a Lei complementar nº 58 de 30 de setembro de 2003, na qual cria faixas de consumo com alíquotas que se refletem no custo total mensal do serviço de iluminação pública do município. Conforme notícia divulgada pela A Crítica (2017), em julho de 2016 o custo total do serviço (Cil) era de R$ 369,03. E no final de 2022 o valor é de R$ 466,00. Assim, no período de 6 anos houve um aumento de 3,965% anuais.

Foi considerada a bandeira tarifária verde.

Para o cálculo mensal da tarifa de energia elétrica cobrada do consumidor ($T_{EE}$), utiliza-se a Eq. (42), que foi enunciada conforme ANEEL (2016) e, posteriormente, alterada a incidência do ICMS de acordo a Brasil (2022a). Para o caso de haver geração distribuída na unidade consumidora, a Eq. (30) também é aplicada ao consumidor. O desconto da TE para o GD II é de 100% e a TUSD é calculada conforme a Eq. (31), os valores de $R_{(n)}$ estão contidos na Tabela 7

O custo total com energia elétrica foi calculada pela (26), sendo realizado o rateio entre o VE e a residência, conforme as Eq. (27) e (28).

$$T_{EE(n)} = \frac{TUSD_{(n)} + TE_{(n)}}{\left(1 - PIS_{(n)} - COFINS_{(n)}\right) * (1 - ICMS_{(n)})} \quad (42)$$

$$T_{DGD(mn)} = I_{TUSD\ (mn)} \cdot TUSD_{(n)} + I_{TE\ (mn)} \cdot TE_{(n)} \quad (43)$$

$$I_{TUSD\ (n)} = \frac{1 - (R_{(n)} \cdot TUSDFIOB_{(n)})}{TUSD_{(n)}} \quad (44)$$

$$C_{EE\ (n)} = T_{EE(n)}E_{(n)} + E_{(n)}B_{Tarifária(n)} + COSIP_{(n)} + T_{DGD(n)}E_{Inj(n)} \quad (45)$$

$$C_{VEE(n)} = (E_{V(n)}/E_{(n)}) \cdot C_{EE(n)} \quad (46)$$

$$C_{REE(n)} = (E_{R(n)}/E_{(n)}) \cdot C_{EE(n)} \quad (47)$$

Sendo,

*n*: mês de referência;

*m*: tipo de geração distribuída. Podendo ser GD I, GD II ou GD III;

$B_{Tarifária(n)}$: Valor da bandeira tarifária cobrado do consumidor no mês n (R$/kWh);

$C_{EE(n)}$: Custo com energia elétrica no mês n (R$);

$COFINS_{(n)}$: Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social incidente no mês n (%);

COSIP: Imposto para a contribuição da iluminação pública (R$);

$C_{VEE(n)}$: Custo com energia elétrica apropriado ao veículo no mês n (R$);

$E_{R(n)}$: Energia elétrica consumida pela residência no mês n (kWh);

$ICMS_{(n)}$: Imposto Estadual de Circulação de Mercadorias e Serviços incidente no mês n (%);

$I_{TUSD(mn)}$: Desconto para a TUSD conforme o tipo de geração distribuída (%);

$PIS_{(n)}$: Programa de Integração Social incidente no mês n (%);

$T_{DGD(n)}$:Tarifa de acordo ao tipo de faturamento da geração distribuída (R$/kWh).

$T_{EE\ (n)}$: Valor da tarifa cobrado do consumidor no mês n (R$/kWh);

$C_{REE(n)}$: Custo com energia elétrica apropriado a residência no mês n (R$);

$E_{inj(n)}$: Energia injetada no mês n (kWh)

$E_{(n)}$: Energia elétrica consumida no mês n; para o uso do sistema fotovoltaico foi denominada EGD. (kWh);

$E_V$(n): Energia elétrica consumida pelo veículo no mês n (kWh);

$TE_{(n)}$: Valor da Tarifa de Energia divulgado pela ANEEL para o mês n (R$/kWh);

$TUSD_{(n)}$: Valor da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição divulgado pela ANEEL para o mês n (R$/kWh);

$TUSDFIOB_{(n)}$: Valor da componente da TUSD que compõem a Parcela B para o mês *n* (R$/kWh).

Tabela 73 – Índice percentual incidente (R) sobre a componente de custo da tarifa de energia.

| Ano | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R | 15% | 30% | 45% | 60% | 75% | 90% |

Fonte: Brasil (2022b)

A Eq. (14) foi utilizada para os custos associados aos veículos. Para a residência, a Eq. (17). Para o custo inicial que também será o investimento inicial na análise financeira a Eq. (18). Para o custo total, a Eq. (19), o custo total acumulado, a Eq. (20) e o custo com combustível a Eq. (34).

$$C_{V(n)} = C_{VAq(n)} + C_{VInfr(n)} + C_{VEn(n)} + C_{VRev(n)} + C_{VIPVA(n)} + C_{VLic(n)} + C_{VSFVCR(n)} \quad (48)$$

$$C_{R(n)} = C_{RSFVCR\,(n)} + C_{REE(n)} \quad (49)$$

$$C_{I(n)} = C_{VAq(n)} + C_{VInfr(n)} + C_{AQSFVCR(n)} \quad (50)$$

$$C_{T(n)} = C_{V(n)} + C_{R(n)} \quad (51)$$

$$C_{TA(n)} = \sum_{n}^{0} C_{T(n)} \quad (52)$$

$$C_{VC(n)} = P_n Q_n \quad (53)$$

Sendo,

*n*: mês de referência;

$C_{R(n)}$: Custo referente a residência no mês n (R$).

$C_{RSFVCR(n)}$: Custo apropriado para o veículo com a aquisição e instalação do sistema fotovoltaico no mês n (R$);

$C_{REE(n)}$: Custo de energia elétrica da residência no mês n (R$).

$C_{T(n)}$: Custo total no mês n (R$).

$C_{TA(n)}$: Custo total acumulado no mês n (R$).

$C_{V(n)}$: Custo do veículo no mês n (R$);

$C_{VAq(n)}$: Custo de aquisição do veículo que se aplica somente no mês 0 (R$);

$C_{VC(n)}$: Custo do consumo do combustível no mês n (R$);

$C_{VEn(n)}$: Custo com o consumo de energia pelo veículo no mês n (R$).

$C_{VInfr(n)}$: Custo com a infraestrutura para a instalação da estação de recarga que se aplica somente no mês 0 (R$);

$C_{VIPVA(n)}$: Custo com o IPVA no mês n (R$);

$C_{VLic(n)}$: Custo com a taxa de Licenciamento do veículo no mês n (R$);

$C_{VRev(n)}$: Custo com as revisões de 10 mil km ou 12 meses no mês n (R$);

$C_{VSFVCR}$: Custo apropriado para o veículo com a aquisição e instalação do sistema fotovoltaico no mês n (R$);

$P_{(n)}$: Preço do combustível, etanol ou gasolina, no mês n (R$/l);

$Q_{(n)}$: Quantidade de combustível (l).

Para os custos de revisão dos veículos ($C_{VRev}$), consultou-se a página oficial das montadoras dos veículos (Fiat, Nissan, Jac, BYD, Peugeot, Hyundai e Toyota) na data de 24 de agosto de 2023. Foram usados os custos a cada 10.000 km percorridos até 60.000 km. O Peugeot E-208 GT foi a exceção, apresentando revisões a cada 20.000 km. Esse custo se refere apenas a serviços determinados e não estão incluídas as trocas de peças do veículo. O $C_{Rev}$ foi atualizado pela média aritmética mensal do índice IGP-M de 0,7619% de 01/2016 a 12/2022.

O Licenciamento se baseia em um valor determinado pelo DETRAN MS (2022) de acordo a Eq. (36). conforme Mato Grosso do Sul (2023).

$$C_{Vlic(n)} = 4{,}53 \cdot UFERMS_{(n)} \tag{54}$$

Sendo,

*n*: mês de referência;

$C_{VLic(n)}$: Custo com o licenciamento no mês n (R$);

$UFERMS_{(n)}$: Unidade Fiscal de Referência de Mato Grosso do Sul.

Para o IPVA e o valor de revenda, utilizou-se a Tabela FIPE (2023). que fornece os preços médios de veículos. Foi feito uma busca com modelos e anos anteriores para saber o percentual de atualização monetária que estão descritos no Quadro 10. Para o Peugeot e-208 GT que somente possui dados a partir de 2022 e BYD Dolphin possui dados a partir de julho de 2023, foi considerada a mesma atualização do Nissan Leaf.

Quadro 11 – Veículos encontrados na Tabela FIPE para o cálculo do IPVA e Revenda.

| Veículo | Veículo considerado | Modelo |
|---|---|---|
| *Fiat Mobi Like* | *FIAT MOBI LIKE 1.0 Fire Flex 5p* | 2017 |
| *JAC e-JS1* | *JAC e-JS1 62cv 5p Aut. (elétrico)* | 2022 |
| *Hyundai HB20 Sense* | *HB20 Sense 1.0 Flex 12V Mec.* | 2021 |
| *Peugeot e-208 GT* | *NISSAN LEAF Aut. (Elétrico)* | 2021 |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | *NISSAN LEAF Aut. (Elétrico)* | 2021 |
| *Nissan Versa Sense* | *VERSA Sense 1.6 16V Flex Aut.* | 2022 |
| *Nissan Leaf Tekna* | *NISSAN LEAF Aut. (Elétrico)* | 2021 |
| *Toyota Corolla Cross XR 20* | *Toyota Corolla Cross XR 20* | 2021 |

Fonte: Autoria própria.

Para o IPVA, foi considerada a Eq. (37) (DETRAN MS, 2023b).

$$C_{VIPVA\,(n)} = 3\% \cdot C_{Vaq(n)} \tag{55}$$

Sendo,

*n*: mês de referência;

$C_{VAq(n)}$: Custo de aquisição do veículo (R$);

$C_{VIPVA(n)}$: Custo com o IPVA no mês n (R$);

Foi feito o levantamento dos preços mensais da gasolina e etanol de janeiro de 2016 a junho 2023 por meio dos relatórios do Brasil (2023). Foram selecionados os preços praticados pelos postos de combustíveis referentes a cidade de Campo Grande/MS e efetuado uma média aritmética mensal, com uma taxa de crescimento médio mensal do valor do combustível de 0,526% para gasolina e 0,418% para o etanol.

## 2.6 Custo de aquisição e infraestrutura da estação de recarga ($C_{VInfr}$)

O $C_{VInfr}$ envolve custos com os materiais, equipamentos, projeto elétrico e mão de obra, que foram orçados em 24 de fevereiro de 2023. Foram pesquisados os custos com materiais e equipamentos em páginas da Internet conforme Quadro 12.

Quadro 12– Relação de materiais com as fontes de referência.

| Descrição | Referência |
|---|---|
| 1 x Carregador ABB Terra AC Wall Box 7,4kW, cabo e conector AC tipo 2, RFID. | (ABB, 2023) |
| 1 x Caixa de proteção ABB para carregadores de 7,4 kW, conexão FF. | (ABB, 2023) |
| 42 m de Cabo CU isolado XLPE 90º 6mm² SIL. | (MERCADO LIVRE, 2023a) |
| 1 Eletroduto Galvanizado Zincado Leve 3/4 - 3 metros. | (MERCADO LIVRE, 2023b) |
| Acessórios (parafusos, fita isolante, abraçadeira, terminal cabos). | Autoria Própria |
| Mão de obra eletricista (diária). | Autoria Própria |
| Projeto Engenheiro. | Autoria Própria |

Fonte: Autoria própria.

## 2.7 Custos com o sistema fotovoltaico conectado à rede

Foram solicitados orçamentos a empresas do setor de energia fotovoltaica localizadas na cidade de Campo Grande – MS em 01/2023 e efetuada a regressão linear dos custos médios, conforme Cia et al. (2013) o que gerou a Eq. (56).

$$y = 22{,}991x + 3435 \tag{56}$$

Sendo,

x: Energia média gerada pelo sistema fotovoltaico.

y = Custo de aquisição (R$);

A Eq. (23) apresenta o custo do sistema fotovoltaico ($C_{SFVCR}$). Esse custo foi rateado para o VE e a residência, conforme as Eq. (24) e (25). (MARTINS, 2018)

$$C_{SFVCR(n)} = C_{AQSFVCR(n)} + C_{LSFVCR(n)} \tag{57}$$

$$C_{VSFVCR(n)} = (E_{V(n)}/G_{SFVCR(n)}) \cdot C_{SFVCR(n)} \tag{58}$$

$$C_{RSFVCR(n)} = (E_{R(n)}/G_{SFVCR(n)}) \cdot C_{SFVCR(n)} \tag{59}$$

Sendo,

n: mês de referência;

$C_{AQSFVCR}$: Custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico;

$C_{LSFVCR(n)}$: Custo de limpeza do sistema fotovoltaico no mês n (R$);

$C_{RSFVCR(n)}$: Custo apropriado a residência do sistema fotovoltaico no mês n (R$);

$C_{SFVCR(n)}$: Custo do sistema fotovoltaico no mês n (R$);

$C_{VSFVCR(n)}$: Custo apropriado ao veículo elétrico do sistema fotovoltaico no mês n (R$);

$E_{R\ (n)}$: Consumo de energia elétrica pela residência no mês n (kWh);

$G_{SFVCR(n)}$: Energia elétrica média necessária no mês n (kWh);

$E_{V(n)}$: Energia elétrica consumida pelo veículo elétrico no mês n (kWh).

Os custos com limpeza, sofreram a atualização baseada na média aritmética mensal do índice IGP-M de janeiro de 2016 a dezembro de 2022 de 0,7619%.

## 2.8 Atualização monetária

Para a atualização monetária foi utilizada a fórmula dos juros compostos, conforme a Eq. (22) (SAMANEZ, 2002).

$$M = C\ (1 + a)^t \tag{60}$$

Sendo,

M: Montante que é a soma do capital com os juros (R$);

C: Capital que é o valor inicial o qual incidirá os juros (taxa de atualização) (R$);

a: Taxa de juros (atualização) que é a porcentagem cobrada em cima do capital a cada instante (%);

t: é o tempo que será aplicado o capital.

## 2.9 Análise financeira

Foi utilizado o cálculo do VPL, Eq. (61), para as análises de viabilidade para todas as hipóteses, dentro de cada caso e cenário. Conforme Samanez (2002) e Gitman (2017), para os casos em que há projetos mutuamente excludentes, deve-se optar pela que possuir o maior VPL.

O Investimento inicial (I) é o mesmo valor do custo inicial ($C_I$) dado pela Eq (18). Utilizou-se a taxa de atratividade (TA) de 1,042% ao mês, que é a taxa Selic de 02 de agosto de 2023, para o período de 96 meses.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (61)$$

Sendo,

I: Investimento;

*n*: Número de períodos;

$FC_t$: Fluxo de Caixa no enésimo período;

i: Taxa de juros que iguala o valor da entrada das entradas e saídas de caixa (TIR);

k: taxa de atratividade para atualizar o fluxo de caixa.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Dimensionamento e custo do sistema fotovoltaico

A Tabela 74 apresenta os dados do dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, que foram utilizados para as Hipóteses 4 em todos os casos e cenários.

Tabela 74 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede.

| Caso | Cenário | $G_{SFVCR}$ (kWh/mês) | Painéis (Quant.) | $P_{SFV}$ (kWp) | $E_{SFVCR}$ (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 158 | 3 | 1,5 | 190 |
| | 2 | 465 | 8 | 4 | 508 |
| | 3 | 849 | 14 | 7 | 869 |
| 2 | 1 | 190 | 3 | 1,5 | 190 |
| | 2 | 623 | 11 | 5,5 | 702 |
| | 3 | 1164 | 19 | 9,5 | 1197 |
| 3 | 1 | 184 | 3 | 1,5 | 190 |
| | 2 | 592 | 10 | 5 | 639 |
| | 3 | 1103 | 19 | 9,5 | 1197 |
| 4 | 1 | 175 | 3 | 1,5 | 190 |
| | 2 | 548 | 9 | 4,5 | 578 |
| | 3 | 1015 | 17 | 8,5 | 1057 |

Fonte: Autoria própria

Notas. $G_{SFVCR}$: Geração de energia elétrica média necessária que o sistema fotovoltaico deve surprir a carga. $P_{SFV}$: Potência instalada do sistema fotovoltaico. $E_{SFVCR}$: Geração média mensal do sistema fotovoltaico.

Dado o dimensionamento, foi utilizado a Eq. (56) para a obtenção do $C_{AQSFVCR}$. O custo total com a limpeza do SFVCR ($C_{LSFVCR}$) foi de R$ 6.158,56 para todos os cenários e casos, as outras componentes dos custos estão apresentadas na Tabela 75. O custo para a residência apresenta valores inversamente proporcionais à distância percorrida pelo VE.

Tabela 75 – Resumo dos custos para os veículos a combustão interna.

| C. | Cen. | $C_{AQSFVCR}$ (R$) | $C_{SFVCR}$ (R$) | $E_V$ (kWh) | $E_R$ (kWh) | $E_T$ (kWh) | $C_{VSFVCR}$ (%) | $C_{RSFVCR}$ (%) | $C_{VSFVCR}$ (R$) | $C_{RSFVCR}$ (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 7.803,29 | 13.961,85 | 77 | 81 | 158 | 48,73% | 51,27% | 6.804,19 | 7.157,66 |
| | 2 | 15.114,43 | 21.272,99 | 384 | 81 | 465 | 82,58% | 17,42% | 17.567,37 | 3.705,62 |
| | 3 | 23.414,18 | 29.572,74 | 768 | 81 | 849 | 90,46% | 9,54% | 26.751,31 | 2.821,43 |
| 2 | 1 | 7.803,29 | 13.961,85 | 109 | 81 | 190 | 57,37% | 42,63% | 8.009,69 | 5.952,16 |
| | 2 | 19.574,68 | 25.733,24 | 542 | 81 | 623 | 87,00% | 13,00% | 22.387,51 | 3.345,73 |
| | 3 | 30.955,23 | 37.113,79 | 1083 | 81 | 1164 | 93,04% | 6,96% | 34.531,13 | 2.582,66 |
| 3 | 1 | 7.803,29 | 13.961,85 | 103 | 81 | 184 | 55,98% | 44,02% | 7.815,60 | 6.146,25 |
| | 2 | 18.126,25 | 24.284,81 | 511 | 81 | 592 | 86,32% | 13,68% | 20.962,06 | 3.322,75 |
| | 3 | 30.955,23 | 37.113,79 | 1022 | 81 | 1103 | 92,66% | 7,34% | 34.388,30 | 2.725,49 |
| 4 | 1 | 7.803,29 | 13.961,85 | 94 | 81 | 175 | 53,71% | 46,29% | 7.499,51 | 6.462,34 |
| | 2 | 16.723,80 | 22.882,36 | 467 | 81 | 548 | 85,22% | 14,78% | 19.500,11 | 3.382,25 |
| | 3 | 27.736,49 | 33.895,05 | 934 | 81 | 1015 | 92,02% | 7,98% | 31.190,12 | 2.704,93 |

Fonte: Autoria própria

Notas. C.: Caso. Cen.: Cenário. $C_{AQSFVCR}$: Custo de aquisição e instalação do sistema fotovoltaico. $C_{SFVCR}$: Custo total do sistema fotovoltaico. $C_{RSFVCR}$: Custo absorvido pela residência para o sistema fotovoltaico. $C_{VSFVCR}$: Custo absorvido pelo veículo para o sistema fotovoltaico. $E_V$: Consumo de energia elétrica do veículo. $E_R$: Consumo de energia elétrica da residência sem o custo de disponibilidade. $E_T$: Consumo total de energia elétrica para o sistema fotovoltaico.

Ainda, para a Hipótese 4, faturada como GD II, foram calculados a energia injetada na rede ($E_{Inj}$) e o consumo do cliente ($E_{GD}$) a serem cobrados pela distribuidora do cliente, sendo considerado a geração de energia do sistema fotovoltaico ($E_{SFVCR}$) e o autoconsumo da residência ($E_{AR}$) que estão apresentados na Tabela 76.

Tabela 76 – Cálculo de consumo e energia injetada para a geração distribuída.

| Caso | Cenário | $E_{To}$ (kWh) | $E_V$ (kWh) | $E_{RM}$ (kWh) | $E_{AR}$ (kWh) | $E_{RR}$ (kWh) | $E_{RVER}$ (kWh) | $E_{SFVCR}$ (kWh) | $E_{Exp}$ (kWh) | $E_{Inj}$ (kWh) | $E_{GD}$ (kWh) | $E_{cred}$ (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 258 | 77 | 181 | 66,83 | 114,17 | 191,17 | 190 | 123,17 | 91,17 | 100 | 32 |
| | 2 | 565 | 384 | 181 | 66,83 | 114,17 | 498,17 | 508 | 441,17 | 398,17 | 100 | 43 |
| | 3 | 949 | 768 | 181 | 66,83 | 114,17 | 882,17 | 869 | 802,17 | 782,17 | 100 | 20 |
| 2 | 1 | 290 | 109 | 181 | 66,83 | 114,17 | 223,17 | 190 | 123,17 | 123,17 | 100 | 0 |
| | 2 | 723 | 542 | 181 | 66,83 | 114,17 | 656,17 | 702 | 635,17 | 556,17 | 100 | 79 |
| | 3 | 1264 | 1083 | 181 | 66,83 | 114,17 | 1.197,17 | 1197 | 1.130,17 | 1.097,17 | 100 | 33 |
| 3 | 1 | 284 | 103 | 181 | 66,83 | 114,17 | 217,17 | 190 | 123,17 | 117,17 | 100 | 6 |
| | 2 | 692 | 511 | 181 | 66,83 | 114,17 | 625,17 | 639 | 572,17 | 525,17 | 100 | 47 |
| | 3 | 1203 | 1022 | 181 | 66,83 | 114,17 | 1.136,17 | 1197 | 1.130,17 | 1.036,17 | 100 | 94 |
| 4 | 1 | 275 | 94 | 181 | 66,83 | 114,17 | 208,17 | 190 | 123,17 | 108,17 | 100 | 15 |
| | 2 | 648 | 467 | 181 | 66,83 | 114,17 | 581,17 | 578 | 511,17 | 481,17 | 100 | 30 |
| | 3 | 1115 | 934 | 181 | 66,83 | 114,17 | 1.048,17 | 1057 | 990,17 | 948,17 | 100 | 42 |

Fonte: Autoria própria.

Notas. C.: Caso. Cen.: Cenário. $E_{To}$: Consumo total de energia elétrica para a unidade consumidora. $E_V$: Consumo de energia elétrica do veículo. $E_{RM}$: Consumo médio mensal de energia elétrica da residência. $E_{AR}$: Autoconsumo de energia elétrica da residência. $E_{RR}$: Energia a ser consumida da rede somente pela residência. $E_{RVER}$: Energia a ser consumida da rede pela unidade consumidora. $E_{SFVCR}$: Geração média mensal do sistema fotovoltaico. $E_{EXP:}$ Saldo entre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico e a autoconsumida pela residência. $E_{Inj}$: Energia injetada (Diferença entre $E_{RVER}$ e o custo de disponibilidade de 100 kWh). $E_{GD}$: Consumo a ser cobrada pela geração distribuída. $E_{Cred:}$ Saldo da energia a ser utilizada como crédito em contas futuras.

## 3.2 Custos

A Tabela 16 apresenta o orçamento para a execução do serviço para a instalação da estação de recarga ($C_{VInf}$), totalizando assim o de R$ 10.530,16.

Tabela 77 – Orçamento para infraestrutura de instalação da estação de recarga.

| Descrição | Total (R$) |
|---|---|
| Carregador ABB Terra AC Wall Box 7,4kW, cabo e conector AC tipo 2, RFID, ABB | 7.544,00 |
| Caixa de proteção para carregadores de 7,4 kW, conexão FF, ABB | 1.393,16 |
| Cabo CU isolado XLPE 90ºC 6mm² SIL | 246,22 |
| Eletroduto Galvanizado Zincado Leve 3/4 - 3 Metros | 26,78 |
| Acessórios (parafusos, fita isolante, etc.) | 70,00 |
| Mão de obra eletricista (diária) | 250,00 |
| Projeto Engenheiro | 1.000,00 |
| Total | 10.530,16 |

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 78 apresenta algumas componentes de custos dos veículos, onde pode ser observado a diferença de custos de aquisição ($C_{VAq}$), que se refletem no custo com o IPVA

($C_{VIPVA}$) e também o valor de revenda ($V_{Rev}$). O custo total com o licenciamento ($C_{VLic}$) para cada um dos veículos foi de R$ 3.099,62.

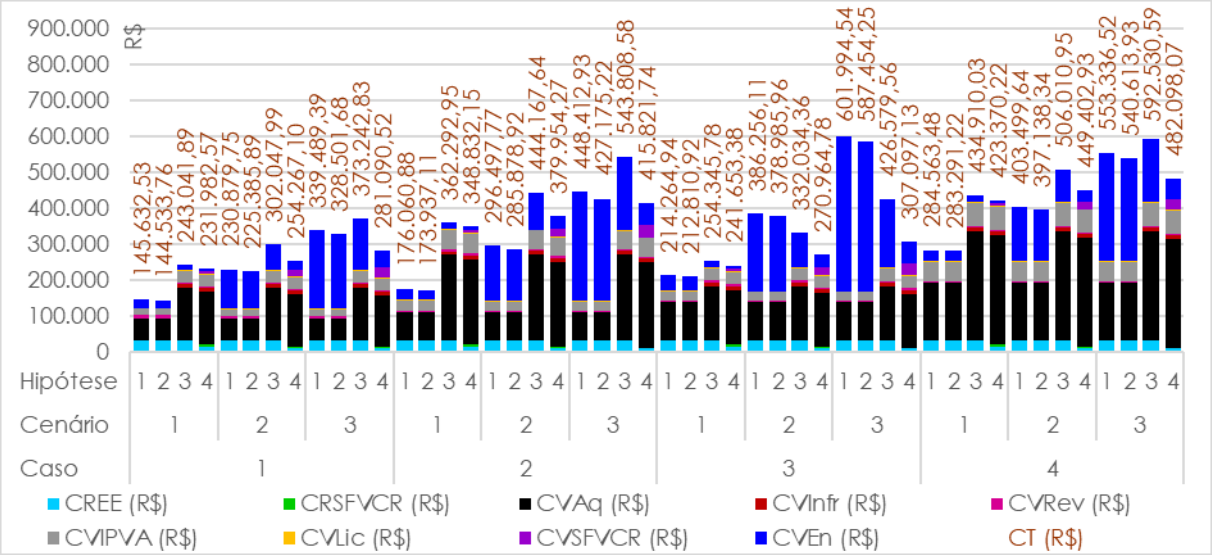
Tabela 78 – Resumo dos custos para os veículos a combustão interna.

| Veículo | $C_{VAq}$ (R$) | $C_{VIPVA}$ (R$) | $V_{Rev}$ (R$) |
|---|---|---|---|
| *Fiat Mobi Like* | 62.653,00 | 16.943,61 | 63.409,83 |
| *Jac E-JS1* | 144.297,00 | 33.298,25 | 141.969,71 |
| *Hyundai HB20 Sense* | 78.458,00 | 26.323,76 | 82.303,21 |
| *Peugeot E-208 GT* | 236.990,00 | 52.038,77 | 231.023,75 |
| *Nissan Versa Sense* | 106.937,00 | 23.481,45 | 104.244,85 |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | 149.802,00 | 32.893,84 | 146.030,72 |
| *Toyota Corolla Cross XR 20* | 159.633,00 | 53.688,07 | 167.521,10 |
| *Nissan Leaf Tekna* | 301.327,00 | 64.106,80 | 291.987,52 |

Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 apresenta as componentes de custos calculadas para todas as situações estudadas.

Figura 2 – Componentes de custos para o estudo.




Fonte: Autoria própria.

Notas. $C_{REE}$: Custo da residência com energia elétrica. $C_{RSFVCR}$: Custo absorvido pela residência para o sistema fotovoltaico. $C_{VAq}$: Custo com a aquisição do veículo. $C_{Vinfr}$: Custo com a instalação da estação de recarga. $C_{VIPVA}$: Custo com IPVA. $C_{VLic}$: Custo do veículo com licenciamento. $C_{VSFVCR}$: Custo absorvido pelo veículo para o sistema fotovoltaico. $C_{VEn}$: Custo do veículo com energia elétrica, gasolina ou etanol para o veículo. $C_T$: Custo total.

Para os Casos 1, 2 e 4 e Cenários 1 e 2, o uso do VCI com etanol (Hipótese 2) se mostrou a mais barata seguida pelo VCI a gasolina (Hipótese 1), depois pelo VE com o SFVCR (Hipótese 4) e por último a utilização do VE com a energia elétrica proveniente da concessionária (Hipótese 3). Para o Cenário 3, o custo total ($C_T$) apresentou a seguinte ordem de custo, do

mais baixo para o mais alto: Hipótese 4, Hipótese 2, Hipótese 1, e Hipótese 3. Mostrando que os custos operacionais com o VE são menores do que o VCI, principalmente na componente energia ($C_{VEn}$), compensando os custos iniciais ($C_I$).

O Caso 3 apresenta uma particularidade, visto que apresenta a menor diferença entre os custos com a aquisição dos veículos de R$ 42.865,00, mesmo assim, para o Cenário 1, com a distância diária percorrida de 29,10 km, o VE continua sendo mais caro do que o VCI. Assim, para esse cenário, teve a seguinte ordem : Hipótese 2, Hipótese 1, Hipótese 4 e Hipótese 3. Para os Cenários 2 e 3 a utilização do VE com o SFVCR se mostrou mais barata, esses cenários ficaram com a seguinte ordem: Hipótese 4, Hipótese 3, Hipótese 2, e Hipótese 1.

As trocas de peças não estão no escopo deste estudo, no entanto, conforme Nissan (2023b), a troca da bateria do VE deve acontecer com 160.000 km ou 96 meses, que segundo a Revista Carro (2019) possui um custo de 200 dólares por quilowatt (kWh), com cotação do dólar para fevereiro de 2023 de R$ 5,1785 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2023). A Tabela 79 mostra os custos com a troca da bateria, como por exemplo, para o *BYD Dolphin* e Cenário 3, um custo superior à da aquisição do veículo.

Tabela 79 – Custos aproximados com trocas das baterias para os veículos elétricos.

| Veículo | Bateria (kWh) | Distância total percorrida (km) | | | Trocas de bateria | | | Valor (R$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cenários | | | Cenários | | | Cenários | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| *Jac e-JS1* | 30,0 | 46.368 | 231.840 | 463.680 | 0 | 1 | 2 | 0,00 | 31.071,00 | 62.142,00 |
| *Peugeot E-208 GT* | 50,0 | 63.360 | 316.800 | 633.600 | 0 | 1 | 3 | 0,00 | 51.785,00 | 155.355,00 |
| *BYD Dolphin GS 180EV* | 44,9 | 83.808 | 419.040 | 838.080 | 0 | 2 | 5 | 0,00 | 93.005,86 | 232.514,65 |
| *Nissan Leaf Tekna* | 40,0 | 55.296 | 276.480 | 552.960 | 0 | 1 | 3 | 0,00 | 41.428,00 | 124.284,00 |

Fonte: Autoria própria.

### 3.3 Análise de viabilidade financeira

Os resultados para a análise de viabilidade financeira para o Caso 1, estão apresentados na Tabela 52, ordenada para cada cenário em ordem decrescente do valor do VPL.

Tabela 80 – Análise de viabilidade financeira para o Caso 1, ordenada do maior para o menor VPL.

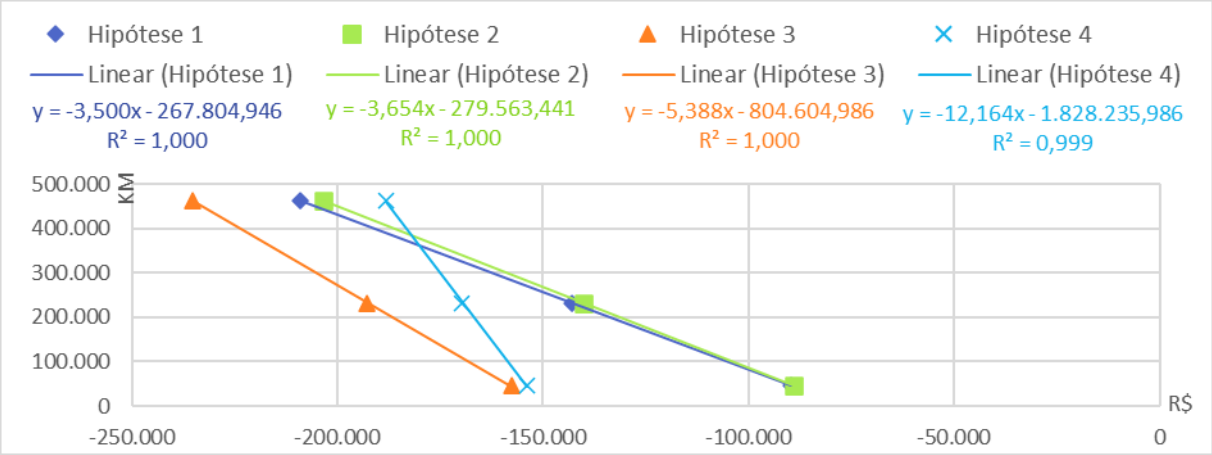
| Cenário 1 | | | Cenário 2 | | | Cenário 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) |
| 2 | -63.650,88 | -89.128,78 | 2 | -63.650,88 | -140.103,84 | 4 | -180.259,77 | -188.187,61 |
| 1 | -63.650,88 | -89.685,98 | 1 | -63.650,88 | -142.889,86 | 2 | -63.650,88 | -203.358,27 |
| 4 | -164.648,88 | -153.848,30 | 4 | -171.960,01 | -169.835,71 | 1 | -63.650,88 | -208.930,32 |
| 3 | -156.845,59 | -157.603,35 | 3 | -156.845,59 | -193.007,72 | 3 | -156.845,59 | -235.114,97 |

Fonte: Autoria própria.

Notas. Hip.: hipótese. I: investimento.

A Figura 3 apresenta as retas e equações encontradas utilizando a regressão linear dos VPLs de cada hipótese contidas na Tabela 52. A resolução dessas equações das Hipóteses 1 e 2 com a Hipótese 3 e 4, mostra que os VPLs se tornam maiores para a Hipótese 3 a partir de 252,54 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 287,10 km por dia à Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 125,89 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 133,82 km por dia à Hipótese 2.

Figura 3 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 1.




Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 2, foram geradas a Tabela 81 e a Figura 4, em que o VPL se torna maior para a Hipótese 3 a partir de 462,88 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 563,28 km por dia à Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 228,23 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 249,91 km por dia à Hipótese 2.

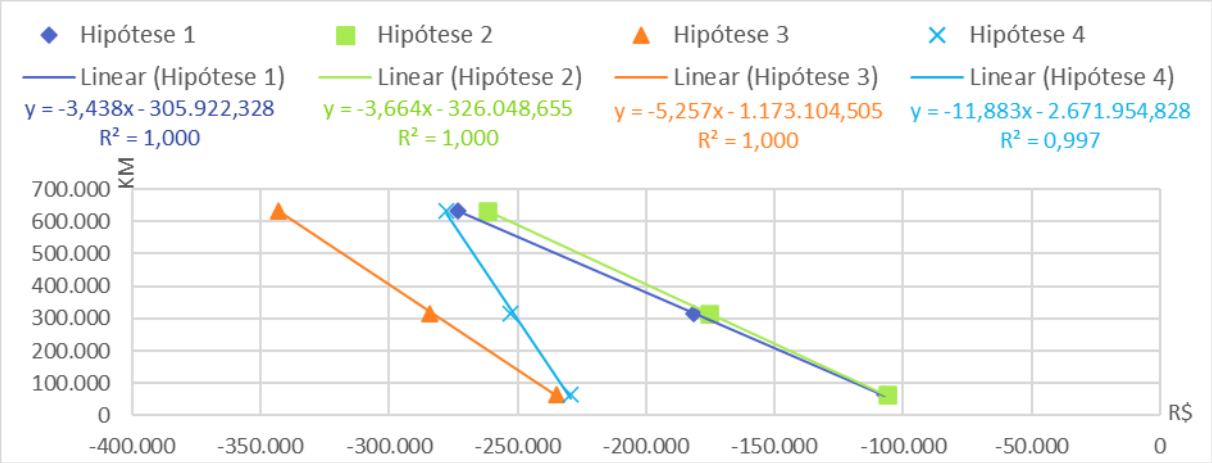
Tabela 81 – Análise de viabilidade financeira para o Caso 2, ordenada do maior para o menor VPL.

| Cenário 1 | | | Cenário 2 | | | Cenário 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) |
| 2 | -79.653,44 | -106.219,25 | 2 | -79.653,44 | -175.539,83 | 2 | -79.653,44 | -261.855,17 |
| 1 | -79.653,44 | -107.356,85 | 1 | -79.653,44 | -181.227,85 | 1 | -79.653,44 | -273.231,21 |
| 4 | -258.500,54 | -229.482,51 | 4 | -270.271,93 | -252.910,80 | 4 | -281.652,48 | -277.505,46 |
| 3 | -250.697,25 | -234.711,55 | 3 | -250.697,25 | -284.350,37 | 3 | -250.697,25 | -343.267,74 |

Fonte: Autoria própria.

Notas. Hip.: hipótese. I: investimento.

Figura 4 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 2.




Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 3, foram geradas a Tabela 82 e a Figura 5. Para esse caso, o VPL se torna maior para a Hipótese 3 a partir de 89,62 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 93,82 km por dia para a Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 64,85 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 66,96 km por dia à Hipótese 2.

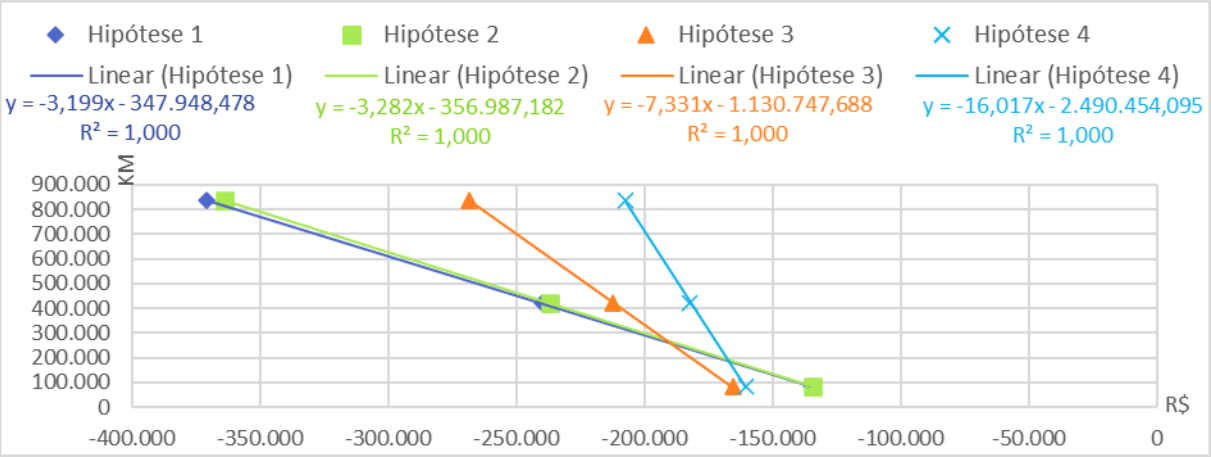
Tabela 82 – Análise de viabilidade financeira para o Caso 3, ordenada do maior para o menor VPL.

| Cenário 1 | | | Cenário 2 | | | Cenário 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) |
| 2 | -108.488,43 | -134.136,98 | 4 | -180.545,65 | -182.208,15 | 4 | -193.374,63 | -207.562,74 |
| 1 | -108.488,43 | -134.800,36 | 3 | -162.419,40 | -212.302,07 | 3 | -162.419,40 | -268.153,10 |
| 4 | -170.222,69 | -160.427,58 | 2 | -108.488,43 | -236.770,87 | 2 | -108.488,43 | -363.998,37 |
| 3 | -162.419,40 | -165.188,01 | 1 | -108.488,43 | -240.087,73 | 1 | -108.488,43 | -370.632,10 |

Fonte: Autoria própria.

Notas. Hip.: hipótese. I: investimento.

Figura 5 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 3.




Fonte: Autoria própria.

Para o Caso 4, foram geradas a Tabela 83 e a

Figura 6. Para esse caso, os VPLs se tornam maiores para a Hipótese 3 a partir de 289,25 km percorridos por dia se comparado a Hipótese 1 e 314,63 km por dia à Hipótese 2. Para a Hipótese 4, a partir de 167,48 km percorridos por dia se comparado à Hipótese 1 e 175,59 km por dia à Hipótese 2.

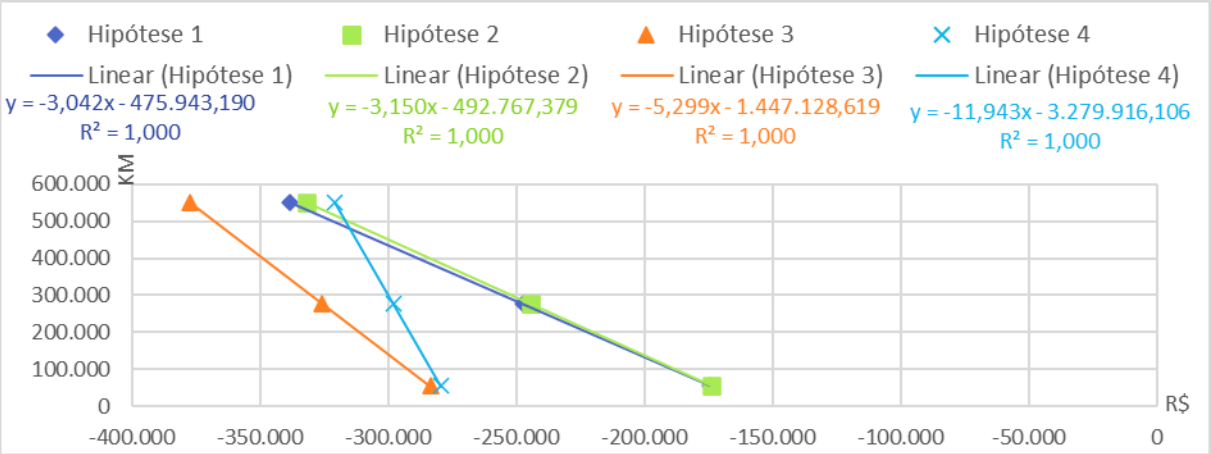
Tabela 83 – Análise de viabilidade financeira para o Caso 3, ordenada do maior para o menor VPL.

| Cenário 1 | | | Cenário 2 | | | Cenário 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) | Hip. | I (R$) | VPL (R$) |
| 2 | -161.843,13 | -173.959,68 | 2 | -161.843,13 | -244.324,75 | 4 | -343.574,95 | -320.810,54 |
| 1 | -161.843,13 | -174.580,29 | 1 | -161.843,13 | -247.427,78 | 2 | -161.843,13 | -331.977,18 |
| 4 | -323.641,75 | -279.113,85 | 4 | -332.562,26 | -298.071,62 | 1 | -161.843,13 | -338.183,24 |
| 3 | -315.838,46 | -283.171,35 | 3 | -315.838,46 | -326.003,16 | 3 | -315.838,46 | -377.158,51 |

Fonte: Autoria própria.

Notas. Hip.: hipótese. I: investimento.

Figura 6 – Regressão linear do VPL pela distância total percorrida para o Caso 4




Fonte: Autoria própria.

### 3.4 Análise entre os casos

O estudo entre os vários veículos e categorias deste trabalho apresentou em comum que:

I. A distância influencia diretamente nos custos finais e na viabilidade econômica do veículo. Quanto maior a distância percorrida, mais atrativo se torna o VE. O que está de acordo aos resultados alcançados por Pg Abas *et al.* (2019).

II. Para distâncias até 10% da autonomia do VE, os VCIs apresentam maior VPL

III. Para distâncias de 50%, os VCIs apresentam maior VPL exceto para o Caso 3 em que a diferença no custo com a aquisição é de R$ 42.865,00.

IV. Para distâncias de 100% da autonomia, os VEs com SFV apresentam maior VPL exceto para o Caso 2 em que a diferença nos valores de aquisição é de R$ 176.865,45.

V. Os custos são maiores com IPVA para os VEs, dado a cobrança de 3% sobre o valor do veículo.

VI. O custo com o consumo de energia elétrica para os VEs é menor do que o custo com consumo de gasolina ou etanol dos VCIs (Antunes, 2018; Pg Abas *et al.*, 2019; Galeski, 2023; Menezes, 2022; Cavalcante Júnior e Couras, 2021; Antunes, 2018; Dallepiane *et al.*, 2022).

VII. O SFV reduz os custos com o consumo de energia elétrica para os VEs. (Souza *et al.*, 2022; Lucca, 2021; Thomé, 2021; Félix, 2021; Coimbra, Araujo e Faesarella, 2020; Pezerico, 2020).

VIII. Os custos operacionais dos VEs são menores do que os custos dos VCIs (Pg Abas *et al.*, 2019; Dallepiane *et al.*, 2022; Galeski, 2023).

## 4 CONCLUSÃO

Os veículos elétricos têm sido apontados como uma das maneiras de reduzir o impacto ambiental e o aquecimento global. Porém, a troca de tecnologias também passa pelo critério econômico do consumidor. Assim, o objetivo desse trabalho foi de contribuir para a economia dos consumidores e para a sustentabilidade pela substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos alimentados por geração renovável fotovoltaica. Para isso, foi utilizado a análise técnica e econômica comparando a utilização de veículos a combustão interna e veículos elétricos em quatro casos segundo suas categorias: Caso 1 os subcompactos *Fiat Mobi Like* e *JAC e-JS1*; Caso 2 os compactos *Hyundai HB20 Sense* e *Peugeot E-208 GT*; Caso 3 os médios *Nissan Versa Sense* e *BYD Dolphin GS 180EV*; o Caso 4 para os grandes *Nissan Leaf Tekna* e *Toyota Corolla Cross XR 20*. Foi usado 3 cenários em que a distância diária percorrida foi de 10%, 50% e 100% da autonomia do veículo elétrico. Ainda, foi considerado a utilização de gasolina (Hipótese 1) e etanol (Hipótese 2) para os veículos a combustão, e para o veículo elétrico a energia elétrica proveniente da concessionária (Hipótese 3) e com a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) (Hipótese 4)para uma residência na cidade

de Campo Grande - MS para um período de 96 meses, iniciando-se em agosto de 2023. Para este trabalho não foi incluso custos com trocas de peças e equipamentos.

Assim, esse trabalho demonstrou que em cada categoria pesquisada a viabilidade econômica dos veículos elétricos está condicionada à distância diária percorrida para que o seu menor custo operacional compense o maior custo com a aquisição do veículo se comparado ao veículo a combustão interna. Sendo a que o caso que melhor apresentou a relação de VPLs foi para o caso 3 com a utilização de sistema fotovoltaico e do VE *BYD Dolphin GS 180EV* a partir de 64,85 km por dia em comparação ao VCI *Nissan Versa*. Porém, vale ressaltar que esse trabalho não considerou a troca de baterias.

Como proposta de continuação de estudo, a adição do custo com a manutenção incluindo troca de peças para uma análise mais integral dos custos envolvidos. Análises envolvendo consumos de energia elétrica e combustível somente para a cidade. Análises com redução no valor do IPVA, IPI e ICMS. Análise entre outros modelos e categorias de veículos elétricos e veículos a combustão interna e mesmo em outros estados onde o valores dos DETRAN e energia elétrica são diferentes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

A CRÍTICA. **Entenda como será cobrada a taxa de Iluminação Pública em Campo Grande**, 2017. Disponível em: https://www.acritica.net/editorias/geral/saiba-como-sera-cobrado-a-taxa-de-iluminacao-publica-em-campo-grande/221965/. Acesso em: 21 fev. 2023.

ABB. **Manual de instalação Terra AC**. [*S.l.*]: ABB, 2021. Disponível em: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107680A8797&LanguageCode=pt&DocumentPartId=&Action=Launch.

ABB. **Carregadores para veículos elétricos**, 2023. Disponível em: https://loja.br.abb.com/produtos-residenciais/carregadores-para-veiculos-eletricos.html. Acesso em: 20 fev. 2023.

ABNT. **ABNT NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Versão Corrigida 2008. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. **ABNT NBR 10899:** Energia solar fotovoltaica: Terminologia. 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **ABNT NBR 7024:** Veículos rodoviários automotores leves: Medição do consumo de combustível: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ALBATAYNEH, *et al.* Comparison of the overall energy efficiency for internal combustion engine vehicles and electric vehicles. **Environmental and Climate Technologies**, v. 24, n. 1, p. 669-680, 2020. DOI: https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0041.

ANDRADE, A. C. D. O custo dos carregamentos de um veículo elétrico: Nissan Leaf II. **Neutro à Terra**, Porto, v. 28, p. 29-35, 2022. DOI: https://doi.org/10.34630/neutroaterra.vi28.4493. Disponível em: https://parc.ipp.pt/index.php/neutroaterra/article/download/4493/2284. Acesso em: 03 maio 2023.

ANEEL. **Por dentro da conta de luz:** informação de utilidade pública. 7ª. ed. Brasília: ANEEL, 2016.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída:** Sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016a.

ANEEL. **Por dentro da conta de luz:** informação de utilidade pública. 7ª. ed. Brasília: ANEEL, 2016b.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Brasília: ANEEL, 2016c.

ANEEL. **Geração distribuída:** regulamentação atual e processo de revisão. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/655804/14752877/Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribu%C3%ADda+%E2%80%93+regulamenta%C3%A7%C3%A3o+atual+e+processo+de+revis%C3%A3o.pdf/3def5a2e-baef-bb59-2ce1-4f69a9cb2d88. Acesso em: 02 fev. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021.** Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html. Acesso em: 10 ago. 2023.

ANEEL. **Perguntas frequentes sobre Bandeiras Tarifárias**, 2022a. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias/faq-bandeiras-tarifarias. Acesso em: 20 fev. 2023.

ANEEL. **Procedimentos de Regulação Tarifária - Proret:** Módulo 7 - Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica. Submódulo 7.1 Procedimentos Gerais. 2.8. ed. Brasília: ANEEL, 2022c. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret. Acesso em: 05 out. 2023.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2023. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/tarifa/. Acesso em: 01 out. 2023.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2023a. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/tarifa/. Acesso em: 01 out. 2023.

ANEEL. **Procedimento de regulação tarifária - Proret:** Módulo 7 - Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição. Submódulo 7.3 - Tarifas de Aplicação. 2.6. ed. Brasilia: ANEEL, 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret. Acesso em: 05 out. 2023.

ANFAVEA. **Dados estatísticos para download**, 2023. Disponível em: https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/. Acesso em: 03 nov. 2023.

ANTUNES, P. D. R. **Veículos elétricos, funcionamento e seus benefícios**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2018.

AUTOESPORTE. **Os 25 carros elétricos mais vendidos do Brasil em 2023; Volvo lidera**, 2023a. Disponível em: https://autoesporte.globo.com/eletricos-e-hibridos/noticia/2023/09/os-25-carros-eletricos-mais-vendidos-do-brasil-em-2023-volvo-lidera.ghtml. Acesso em: 13 out. 2023.

AUTOESPORTE. **Veja os 50 carros novos mais vendidos do Brasil em agosto de 2023**, 2023b. Disponível em: https://autoesporte.globo.com/mercado/noticia/2023/09/veja-os-50-carros-novos-mais-vendidos-do-brasil-em-agosto-de-2023.ghtml. Acesso em: 13 out. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversor de moedas**, 2023. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/conversao. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Brasília, DF: [s.n.], 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Lei complementar nº 194, de 23 de junho de 2022.** Altera a Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966 (Código Tributário Nacional), e a Lei Complementar nº 87, de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir). Brasília: [s.n.], 2022a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp194.htm. Acesso em: 15 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Brasília, DF: [s.n.], 2022b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Série histórica de preços de combustíveis e de GLP**, 2023. Disponível em: https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/srie-histrica-de-preos-de-combustveis-e-de-glp. Acesso em: 9 jan. 2023.

BRASIL. **Série histórica de preços de combustíveis e de GLP**, 2023. Disponível em: https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/serie-historica-de-precos-de-combustveis-e-de-glp. Acesso em: 9 jan. 2023.

BRASIL. **Lei complementar nº 194, de 23 de junho de 2022.** Altera a Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966 (Código Tributário Nacional), e a Lei Complementar nº 87, de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir). Brasília: [s.n.], 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp194.htm. Acesso em: 15 out. 2023.

CAMPO GRANDE. **Lei complementar nº 58, de 30 de setembro de 2003.** Extra. ed. Campo Grande: Diário Oficial de Campo Grande-MS, 2003.

CAPES. **Periódicos**, 2023. Disponível em: https://www-periodicos-capes-gov-br.ez51.periodicos.capes.gov.br/. Acesso em: 03 maio 2023.

CASAGRANDE JUNIOR, E. F. *et al.* Energia solar fotovoltaica e automóveis elétricos: a combinação de um modelo para redução de emissões de carbono na cidade de Curitiba. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 653-678, 2019.

CAVALCANTE JÚNIOR , L. C. P.; COURAS , D. D. J. N. P. **Análise comparativa da substituição de motores a combustão por motores elétricos no setor de transportes.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, [S. l.], 2021.

CIA, J. C.; VARTANIAN, P. R.; SILVA, W. M. **Econometria - Análise de dados com regressão linear em Excel e Gretl**. São Paulo: Saint Paul, 2013.

CLARKE ENERGIA. **Entenda o histórico do sistema de bandeiras tarifárias no Brasil**, 2021. Disponível em: https://clarke.com.br/entenda-o-historico-do-sistema-de-bandeiras-tarifarias-no-brasil. Acesso em: 16 abr. 2023.

COIMBRA, A. P. D. M.; ARAUJO, K. B.; FAESARELLA, A. S. Recarga elétrica automotica em estacionamento com sistema de energia fotovoltaico. **USF**, 2020. Disponível em: https://www.usf.edu.br/galeria/getImage/768/2890608669257179.pdf. Acesso em: 02 maio 2023.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**, 2022. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. Acesso em: 11 nov. 2022.

CURRAN, S. J. *et al.* Well-to-wheel analysis of direct and indirect use of natural gas in. **Elsevier**, Knoxville, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.035.

DALLEPIANE, P. G. *et al.* Análise da viabilidade econômica no setor de transporte com a introdução de veículos elétricos em órgãos públicos. **SBA**, v. 2, n. 1, 2022. DOI: 10.20906/sbse.v2i1.3158. Disponível em: https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/3158. Acesso em: 04 abr. 2023.

DARGAY, J.; GATELY, D.; SOMMER, M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030. **Energy Journal**, v. 28, n. 4, p. 143–170, 2007. Disponível em: https://www.biee.org/wp-content/uploads/Vehicle_ownership_and_income_growth_worldwide_1960-2030_2006_pres.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

DETRAN MS. **Está aberto calendário de Licenciamento 2022 para veículos com placas final 1 e 2**, 2022. Disponível em: https://www.detran.ms.gov.br/esta-aberto-calendario-de-licenciamento-2022-para-veiculos-com-placas-final-1-e-2/. Acesso em: 18 fev. 2023.

DETRAN MS. **Autoatendimento IPVA**, 2023. Disponível em: https://www.autoatendimento.ms.gov.br/ipva/. Acesso em: 20 fev. 2023.

DETRAN MS. **Autoatendimento IPVA**, 2023b. Disponível em: https://www.autoatendimento.ms.gov.br/ipva/. Acesso em: 20 fev. 2023.

DUTRA, M. D. D. S. Avaliação financeira de um projeto de casa inteligente para uma residência no Ceará. **Exacta**, v. 20, n. 1, p. 176-197, 2020. DOI: https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17173.

ECHAVARRÍA, F. A. T. **Tecnologías fotovoltaicas para integración en edificios:** análisis comparativo. 2018. Dissertação (Mestrado em energia renováveis) - Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2018. Disponível em: https://repositorio.upct.es/handle/10317/7350. Acesso em: 04 maio 2023.

EMPALUX. **Ficha técnica Módulo fotovoltaico 450W**. [*S.l.*]: Empalux, 2020a.

EMPALUX. **Ficha técnica Módulo fotovoltaico 500W**. [*S.l.*]: Empalux, 2020b.

ENERGISA. **Cartilha geração distribuída**. [*S.l.*]: [s.n.], 2021. Disponível em: https://www.energisa.com.br/Documents/CARTILHA_geracao_distribuida.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

ENERGISA. **Fornecimento de energia para estações de recarga de veículos elétricos:** NDU 042. Cataguases: Energisa, 2021.

ENERGISA MS. **Impostos e outros encargos**, 2023. Disponível em: https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/impostos-outros-encargos.aspx. Acesso em: 20 fev. 2023.

EPM. **RA8-31 Instalación de estaciones de carga para vehículos eléctricos**. Medellin: EPM, 2018.

FÉLIX, J. P. A. **Estudo de viabilidade econômica para instalação de UPAC e adoção de veículos elétricos na indústria**. 2021. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Setúbal, 2021.

FERREIRA, F. B. **A evolução automobilística e aplicação de Smart Grid para utilização de**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade São Francisco, 2012, Itatiba.

FGV ENERGIA. Carros Elétricos. **FGV ENERGIA**, Rio de Janeiro, n. 7, MAIO 2017. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

FIPE. **Preço médio dos veículos**, 2023. Disponível em: https://veiculos.fipe.org.br/. Acesso em: 18 fev. 2023.

GALESKI, A. Estudo sobre a viabilidade de aplicação do veículo elétrico na Polícia. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 8811–8828, 2023. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-170. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/57669. Acesso em: 02 maio 2023.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 12ª. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

GOOGLE. **Google Acadêmico**, 2023. Disponível em: https://scholar.google.com.br/. Acesso em: 2 maio 2023.

HAWKINS, T. R. *et al.* Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 1, p. 53–64, 2013. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x. Acesso em: 05 ago. 2021.

HINRICHS, A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. D. **Energia e Meio Ambiente**. 5ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

IBGE. **Frota de veículos**, 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120. Acesso em: 28 fev. 2024.

IBGE. **IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas. Acesso em: 28 fev. 2024.

INMETRO. **Qualidade e tecnologia Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE):** Classificação quanto ao consumo energético. [*S.l.*]: [s.n.], 2022. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular. Acesso em: 4 jun. 2022.

INMETRO. **Portaria Nº 169, de 3 de maio de 2023. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves - Consolidado**. Brasilia: [s.n.], 2023a.

INMETRO. Veículos Automotivos (PBE veicular), 2023a. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/@@download/file. Acesso em: 13 out. 2023.

INMETRO. **Veículos Automotivos (PBE veicular)**, 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/@@download/file. Acesso em: 13 out. 2023.

INMETRO. Portaria Nº 169, de 3 de maio de 2023. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Veículos Leves de Passageiros e Comerciais Leves - Consolidado. **Diário Oficial da União**, Brasilia, 25 maio 2023b.

KALOGIROU, S. A. **Solar Energy Engineering**. San Diego: Elsevier, 2014.

LABOURET, A.; VILLOZ, M. **Solar photovoltaic energy**. 4. ed. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010.

LALITH, D.; GHATGE, G. C.; SETLOOR, K. G. Electric and hibrid electric vehicles. **IJRAR**, v. 8, n. 4, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359120589_ELECTRIC_AND_HYBRID_ELECTRIC_VEHICLES. Acesso em: 16 out. 2022.

LARMINIE, J.; LOWRY, J. **Electric vehicle techonoly explained**. 2ª. ed. Chennai: John Wiley & Sons Ltd, 2012.

LEGISWEB. Decreto Nº 9203 DE 18/09/1998, 2022. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=135852. Acesso em: 2023 Abril 03.

LUCCA,. **Avaliação da capacidade de abastecimento de veículos elétricos a partir da geração solar fotovoltaica instalada na Universidade Federal de Santa Maria**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

MARIANO, J. D.; URBANETZ JUNIOR, J. **Energia Solar Fotovoltaica:** princípios fundamentais. Ponta Grossa: Atena, 2022.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 11ª. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MATO GROSSO DO SUL. **Decreto Nº 9203 de 18 de setembro de 1998**. Aprova o Regulamento do ICMS e dá outras providências. [*S.l.*]: Diário Oficial Estadual, 2022. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=135852. Acesso em: 3 abr. 2023.

MATO GROSSO DO SUL. Secretária de Fazenda do Estado de Mato Grosso do Sul. **UFERMS**, 2023. Disponível em: https://servicos.efazenda.ms.gov.br/crd/CreditoTributario/IndicadoresSefaz/uferms. Acesso em: 24 fev. 2023.

MENEZES, R. R. **Análise econométrica associada à operação de uma frota de veículos elétricos e híbridos em comparação com veículos movidos à combustão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) - Universidade de Brasília, 2022, Brasília.

MERCADO LIVRE. **Mercado Livre**, 2023a. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1045701223-100metros-fio-cabo-flexivel-nax-flex-1000v-1kv-4mm-inmetro-_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=570b4af1-8521-4160-9687-a0d6679b9189. Acesso em: 20 fev. 2023.

MERCADO LIVRE. **Mercado Livre**, 2023b. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2185902465-eletroduto-galvanizado-zincado-leve-34-3-metros-5-pcs-_JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=dc6c922b-afc6-4cb2-aa46-1f5569e597bc. Acesso em: 20 fev. 2023.

MOREIRA, J. R. S. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MOTOR PASSION. **Hábitos que aumentarán la vida útil de la batería de tu coche eléctrico (y te ahorrarán disgustos)**, 2022. Disponível em: https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/habitos-que-aumentaran-vida-util-bateria-tu-coche-electrico-te-ahorraran-disgustos. Acesso em: 20 fev. 2023.

NEALER, ; REICHMUTH, D.; ANAIR, D. **Cleaner cars from cradle to grave:** How electric cars ceat casoline cars on lifetime global warming emissions. [*S.l.*]: Union of Concerned Scientists, 2015. Disponível em: https://www.ucsusa.org/resources/cleaner-cars-cradle-grave.

NEALER, R.; REICHMUTH, D.; ANAIR, D. **Cleaner cars from cradle to grave:** How electric cars ceat casoline cars on lifetime global warming emissions. [*S.l.*]: Union of Concerned Scientists, 2015. Disponível em: https://www.ucsusa.org/resources/cleaner-cars-cradle-grave. Acesso em: 2022 ago. 15.

NISSAN. **Especificações técnicas Nissan Leaf**. [*S.l.*]: Nissan, 2023a.

NISSAN. **Nissan Leaf 2023**, 2023b. Disponível em: https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html. Acesso em: 24 fev. 2023.

NISSAN. **Nissan Leaf 2023**, 2023b. Disponível em: https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html. Acesso em: 24 fev. 2023.

NOGUEIRA, T. R. S. *et al.* Simulação de medidor digital de energia elétrica BT utilizando LabView. **CBQEE**, Campina Grande, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282809456_Simulacao_de_medidor_digital_de_energia_eletrica_BT_utilizando_LabView. Acesso em: 08 abr. 2023.

NREL. **Best Research-Cell Efficiency Chart**, 2023. Disponível em: https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html. Acesso em: 10 31 2023.

OLIVEIRA, B. S.; KOLODZEI, S. L. F.; COSTA, V. E. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de estacionamento fotovoltaico no campus Ecoville da UTFPR**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Univesidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PASTUSZAK, J.; WEGIEREK, P. Photovoltaic cell generations and current research directions. **Materials**, Lublin, v. 15, n. 5542, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ma15165542.

PEZERICO, V. N. D. O. **Estudo comparativo para carregamento de carros elétricos através de geração distribuída e análise econômica**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

PG ABAS, A. E. *et al.* Techno-economic analysis and environmental impact of electric vehicle. **IEEE Access**, v. 7, p. 98565 - 98578, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929530.

PG ABAS, A. E. *et al.* Techno-economic analysis and environmental impact of electric vehicle. **IEEE Access**, v. 7, p. 98565 - 98578, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929530.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Revisada e Atualizada. ed. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

PRYSMIAN. **Guia de dimensionamento de cabos para baixa tensão**. Sorocaba: Prysmian, 2020.

PUCCINI, E. C. **Matemática FInanceira e análise de investimentos**. Florianópolis: UFSC, 2011.

R7. **Carro elétrico deve dominar também o Brasil, dizem especialistas**, 2023. Disponível em: https://noticias.r7.com/economia/carro-eletrico-deve-dominar-tambem-o-brasil-dizem-especialistas-27022023. Acesso em: 5 maio 2023.

RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A. **Carro elétrico deve dominar também o Brasil, dizem especialistas**, 2023. Disponível em: https://noticias.r7.com/economia/carro-eletrico-deve-dominar-tambem-o-brasil-dizem-especialistas-27022023. Acesso em: 5 maio 2023.

REVISTA CARRO. **Teste completo:** Nissan Leaf em condições reais de uso, 2019. Disponível em: https://revistacarro.com.br/teste-completo-nissan-leaf-em-condicoes-reais-de-uso/. Acesso em: 24 fev. 2023.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos:** o potencial da geração solar fotovoltaica. Florianópolis: UFSC, 2004.

S&P GLOBAL. **EV sales momentum to face challenges in 2023, but long-term expectations unaffected**, 2023. Disponível em: https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/metals/013123-ev-sales-momentum-to-face-challenges-in-2023-but-long-term-expectations-unaffected. Acesso em: 05 nov. 2023.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira, aplicações a análise de investimentos**. 3ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira, aplicações a análise de investimentos**. 3ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SANGUESA, J. A. *et al.* A review on electric vehicles: technologies and challenges. **Smart Cities**, v. 4, n. 1, p. 372–404, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/smartcities4010022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2624-6511/4/1/22. Acesso em: 04 maio 2023.

SANTOS, A. C. F. R. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico vesus veículo a combustão**. 2017. Monografia ( Especialista em eficiência energética aplicada aos processos produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, 2017, Santana do Livramente.

SANTOS, M. M. D. **Veículos elétricos e híbridos:** fundamentos características e aplicações. São Paulo: Érica, 2020.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Why to choose type B earth leakage protection for safe and efficient people protection**. [*S.l.*]: Schneider Electric, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DE FAZENDA DE MS. **Autoatendimento IPVA**, 2023. Disponível em: https://www.sefaz.ms.gov.br/ipva-3/. Acesso em: 20 fev. 2023.

SESKO. **EV charging**. [*S.l.*]: SESKO, 2016. Disponível em: https://www.sesko.fi/files/671/EV-charging_standards_may2016_Compatibility_Mode_.pdf. Acesso em: 27 maio 2016.

SINIGAGLIA, T. **Análise do ciclo de vida da tecnologia dos veículos com motores de combustão interna e dos veículo eletrificados.** 2023. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

SIQUEIRA, J. C. *et al.* Medição e análise de fluxo de potência em quatro quadrantes com FPGA. **COPEC**, Guimarães, 2014. DOI: 10.14684/INTERTECH.13.2014.428-432.

SMA. **Installation manual:** PV inverter Sunny Boy 2000HF / 2500HF / 3000HF. [*S.l.*]: SMA, 2013.

SOLAR EDGE. **Solar Edge Design**, 2023. Disponível em: https://www.solaredge.com/en/products/software-tools/designer. Acesso em: 10 ago. 2023.

SOLAR EDGE. **Solar Edge Design**. [*S.l.*]: [s.n.], 2023. Disponível em: https://www.solaredge.com/en/products/software-tools/designer.

SOUSA, L. N. *et al.* Estudo de viabilidade da geração fotovoltaica como fonte energética principal para a frota de veículos elétricos em Fernando de Noronha, Brasil. **Principia**, v. 60, n. 4, p. 1161-1186, out. 2022. DOI: https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6590. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/6590. Acesso em: 05 mar. 2023.

SOUZA, L. A. D. **Michael Faraday**, 2022. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/michael-faraday.htm. Acesso em: 05 set. 2022.

SWE-CHECK. **Solar photovoltaic (PV) system circuit protection guide**, 2023. Disponível em: https://www.swe-check.com.au/editorials/solar-pv-circuit-protection-guide.php. Acesso em: 04 jan. 2023.

TAPIA, C. *et al.* Premio Nobel de Quimica 2019: Baterias Ion-Lítio. **Educación Química**, v. 31, p. 12-22, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.72730. Acesso em: 02 out. 2022.

THOMÉ, B. A. **Veículos elétricos em órgãos públicos:** metodologia para substituição gradual da frota a combustão por veículos elétricos. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

TINDO SOLAR. **Types of crystalline silicon cells**, 2022. Disponível em: https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/. Acesso em: 29 nov. 2022.

VASCO, M. N. **Breve abordagem da viabilidade econômica dos carros 100% elétricos**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas. 2020.

VERSINETIC LIMITED. **EV Charging Connector Types Guide**, 2023. Disponível em: https://www.versinetic.com/news-blog/ev-charging-connector-types-guide/. Acesso em: 02 nov. 2023.

VIEIRA, M. G. *et al.* **Análise de políticas públicas para veículos elétricos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/50_vieira_2021_05_10.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

VIEIRA, M. G. *et al.* **Análise de políticas públicas para veículos elétricos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/50_vieira_2021_05_10.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

WAPPELHORST, S. **The end of the road? An overview of combustion- engine car**. [*S.l.*]: ICCT, 2020. Disponível em: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Combustion-engine-phase-out-briefing-may11.2020.pdf. Acesso em: 4 maio 2023.

WEG. **Guia de instalação rápida Wemob-wall G2 Modelos 1T1/ 1T2**. [*S.l.*]: WEG, 2021.

WEG. **Wemob:** Estações de Recarga para Veículos Elétricos. [*S.l.*]: WEG, 2022a. Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hee/hbf/WEG-WEMOB-guia-selecao-estacao-de-recarga-50110139-pt.pdf.

WEG. **Guia para seleção de estações de recarga (CA) para veículos elétricos.** [*S.l.*]: WEG, 2022b. Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hee/hbf/WEG-WEMOB-guia-selecao-estacao-de-recarga-50110139-pt.pdf.

WEG. **Estação de Recarga para Veículos Elétricos**, 2023. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Infraestrutura-para-Mobilidade-El%C3%A9trica/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/p/MK. Acesso em: 10 jan. 2023.

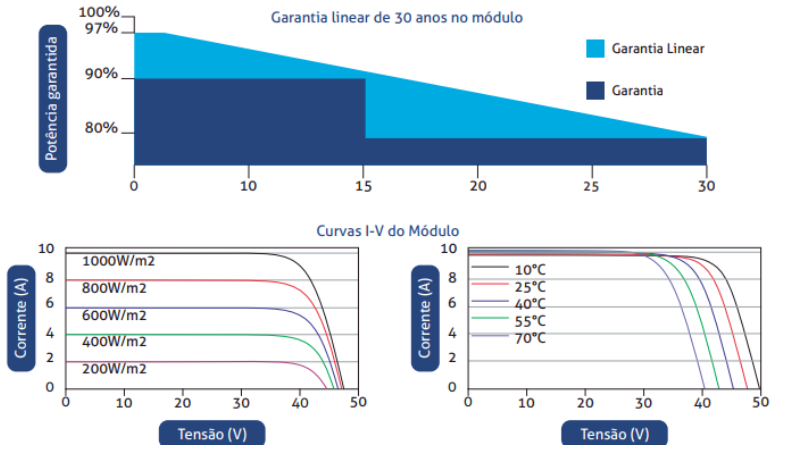
ZANELLA, J. P. **Viabilidade econômica da implantação diferentes modelos de carregadores para carros elétricos, comercializando energia gerada por sistemas fotovoltaicos**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engeharia Elétrica) - Universidade Técnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

ZHANG, X. *et al.* Electrospun nanofiber-based anodes, cathodes, and separators for advanced lithium-Ion batteries. **Polymer Reviews**, London, v. 51, n. 3, p. 239-264, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/15583724.2011.593390.

## ANEXO A – Dados associados ao sistema fotovoltaico conectado à rede

A Figura 95 apresenta a ficha técnica para o módulo Empalux de 500W.

Figura 95 – Ficha técnica para o Módulo Empalux MF00500.

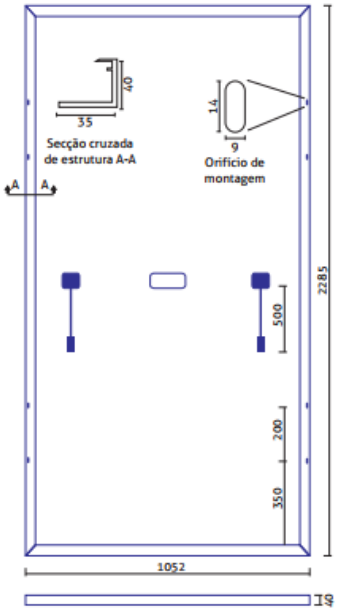



### Características elétrica

| | |
|---|---|
| Modelo | MF00500 |
| Código | LF500M8-78H |
| Número de registro INMETRO | 001812/2021 |
| Máxima potência | 500 Wp |
| Tensão Máxima do Sistema | 1500 V |
| Material | Monocristalino |
| Eficiência energética do módulo (%) | 20,8% |

| *STC: irradiância: 1000W/m2 , Temp. da Célula. 25°C, Massa do Ar AM 1.5 | |
|---|---|
| Potencia de máxima pico (Pmax) | 500 Wp |
| Tensão de máxima potência (Vmp) | 45,42 V |
| Corrente de máxima potência (Imp) | 11,01 A |
| Tensão de circuito aberto (Voc) | 54,22 V |
| Corrente de curto-circuito (Isc) | 11,72 A |

| *NOCT: irradiância 800W/m2 , Temp. ambiente 20°C, Massa do Ar AM 1.5 | |
|---|---|
| Potencia de máxima pico (Pmax) | 370 Wp |
| Tensão de máxima potência (Vmp) | 42,24 V |
| Corrente de máxima potência (Imp) | 8,81 A |
| Tensão de circuito aberto (Voc) | 50,42 V |
| Corrente de curto-circuito (Isc) | 9,38 A |




### Características mecânica

| | |
|---|---|
| Célula | 166x83 Monocristalino |
| Quantidade de células | 156 un (arranjo 6x13X2) |
| Tamanho do módulo (CxLxA) | 2285x1052x40 (mm) |
| Peso | 26 kg |
| Vidro frontal | 3.2mm vidro cristalino temperado |
| Moldura | Liga de alumínio anodizado com cobertura de oxido de alumínio |
| Junction box | IP68 |
| Ligação | Cabo 50cm de 4mm²c/ conexão MC4 |

156 CÉLULAS
MÓDULO MONOCRISTALINO
500W
MÁXIMA POTÊNCIA
20,8%
EFICIÊNCIA MÓDULO
0~+5W
TOLERÂNCIA POSITIVA

### Coeficiente de temperatura

| | |
|---|---|
| Pmax Coeficiente de temperatura (W/C°) | -0.370% |
| VoC Coeficiente de temperatura (V/C°) | -0.29% |
| Isc Coeficiente de temperatura (A/C°) | +0.055% |
| NOCT Temperatura operacional nominal | 45±2 |

### Embalagem

| | |
|---|---|
| Unidade de venda caixa | 4 módulos |
| Pallet | 27 módulos |
| Container 67" | 540 módulos |

Fonte: Adaptado de Empalux (2020b).