

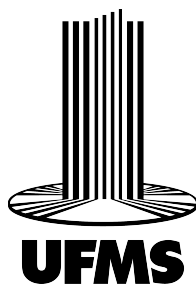
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# **Análise de Cenários de Investimento em Sistemas Fotovoltaicos e em Veículos Elétricos por Consumidores Residenciais: Uma Revisão e Atualização**

**Gabriel Maschio**

Campo Grande - MS

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# **Análise de Cenários de Investimento em Sistemas Fotovoltaicos e em Veículos Elétricos por Consumidores Residenciais: Uma Revisão e Atualização**

Gabriel Maschio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência para obtenção do grau de Ba-  
charelado em Engenharia Elétrica da Universi-  
dade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Luigi Galotto Júnior

Campo Grande - MS

2025



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



## Análise de Cenários de Investimento em Sistemas Fotovoltaicos e em Veículos Elétricos Por Consumidores Residenciais: Uma Revisão e Atualização

Gabriel Maschio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS considerado aprovado.

### Banca examinadora:

Prof. Dr. Luigi Galotto Junior (Orientador)

Prof. Dr. Tiago Henrique de Abreu Mateus

Eng. Rayson de Oliveira e Silva

Campo Grande, 26 de novembro de 2025.

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Tiago Henrique de Abreu Mateus, Professor do Magisterio Superior**, em 26/11/2025, às 14:36, 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](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Luigi Galotto Junior, Professor do Magisterio Superior**, em 26/11/2025, às 14:40, 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](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rayson de Oliveira e Silva, Usuário Externo**, em 26/11/2025, às 15:11, 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?](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6063817** e o código CRC **61ED4047**.

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

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer minha família e minha namorada que durante toda a duração do curso me apoiaram em minhas decisões e me ajudaram a superar os momentos mais difíceis, a meus amigos que em toda jornada acadêmica me auxiliaram para melhorar meu desempenho como estudante e pessoa.

# Resumo

Este trabalho apresenta uma análise comparativa de viabilidade econômica entre três alternativas de investimento voltadas a consumidores residenciais: a substituição de veículos a combustão por veículos elétricos (VE), a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) e a combinação de ambas as tecnologias (SFCR + VE). O estudo foi desenvolvido com base em dados reais de consumo energético, custos de investimento e taxas econômicas atuais, considerando as modalidades de compra à vista e financiada. Por meio de simulações em Python, foram obtidos indicadores como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback. Os resultados demonstraram que todas as alternativas são economicamente viáveis, destacando-se o cenário combinado (SFCR + VE), que apresentou maior sinergia e retorno financeiro, com fluxo de caixa positivo desde o primeiro ano e TIR superior a 30% nos melhores casos. O estudo reforça o potencial dessas tecnologias para reduzir custos e impulsionar a transição energética sustentável no setor residencial brasileiro.

**Palavras-chaves:** energia solar; veículos elétricos; viabilidade econômica; geração distribuída; sustentabilidade.

# Abstract

This study presents a comparative economic feasibility analysis of three investment alternatives for residential consumers: replacing combustion vehicles with electric vehicles (EVs), installing grid-connected photovoltaic systems (SFCR), and combining both technologies (SFCR + EV). The analysis was based on real energy consumption data, investment costs, and current economic rates, considering both cash and financed purchase options. Using Python simulations, key financial indicators such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period were obtained. Results show that all alternatives are economically feasible, with the combined scenario (SFCR + EV) demonstrating the highest synergy and profitability, maintaining a positive cash flow from the first year and IRR exceeding 30% in optimal conditions. The study highlights the potential of these technologies to reduce costs and promote sustainable energy transition in the Brazilian residential sector.

**Keywords:** solar energy; electric vehicles; economic feasibility; distributed generation; sustainability.

# Lista de ilustrações

|             |                                                                 |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 –  | Matriz energética mundial 2022 . . . . .                        | 9  |
| Figura 2 –  | Matriz energética Brasileira 2024 . . . . .                     | 9  |
| Figura 3 –  | Matriz elétrica Brasileira . . . . .                            | 10 |
| Figura 4 –  | Histograma de consumo médio anual . . . . .                     | 18 |
| Figura 5 –  | Histograma de consumo anual com curva KDE e faixa de tolerância | 19 |
| Figura 6 –  | TIR anual - VE . . . . .                                        | 25 |
| Figura 7 –  | VPL - VE . . . . .                                              | 26 |
| Figura 8 –  | Tempo de Retorno - VE . . . . .                                 | 26 |
| Figura 9 –  | Retorno Acumulado - VE . . . . .                                | 27 |
| Figura 10 – | Custo por kWp em função da Potência . . . . .                   | 28 |
| Figura 11 – | Retorno financeiro - SFCR . . . . .                             | 29 |
| Figura 12 – | VPL por quilômetros rodados Financiado e à vista - VE + SFCR    | 30 |
| Figura 13 – | Payback à vista e financiado - VE + SFCR . . . . .              | 31 |
| Figura 14 – | Fluxo de caixa à vista - VE + SCFR . . . . .                    | 32 |
| Figura 15 – | Fluxo de caixa financiado - VE + SCFR . . . . .                 | 32 |

# Lista de tabelas

|          |   |                                                                                             |    |
|----------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | – | Consumo médio . . . . .                                                                     | 19 |
| Tabela 2 | – | Irradiação solar diária média mensal em Campo Grande, MS . . .                              | 22 |
| Tabela 3 | – | Preço de sistemas fotovoltaicos por potência instalada . . . . .                            | 23 |
| Tabela 4 | – | Dimensionamento do SFCR para diferentes cenários de consumo<br>médio mensal . . . . .       | 28 |
| Tabela 5 | – | Indicadores econômicos SFCR . . . . .                                                       | 29 |
| Tabela 6 | – | Novo Dimensionamento dos sistemas Fotovoltaicos para o consumo<br>adicional do VE . . . . . | 31 |
| Tabela 7 | – | Resumo dos indicadores econômicos dos cenários analisados . . . .                           | 33 |



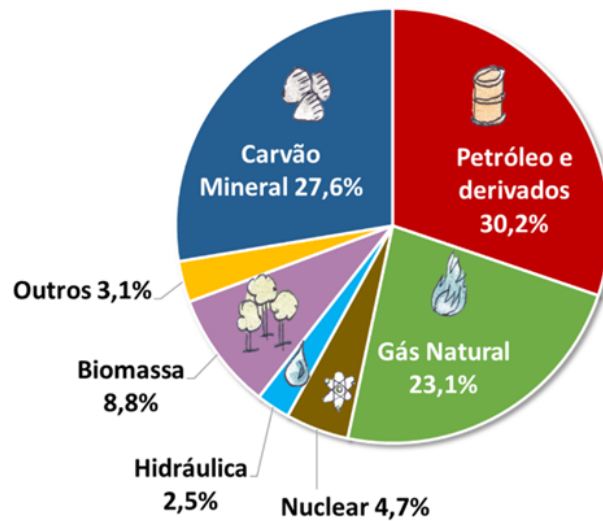
# Sumário

|          |                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                         | <b>9</b>  |
| 1.1      | Fundamentação Teórica                                     | 13        |
| 1.1.1    | Geração Distribuída                                       | 13        |
| 1.1.2    | Fontes renováveis de energia                              | 13        |
| 1.1.3    | Veículos elétricos                                        | 14        |
| 1.1.4    | Estudo de viabilidade econômica                           | 14        |
| 1.2      | Revisão Bibliográfica do Estado da Arte                   | 14        |
| 1.3      | Objetivos                                                 | 16        |
| 1.3.1    | Objetivo Geral                                            | 16        |
| 1.3.2    | Objetivos Específicos                                     | 16        |
| 1.4      | Organização do Trabalho (Resumo dos capítulos)            | 16        |
| <b>2</b> | <b>Metodologia</b>                                        | <b>17</b> |
| 2.1      | Dados de consumidores de referência                       | 18        |
| 2.2      | Cenários Analisados                                       | 19        |
| 2.2.1    | Cenário 1 - Substituição dos veículos de combustão por VE | 19        |
| 2.2.2    | Cenário 2 - Instalação de SFCR                            | 22        |
| 2.2.3    | Cenário 3 - SFCR e VE                                     | 23        |
| 2.3      | Análise de Viabilidade Econômica                          | 24        |
| <b>3</b> | <b>Resultados</b>                                         | <b>25</b> |
| 3.1      | Cenário 1 - Substituição dos veículos de combustão por VE | 25        |
| 3.2      | Cenário 2 - Instalação de SFCR                            | 27        |
| 3.3      | Cenário 3 - SFCR e VE                                     | 29        |
| 3.4      | Comparação entre os cenários                              | 33        |
| <b>4</b> | <b>Conclusão</b>                                          | <b>34</b> |
|          | Referências                                               | 36        |

# 1 Introdução

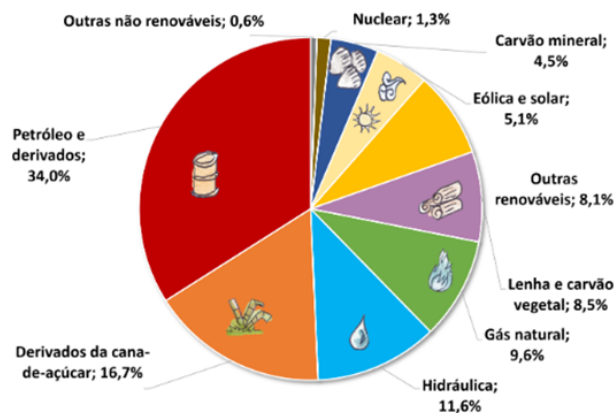
A energia elétrica se faz indispensável atualmente em todas as áreas, desde armazenar um alimento até a construção de um edifício. A matriz energética mundial, mostrada na [Figura 1](#), é composta principalmente de fontes não renováveis, como carvão mineral, petróleo etc. Por outro lado, vemos que no Brasil há uma parte expressiva de sua matriz composta por fontes renováveis, como visto na [Figura 2](#) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2025).

Figura 1 – Matriz energética mundial 2022



Fonte: Internacional Energy Agency - IEA, 2023

Figura 2 – Matriz energética Brasileira 2024

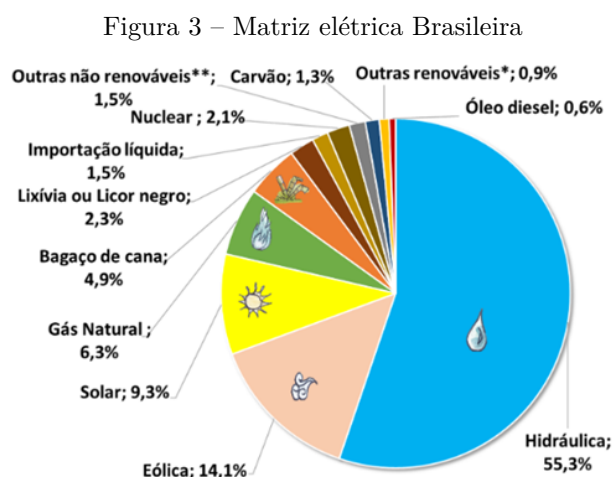


Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN, 2025

O Brasil tem em sua maioria fontes de energia renováveis, algo que muitos países estão buscando atualmente graças à escassez e malefícios ao meio ambiente causados

pelas fontes não renováveis. A matriz elétrica Brasileira ([Figura 3](#)) é composta por ainda mais fontes renováveis do que a energética, pois, em sua maioria, a geração de energia é proveniente de usinas hidrelétricas e, nos últimos anos, fontes de energia eólica e solar têm crescido em um ritmo acelerado. Também com a expansão do mercado de veículos elétricos, a utilização de motores a combustão está caindo lentamente em desuso, trazendo também um maior interesse na geração própria de energia, como energia fotovoltaica e de biomassa.

Segundo [Silva e Araújo \(2022\)](#) a expansão do uso e pesquisa para a melhoria da eficiência da energia fotovoltaica é proveniente da necessidade atual de uma vida mais sustentável, para a não dependência de matrizes não renováveis. A [BRASIL. Agência Gov/EBC \(2025\)](#) fez um estudo sobre o aumento de carga de geração no primeiro semestre de 2025, tendo como um aumento de 4 GW de geração, sendo aproximadamente um quinto desse aumento vindo de fontes de energia solar, mostrando o crescimento do uso desse tipo de geração na atualidade.



Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN, 2025

Em alguns países, principalmente na Europa, é incentivada a implementação de sistemas fotovoltaicos on-grid (conectados à rede); esse incentivo vem de uma tentativa de transição energética, tendo em vista que a grande parte desses países depende, em sua maioria, de termelétricas para a geração de energia. Essa tentativa de mudança de matriz energética tem um apelo ambiental para a redução da emissão de carbono, visando a estabilidade das mudanças climáticas ([PETROBRAS, 2025](#)). Porém, o Brasil deve formular suas próprias políticas públicas para um maior incentivo do uso de sistemas fotovoltaicos, visto que a realidade de outros países não reflete a sua própria.

Segundo [Costa e al. \(2023\)](#), o retorno de investimento em energia fotovoltaica no Brasil, girando em torno do estudo de caso, está entre 14 e 19 anos, para que a geração de um retorno financeiro igual ao investimento inicial. O único fator atenuante para essa variação é o emprego do Fio B na TUSD e TE.

Em [Silva \(2021\)](#) foi previsto um retorno financeiro em aproximadamente 3 a 5 anos devido aos incentivos que ocorriam naquele período e por [Nakabayashi \(2015\)](#), uma estimativa de 11,3 anos, já que a tecnologia ainda não estava avançada o suficiente para a redução de custos. Atualmente houve um grande aumento no preço dos produtos para sistemas fotovoltaicos gerados pelo aumento de impostos recentes de 9,6% para 25% ([BRASIL. Senado Federal, 2025](#)). Com o problema de infraestrutura enfrentado na rede elétrica brasileira devido ao excesso de sistemas GD (geração distribuída), gerando uma inversão de fluxo na rede, a qual o sistema elétrico brasileiro não estava preparado, isso fez com que diversos projetos de miniusinas fossem rejeitados ([AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2022](#)).

Devido ao crescimento exponencial do interesse e tecnologia em torno da energia fotovoltaica, várias opções foram surgindo para o uso deste sistema de geração, segundo [Silva \(2021\)](#) durante sua pesquisa, estava sendo implementado o sistema *off-grid*, ou seja, o sistema fotovoltaico não é ligado à rede, mas sim a um banco de baterias para armazenar a energia. Este tipo de utilização foi visto que não é muito eficiente, já que demanda um custo ainda mais elevado para o banco de baterias e troca regular destas, então chegou-se à conclusão de criar um sistema que apenas suprisse o gasto interno das residências, sem injeção de fluxo reverso; esse sistema se chama *zero-grid*. Segundo [WEG \(2024b\)](#) existem diversos benefícios sobre o *zero-grid*, principalmente sobre isenções de taxas e a não injeção da geração na rede. O sistema *zero-grid* foi a solução encontrada para evitar as reprovas de projetos fotovoltaicos devido à inversão de fluxo, nesse contexto, resolvendo-se de forma parcial um problema muito frequente na rede elétrica brasileira.

Com a evolução da tecnologia de energias renováveis e o apelo ambiental crescente, a utilização de veículos elétricos tem sido cada vez mais comum. Assim como a GD teve sua evolução, os veículos elétricos também tiveram um grande salto de tecnologia nos últimos anos, desde a melhora da bateria e autonomia, tendo uma forte pesquisa na área relacionada às baterias de íon-lítio, com um grande avanço científico e tecnológico ([RODRÍGUEZ; CONSONI, 2020](#)). Também houve uma pesquisa bem aprofundada sobre o carregamento desses veículos, com a preocupação de evitar a sobrecarga da rede durante o período de carregamento, já que o carregamento é lento. Em [Buitrago \(2017\)](#) mostra o avanço nas pesquisas de carregamento, tendo como base o carregamento simples com tomadas convencionais, com duração de cerca de 8 horas, estações de carregamento com duração de cerca de 40 minutos, assim como outras formas estudadas, mostrando benefícios de cada uma, incluindo a influência de harmônicos ou não na rede.

Automóveis a combustão interna, além de deixarem a pegada de carbono preocupante, também são visivelmente ineficientes, devido a diversas perdas internas, como atrito, perdas Joule, entre outras. Nessa visão, os motores a combustão interna (MCI) têm, em média, um rendimento de 20-30% da energia química contida no combustível

([BARAN, 2012](#)).

A eficiência energética dos motores a combustão então entre 20-30%, quando comparados com veículos elétricos que giram em torno de 80-90% ([SILVA; SOUZA, 2020](#)), mostra ainda mais a ineficiência dos motores a combustão interna. Ademais [SILVA e SOUZA \(2020\)](#) também aborda a questão ambiental, salientando os benefícios dos automóveis elétricos e a sustentabilidade que sua utilização pode trazer. Visto isso, a União Europeia declarou que a partir de janeiro de 2035 cessará a venda de veículos a combustão ([EURONEWS, 2022](#)), visando à redução da pegada de carbono e maior sustentabilidade. Com isso, as tecnologias nesta área estão tendo um desenvolvimento a passos largos.

Apesar das diversas vantagens com relação aos veículos à combustão convencionais se considerar o meio ambiente e eficiência energética, automóveis elétricos no Brasil ainda precisam ultrapassar diversas barreiras para sua popularização. No Brasil, faz-se necessário a implementação de políticas públicas, visando a implementação de estações de carregamento em locais públicos e de grande acesso, além de incentivos fiscais para a utilização de veículos elétricos por parte do governo de forma rápida e gradual ([FERREIRA; DIAS, 2022](#)).

Parte da importância da substituição de automóveis com motores a combustão interna (MTI) vem do gradual aumento de valor do combustível para importação, bem como da preocupação com os gases do efeito estufa. Visto isso, a maior vantagem da utilização de veículos elétricos é a desvinculação do petróleo, principalmente em países desenvolvidos ([BARAN, 2012](#)), minimizando a emissão de gases e reduzindo gastos na importação de petróleo e derivados.

A metodologia adotada para essa monografia foi a análise de artigos nacionais e internacionais para corroborar a revisão de [Silva \(2021\)](#) a qual o presente documento tem o objetivo de atualizar. A partir dessa revisão, foram extraídas as informações mais relevantes e as principais conclusões apresentadas pelos autores, servindo de base para a definição da abordagem analítica adotada na monografia.

## 1.1 Fundamentação Teórica

A crescente preocupação ambiental e o avanço das tecnologias de geração distribuída têm impulsionado o interesse por soluções que integrem sistemas fotovoltaicos (FV) e veículos elétricos (VE) no ambiente residencial.

Para a realização de análises e estimativas, foi necessário compreender alguns conceitos sobre as principais áreas abordadas neste trabalho. A seguir, apresenta-se uma breve fundamentação teórica para esclarecimento.

### 1.1.1 Geração Distribuída

A Geração Distribuída (GD) é caracterizada pela presença de pequenas unidades geradoras de energia instaladas próximas aos centros de consumo, com ligação direta na rede de distribuição, com potência inferior a 5 MW. A GD se conecta na rede de distribuição, geralmente em baixa ou média tensão, podendo operar no modelo *on-grid* (paralela ao sistema elétrico), *off-grid* (isolada, com armazenamento) ou *zero-grid* (onde há conexão com a rede mas apenas para suprir o consumo interno). Em contraste, a geração centralizada que ocorre em grandes usinas (hidrelétricas, termelétricas, nucleares) e utiliza longas linhas de transmissão para levar a energia até os centros consumidores.

- **Microgeração:** sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada, que estejam conectados à rede e apresentem potência até 75 kW.
- **Minigeração:** sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada, que estejam conectados à rede e apresentem potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW (WEG, 2024a).

A fonte de geração se mantém próxima da unidade consumidora, sendo normalmente fontes renováveis como eólica, solar e biomassa. Nos últimos anos, essas fontes de energia têm se popularizado cada vez mais.

### 1.1.2 Fontes renováveis de energia

As fontes de energia pertencentes ao grupo das renováveis são consideradas inesgotáveis, pois se regeneram continuamente mesmo durante seu uso. Entre os principais exemplos estão: energia hídrica (proveniente da água dos rios), solar (proveniente da radiação do sol), eólica (proveniente dos ventos), biomassa (proveniente de matéria orgânica), geotérmica (proveniente do calor do interior da Terra) e oceânica (proveniente das marés e ondas). No entanto, algumas dessas fontes apresentam variações na geração de energia ao longo do dia ou do ano. A energia eólica, por exemplo, depende da presença de ventos, enquanto a solar não é gerada durante a noite. Já a hídrica pode ser afetada por

períodos de estiagem. Por emitirem menos gases de efeito estufa (GEE) em comparação às fontes fósseis, as fontes renováveis são consideradas limpas e vêm conquistando espaço significativo tanto no mercado brasileiro quanto no cenário energético global([Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2025](#)).

### 1.1.3 Veículos elétricos

Veículos equipados com motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis são conhecidos como veículos elétricos. Além de apresentarem menor custo de abastecimento e maior eficiência energética em comparação aos veículos a combustão, eles se destacam por serem uma alternativa ambientalmente mais limpa. A ausência de emissões de CO<sub>2</sub>, resultado da não queima de combustíveis fósseis e da menor dependência do petróleo, torna essa tecnologia altamente atrativa. No entanto, devido ao seu elevado custo e à limitada acessibilidade para grande parte da população, os veículos a combustão ainda dominam amplamente o mercado automobilístico.([BNDES, 2018](#))

### 1.1.4 Estudo de viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica é um estudo destinado a avaliar se um determinado investimento apresenta potencial para gerar retornos satisfatórios em relação aos recursos aplicados. Por meio dessa análise, é possível comparar os ganhos estimados com os custos envolvidos, permitindo identificar, de forma antecipada, se o investimento é vantajoso ou não, evitando assim possíveis prejuízos. Essa ferramenta é essencial para eliminar projetos pouco rentáveis e direcionar recursos e esforços para alternativas mais promissoras, sendo especialmente relevante quando existem duas ou mais opções de investimento, mas o capital disponível só permite a escolha de uma delas. Em síntese, a análise de viabilidade econômica tem como principal objetivo reduzir riscos e auxiliar o investidor a aplicar seus recursos de forma estratégica, maximizando os lucros e aumentando as chances de sucesso dos projetos escolhidos([MAX, 2025](#)).

## 1.2 Revisão Bibliográfica do Estado da Arte

Diversos estudos têm abordado a viabilidade técnica, econômica e regulatória dessas tecnologias, bem como sua operação integrada.

O trabalho de [Silva \(2021\)](#) apresenta uma análise sistematizada sobre o investimento residencial em sistemas fotovoltaicos e veículos elétricos no Brasil. A pesquisa discute com profundidade os principais modelos de análise de viabilidade econômica, comparando os cenários antes e depois das alterações regulatórias da Lei 14.300/2022. Um dos destaques do estudo está na consideração de múltiplas variáveis econômicas (como tarifas de energia, inflação e custo de oportunidade) e na análise integrada dos investimentos em

FV e VE. [Silva \(2021\)](#) destaca que, embora o retorno financeiro isolado de cada tecnologia possa variar significativamente, a combinação de ambas pode trazer sinergias importantes ao consumidor residencial, como a redução de custos operacionais e maior independência energética.

Ainda em [Silva \(2021\)](#), foi feita a análise de três cenários, apenas adicionando o veículo elétrico no cenário 1, para o cenário 2 apenas a utilização da geração distribuída e, por fim, o cenário 3, onde há a união dos dois primeiros cenários. Para essa simulação, foi utilizado o consumo no período de um ano de quatro diferentes UC's (Unidades Consumidoras) como base de dados para visualizar as mudanças ocorridas em cada cenário.

Já o artigo de [MEDEIROS et al. \(2022\)](#) avança na discussão ao propor um modelo de gerenciamento energético inteligente (Smart Home Energy Management – SHEMA) para residências que contam com geração fotovoltaica, sistemas de armazenamento por baterias e veículos elétricos. A principal inovação do trabalho está na integração de três conceitos fundamentais: armazenamento móvel (via baterias dos VEs), operações V2G (vehicle-to-grid) e transações energéticas. Os autores implementam um algoritmo baseado em programação linear inteira mista, capaz de operar em tempo real, para otimizar a gestão dos recursos energéticos disponíveis na residência, levando em conta, inclusive o uso de estações públicas de recarga.

De acordo com [Ghofrani \(2024\)](#), a integração sinérgica entre veículos elétricos e geração distribuída renovável em micro-redes de distribuição pode ser conduzida por meio de técnicas de otimização multiobjetivo, considerando tanto o despacho de energia quanto a reconfiguração da rede. O autor demonstra que a operação coordenada, especialmente com o uso do conceito de *vehicle-to-grid* (V2G), é capaz de reduzir perdas, melhorar os índices de estabilidade e aumentar a receita dos operadores locais. O estudo reforça que a combinação de GD e VE, quando planejada de forma conjunta, gera benefícios mais expressivos do que a adoção isolada dessas tecnologias.

No artigo [LONGO, FOIADELLI e YAİCI \(2019\)](#), é explorado como carros elétricos e produção de energia local podem funcionar juntos num bairro inteligente italiano com 2000 moradores, 500 carros elétricos particulares e 50 para uso comunitário. Foram analisadas três formas de carregar os carros (assim que chegam, espalhadas pela noite ou depois das 23h), mostrando que os carros elétricos são mais baratos que os movidos a gasolina. Para suprir o consumo, é preciso aumentar a energia solar em 50% e incluir microturbinas. O jeito de carregar afeta como a rede elétrica é controlada, mas quase não muda o gasto anual com energia.

Os presentes artigos serão utilizados como base para essa monografia, dando ênfase ao trabalho de [Silva \(2021\)](#), que é o precursor dessa revisão e atualização.



## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos e as transformações no perfil de consumo e utilização da energia elétrica, considerando o crescimento da geração distribuída (GD) e a inserção crescente de veículos elétricos (VEs) no sistema elétrico por unidades consumidoras residenciais. O estudo será desenvolvido com base na coleta e tratamento de dados reais de consumo, geração e mobilidade elétrica, visando compreender alterações nos padrões de demanda, qualidade do fornecimento, confiabilidade do sistema e potenciais efeitos econômicos e ambientais. A partir desses dados, serão construídos diferentes cenários prospectivos para avaliar possíveis caminhos de evolução do setor elétrico como um todo, contemplando aspectos técnicos, regulatórios e socioeconômicos, permitindo identificar desafios e oportunidades para consumidores, concessionárias e formuladores de políticas energéticas.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica e atualização sobre o trabalho anteriormente referido, com auxílio de outros trabalhos semelhantes.
- Obter dados de unidades consumidoras para a realização das análises.
- Construção de modelos para a simulação de cenários baseados nas unidades estudadas.
- Estudo de viabilidade econômica dos cenários simulados.

## 1.4 Organização do Trabalho (Resumo dos capítulos)

O trabalho será dividido em quatro capítulos, sendo eles introdução, onde será passada uma visão geral do trabalho, incluindo a fundamentação teórica e objetivos, apresentando os conceitos gerais e bibliografias de maior importância para o trabalho. Metodologia, local onde terá o foco no método de análise de dados e criação dos cenários utilizados, seguindo o mesmo princípio do trabalho de [Silva \(2021\)](#). Resultados, onde será mostrado o que foi obtido a partir das simulações dos cenários determinados. Finalmente, as conclusões obtidas são descritas na seção Conclusão.

## 2 Metodologia

Foi utilizada uma base de dados com unidades consumidoras (UC's) residenciais de regiões distintas de um mesmo estado e estudou-se o padrão de consumo a partir do faturamento de energia. Através da ferramenta *Google Colab* foi possível utilizar código em *Python* para analisar toda a base de dados e determinar uma distribuição normal de consumo, bem como realizar as análises dos cenários requeridos no presente Trabalho de conclusão de curso.

De posse das características de consumo destas residências foi calculado o consumo médio anual. Com estes valores, é possível determinar um intervalo de tolerância onde obtêm-se a possibilidade de avaliar o cenário atual de consumo com mais precisão. Assim, os resultados representarão de forma mais fiel a população de consumidores desse perfil. Foram elaborados cenários em que esses consumidores poderiam ou não possuir um veículo elétrico e/ou sistemas fotovoltaicos instalados em suas residências. Na [seção 2.1](#) são apresentados os dados de consumo, acompanhados das informações de faturamento dentro do intervalo de tolerância e os limites inferior, superior e média, que servirão como base para a análise dos cenários. Na [seção 2.2](#) são apresentados os dados utilizados para a análise de cada cenário. Na [seção 3.1](#), é estimado o uso e o carregamento de um veículo elétrico em substituição a um veículo a combustão. Já na [seção 3.2](#), considera-se a adoção de geração distribuída fotovoltaica, dimensionada para os cenários de projeção média, inferior e superior. Por fim, na [seção 3.3](#), integra-se a geração distribuída ao uso do veículo elétrico. Nesses cenários, são avaliadas as variações no consumo de energia e realizada uma análise econômica com o objetivo de verificar a viabilidade e os parâmetros necessários para a implementação das propostas.

Para os cenários, considerou-se a possibilidade de financiamento do investimento, calculado baseado na Tabela *Price*, também conhecida como "Sistema Francês de Amortização", que tem por principal característica apresentar parcelas iguais. Utilizou-se um código na linguagem *Python* inserindo as taxas atuais de mercado para definir como seriam as parcelas de financiamento, vendo também a sua viabilidade.

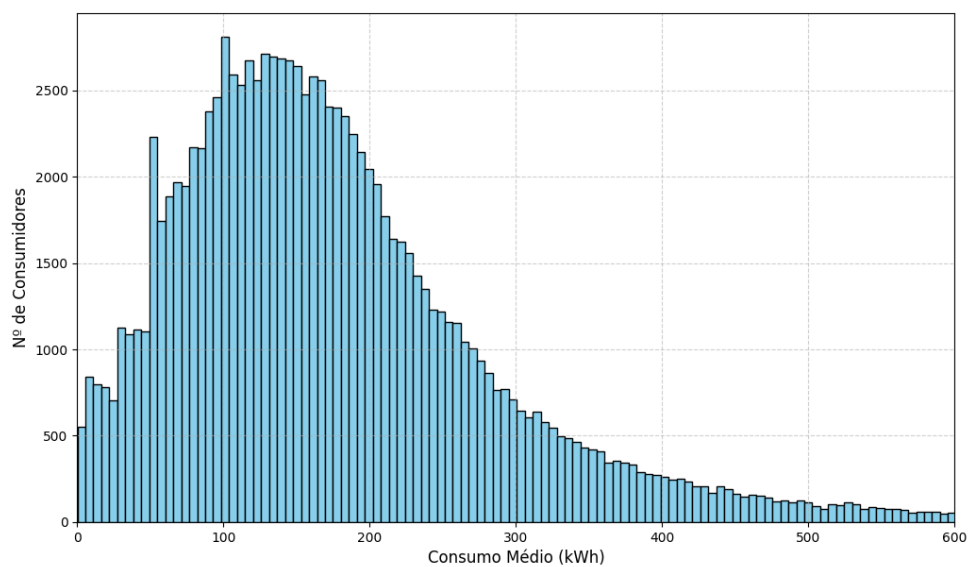
Com a definição dos valores de investimento, financiamento e economia em cada cenário, foi possível elaborar um fluxo de caixa para o cálculo dos principais indicadores financeiros, como a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e o Retorno sobre o Investimento (ROI – *Return on Investment*).

## 2.1 Dados de consumidores de referência

Foram analisados 3 cenários com informações semelhantes para que houvesse a possibilidade da comparação entre eles.

A primeira parte da metodologia veio da análise do consumo de UC's (Unidades Consumidoras) sem nenhuma alteração de carga, apenas o valor faturado pela concessionária para observar as características dos consumidores nesse período e como refletiram nas respostas dos cenários. A [Figura 4](#) mostra a distribuição de consumo por consumidores atendidos em baixa tensão e rede bifásica.

Figura 4 – Histograma de consumo médio anual



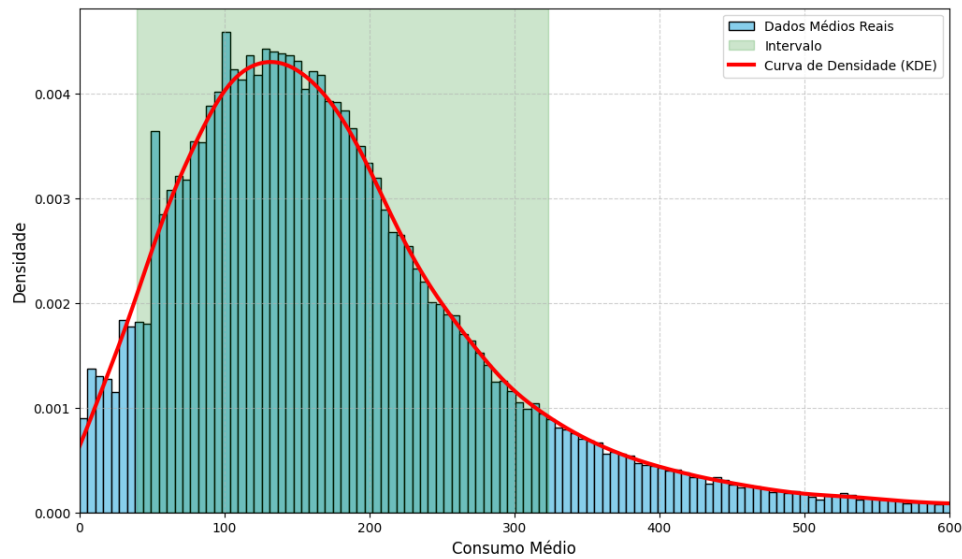
Fonte: do autor

Foi utilizada a Estimativa de Densidade por Kernel (KDE) que é uma técnica estatística não-paramétrica utilizada para visualizar a distribuição de probabilidade de um conjunto de dados, resultando em uma curva contínua e suave que se ajusta ao contorno do histograma. O método utiliza uma função base, o Kernel Gaussiano, centrada em cada ponto de dado para estimar a distribuição de consumo. A largura de banda, determinada automaticamente pela Regra de Scott, controla a suavidade da curva com base na dispersão e na quantidade de dados. O resultado é uma curva de densidade que mostra, de forma contínua, onde os consumos dos consumidores se concentram.

A partir do histograma de consumo médio anual, foi determinada a curva KDE para verificar o comportamento dos consumidores e fixada uma faixa de tolerância para uma análise que abrange a maior parte dos consumidores, como mostrado na [Figura 5](#).

Com isso, foi possível uma análise mais robusta dos 3 cenários, com informações e dados o mais próximo da realidade de consumidores residenciais comuns.

Figura 5 – Histograma de consumo anual com curva KDE e faixa de tolerância



Fonte: Do Autor

Depois de elaborar o estudo do consumo, retiraram-se os dados dos limites inferior, superior e a média dos valores consumidos dentro da faixa de tolerância. A [Tabela 1](#) registra os valores obtidos e que serão utilizados para alguns cenários de estudo.

Tabela 1 – Consumo médio

| Cenário         | Consumo médio (kWh) |
|-----------------|---------------------|
| Limite inferior | 36,83               |
| Média           | 190,94              |
| Limite Superior | 434,73              |

Fonte: Do Autor.

## 2.2 Cenários Analisados

### 2.2.1 Cenário 1 - Substituição dos veículos de combustão por VE

Neste cenário, analisou-se a possibilidade de um consumidor residencial optar pela aquisição de um veículo elétrico, com carregamento realizado em sua própria residência, em substituição a um veículo com motor a combustão interna, mesmo considerando a diferença de preços entre ambos. Essa escolha resulta em um aumento no consumo de energia elétrica, mas também proporciona economia pela redução no uso de combustíveis fósseis. Além disso, há um benefício ambiental associado à substituição de veículos a combustão por veículos de emissão zero, porém este trabalho não aborda os impactos ambientais. O foco está na avaliação da viabilidade técnica e econômica no contexto atual, deixando a análise ambiental e a aplicação em outros cenários como possibilidades para estudos futuros.

Simulou-se, portanto, o impacto no consumo de energia e a viabilidade econômica dessa diferença de gastos em comparação aos combustíveis fósseis. Para isso, foram utilizados valores médios referentes aos veículos elétricos populares disponíveis atualmente:

- Capacidade da bateria ( $C_b$ ): 40 kWh
- Consumo da bateria ( $C_e$ ): 0,18 kWh/km
- Eficiência de carga e descarga ( $\eta$ ): 80%

Com base nessas informações, pode-se calcular a energia necessária para o carregamento da bateria  $E_{ch}$ , expressa em kWh através da Equação 1, onde  $d$  é a distância percorrida.

$$E_{ch} = \frac{d \cdot C_e}{\eta} \quad (1)$$

Conforme apresentado por [LONGO, FOIADELLI e YAÏCI \(2019\)](#), o horário de carregamento não influencia significativamente as análises quantitativas e econômicas do ponto de vista do consumidor. No entanto, não é favorável para a rede elétrica que o carregamento ocorra durante o horário de ponta, pois coincide com o pico de demanda residencial, aumentando drasticamente a carga na rede. Como esta análise se concentra no consumidor residencial, os postos tarifários não foram considerados. Para o usuário, é vantajoso carregar a bateria no menor tempo possível, garantindo sempre um estado de carga suficiente para a utilização do veículo quando necessário.

A análise de retorno do investimento (ROI) para a aquisição de um veículo elétrico (VE) baseia-se na comparação com um veículo a combustão de categoria e uso similares. O "investimento" considerado é apenas a diferença de preço entre o VE e o a combustão, partindo da premissa de que a compra de um veículo é uma necessidade do consumidor. Da mesma forma, a "economia" (retorno) é calculada pela redução da despesa obrigatória com combustível, proporcionada pela opção elétrica.

Foi escolhido um veículo com modelo elétrico e à combustão: o Renault Kwid E-Tech e o Renault Kwid. O preço médio atual do litro de gasolina no Brasil, segundo a ([AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2025](#)), é de R\$ 6,21 e da energia elétrica, R\$ 0,878 /kWh, inclusos os impostos de acordo com [GlobalPetrolPrices.com \(2025\)](#). O veículo a combustão anda em média 10 km/L no perímetro urbano, segundo o fabricante. O elétrico custa R\$ 99.990,00 segundo a tabela FIPE, enquanto o equivalente à combustão custa R\$ 75.790,00.

- **Investimento inicial:** R\$ 24.200,00, correspondente à diferença de preço entre o veículo elétrico e o veículo à combustão. Este valor pode ser financiado integralmente.
- **Troca da Bateria:** A cada 300 mil quilômetros rodados é contabilizado um gasto de R\$ 25.000,00 para a troca da bateria do VE.
- **Financiamento:** 100% do investimento, com taxa de juros de 13,94% ao ano em 5 anos. O pagamento anual do financiamento é calculado pelo sistema de amortização com parcelas fixas.
- **Economia anual total:** Considerando o preço do combustível de R\$ 6,21/L e eficiência do veículo a combustão de 10 km/L (custo de R\$ 0,61 por km rodado), o custo de energia elétrica de R\$ 0,878/kWh com eficiência de 0,18 kWh/km (custo de R\$ 0,158 por km rodado), e os custos de manutenção de R\$ 2.406,00/ano para o veículo elétrico e R\$ 5.094,00/ano para o veículo à combustão, a economia total anual é obtida pela soma da redução de gastos com combustível/energia e manutenção, proporcional à quilometragem percorrida.

Pôde-se executar a análise financeira através de um código em *Python* onde os indicadores TIR, VPL e ROI foram calculados em função dos quilômetros rodados anualmente.

Segundo a [Localiza \(2022\)](#), locadora de veículos, os veículos rodam de 36.000 km a 60.000 km em um ano como motorista de aplicativo, no Brasil. Pessoas que trabalham com o transporte podem circular até 3 vezes mais do que a média da população que utiliza o veículo apenas para deslocamento. Portanto, para estes casos, a viabilidade econômica tende a ser mais vantajosa, o que poderá ser observado nos resultados. Considerando um motorista convencional, anda cerca de metade de um motorista de aplicativo cerca de 18.000km por ano, então os gastos podem ser calculados conforme a [Equação 1](#) e as [Equações 2 e 3](#).

$$G_C = \frac{km\_percorridos}{consumo\_combustivel} \cdot custo_{combustivel} = \frac{18000}{10} \cdot 6,10 = \text{R\$ } 10.980,00/\text{ano} \quad (2)$$

$$G_E = E_{ch} \cdot custo\_eletricidade = \frac{18000 \cdot 0,18}{0,8} \cdot 0,878 = \text{R\$ } 3.555,90/\text{ano} \quad (3)$$

Neste caso,  $G_C$  representa o gasto com combustível e  $G_E$  o gasto com energia elétrica, resultando em uma economia anual média de R\$ 7.424,10 ao optar pelo uso de um veículo elétrico.

### 2.2.2 Cenário 2 - Instalação de SFCR

Para o caso da geração distribuída, assim como [Silva \(2021\)](#), considerou-se o suprimento do consumo médio mensal de energia elétrica. Estimou-se a geração média mensal de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) dimensionado para atender à demanda do consumidor, de modo que este passasse a arcar apenas com a tarifa mínima estabelecida pela concessionária local. Os dados de irradiação solar média utilizados nos cálculos foram obtidos no site do CRESESB, referentes à cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul ([Tabela 2](#)).

Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal em Campo Grande, MS

| Ângulo     | Horizontal | Igual à latitude | Maior média anual | Maior mínimo mensal |
|------------|------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Inclinação | (0°N)      | (20°N)           | (19°N)            | (26°N)              |
| Jan        | 5,62       | 5,13             | 5,17              | 4,91                |
| Fev        | 5,71       | 5,46             | 5,48              | 5,30                |
| Mar        | 5,34       | 5,46             | 5,46              | 5,40                |
| Abr        | 4,79       | 5,34             | 5,32              | 5,41                |
| Mai        | 3,99       | 4,78             | 4,75              | 4,94                |
| Jun        | 3,74       | 4,68             | 4,64              | 4,88                |
| Jul        | 3,90       | 4,79             | 4,76              | 4,97                |
| Ago        | 4,75       | 5,49             | 5,47              | 5,62                |
| Set        | 4,93       | 5,20             | 5,19              | 5,19                |
| Out        | 5,41       | 5,28             | 5,30              | 5,16                |
| Nov        | 5,87       | 5,41             | 5,45              | 5,20                |
| Dez        | 6,19       | 5,56             | 5,60              | 5,29                |
| Média      | 5,02       | 5,22             | 5,22              | 5,19                |
| Delta      | 2,45       | 0,88             | 0,96              | 0,74                |

Fonte: ([CRESESB, 2021](#))

Optou-se por manter os mesmos dados da monografia precursora desta, para fins de comparação mais adequados. Portanto, considerou-se para os cálculos os seguintes dados:

- Irradiação solar diária média anual ( $H_{med}$ ): 5,22 kWh/m<sup>2</sup>.dia.
- Potência dos painéis fotovoltaicos ( $P_{pfv}$ ): 400 Wp.
- Perdas na geração (Perdas): 20%.
- Cálculo da energia gerada anualmente por um painel fotovoltaico  $E_{pfv}$  (área de 1 m<sup>2</sup>):

$$E_{pfv} = \frac{360}{1000} \cdot [H_{med} \cdot P_{pfv} \cdot (1 - Perdas)] = 601,32 kWh \quad (4)$$

- Quantidade de painéis no sistema  $n$ :

$$n = \frac{Consumo_{aa}}{E_{pfv}} \quad (5)$$

onde o  $Consumo_{aa}$  é o consumo médio anual, expresso em kWh.

- Para o cálculo da geração média anual ( $E_{sfv}$ ) têm-se :

$$E_{sfv} = n_{int} \cdot E_{pfv} \quad (6)$$

Utilizando os dados técnicos e os valores de irradiação apresentados na [Tabela 2](#), foi calculada a potência necessária do SFCR para compensar o consumo, bem como as estimativas de geração média mensal e anual, considerando os dados de irradiação e georreferenciamento. Assim, foram obtidas as médias de geração correspondentes aos limites de consumo nos cenários considerados para a instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Para a estimativa dos valores dos sistemas fotovoltaicos, tomou-se como referência a [Tabela 3](#), de modo a assegurar que os cálculos fossem baseados em valores atualizados e representativos do mercado.

Tabela 3 – Preço de sistemas fotovoltaicos por potência instalada

| Potência (kWp) | Preço (R\$)   | Preço por kWp (R\$) |
|----------------|---------------|---------------------|
| 2              | 7.280,00      | 3.640,00            |
| 4              | 11.520,00     | 2.880,00            |
| 8              | 19.360,00     | 2.420,00            |
| 12             | 27.240,00     | 2.270,00            |
| 30             | 64.800,00     | 2.160,00            |
| 50             | 109.500,00    | 2.190,00            |
| 75             | 188.250,00    | 2.510,00            |
| 150            | 348.000,00    | 2.320,00            |
| 300            | 669.000,00    | 2.230,00            |
| 500            | 1.090.000,00  | 2.180,00            |
| 1000           | 2.180.000,00  | 2.180,00            |
| 3000           | 6.510.000,00  | 2.170,00            |
| 5000           | 10.800.000,00 | 2.160,00            |

Fonte: ([SOLAR, 2025](#))

### 2.2.3 Cenário 3 - SFCR e VE

A viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos tende a aumentar à medida que se eleva a potência instalada, conforme observado na [Tabela 3](#), em razão da diluição dos custos fixos do investimento. Dessa forma, o acréscimo no consumo de energia elétrica provocado pela substituição de um veículo a combustão por um veículo elétrico pode contribuir para tornar o sistema fotovoltaico mais atrativo. Com base neste fato, o terceiro cenário considera o aumento do consumo das unidades analisadas, permitindo um novo dimensionamento do SFCR. Assim, os investimentos na aquisição do veículo elétrico e na implantação do sistema fotovoltaico passam a ser avaliados em conjunto, resultando em um cenário integrado e potencialmente mais vantajoso.

Este cenário, que constitui o principal foco deste trabalho, apresenta em detalhe o fluxo de caixa correspondente a cada limite de consumo (inferior, médio e superior), com



ênfase na análise do retorno financeiro, tanto para pagamento à vista quanto para financiamento. Ressalta-se que o valor considerado para o veículo elétrico representa apenas a diferença de custo em relação ao veículo a combustão, conforme adotado no primeiro cenário.

Embora possa parecer uma simples combinação dos cenários 1 e 2, este caso apresenta particularidades, pois a adoção do veículo elétrico implica um aumento significativo no consumo de energia elétrica, proporcional à quilometragem percorrida. Dessa forma, o sistema fotovoltaico deve ser redimensionado em cada situação, de modo que a geração seja suficiente para manter o faturamento restrito à tarifa mínima, assim como no cenário 2.

## 2.3 Análise de Viabilidade Econômica

Nas análises econômicas, os valores fixados foram:

- Perda de eficiência mensal: 0,06%. ([SOLAR, 2022](#))
- Taxa de Reajuste Inflacionário (ao ano): 5,16%. ([IBGE, 2025](#))
- Taxa de Reajuste do CDI anual: 14,9%. ([IPEADATA, 2025](#))

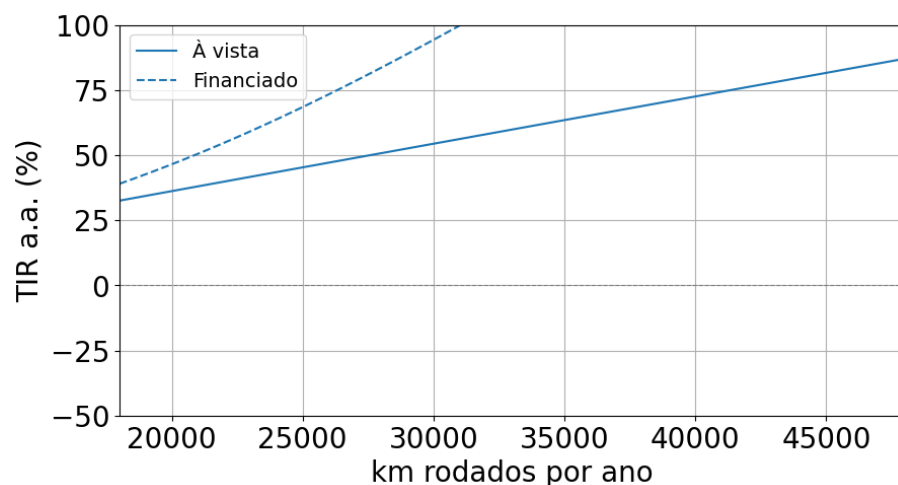
Com esses dados, é possível calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR a.a.), utilizada para avaliar a atratividade do investimento, o Valor Presente Líquido (VPL), que representa a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto em valores atuais, e o Payback, que indica o tempo de retorno em anos. Esses indicadores foram utilizados na elaboração dos gráficos que embasam as análises.

## 3 Resultados

### 3.1 Cenário 1 - Substituição dos veículos de combustão por VE

Com base nos valores estabelecidos no [Capítulo 2](#), foram obtidos os indicadores de Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), Tempo de Retorno do Investimento e Retorno Acumulado, apresentados, respectivamente, nas Figuras 6, 7, 8 e 9. A [Figura 6](#) ilustra a comparação da TIR para as modalidades de compra financiada e à vista, evidenciando que, em ambas as situações e para qualquer valor anual de quilometragem percorrida, o investimento se mostra economicamente vantajoso para o consumidor.

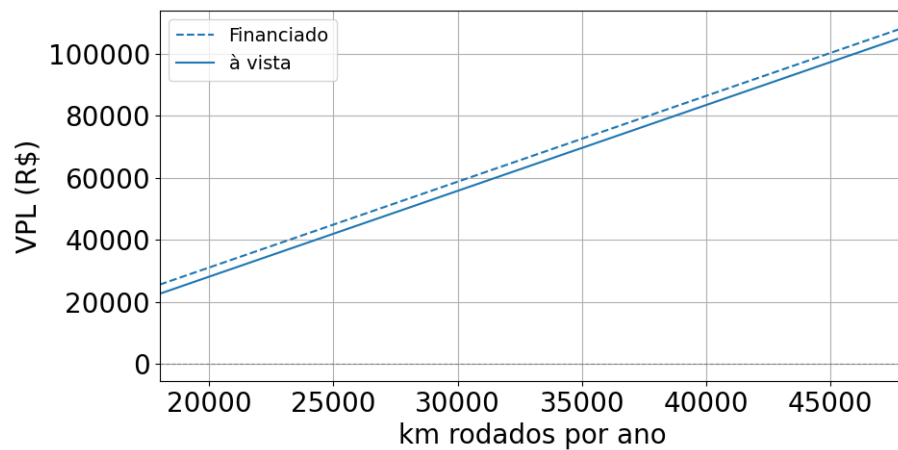
Figura 6 – TIR anual - VE



Fonte: Do Autor

Observa-se que o VPL ([Figura 7](#)) cresce de forma praticamente linear com o aumento dos quilômetros rodados por ano, indicando que quanto maior a utilização do veículo elétrico, maior é o retorno econômico obtido ao longo do período analisado. Nota-se ainda que, embora o investimento à vista apresente um VPL ligeiramente superior ao financiado, ambos os cenários resultam em valores positivos, demonstrando a viabilidade financeira do investimento independentemente da forma de aquisição.

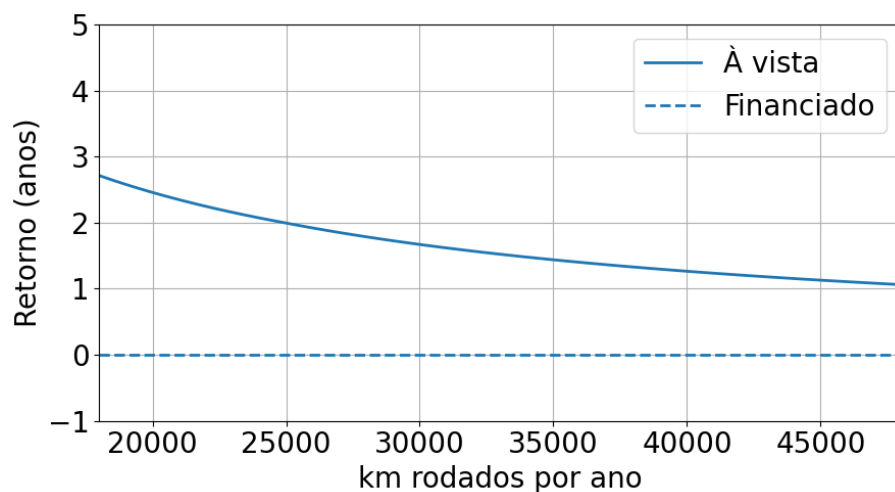
Figura 7 – VPL - VE



Fonte: Do Autor

A Figura 8 ilustra o tempo de retorno do investimento em função da quilometragem percorrida anualmente. Observa-se que, para a modalidade à vista, o período de retorno diminui conforme o aumento do uso do veículo, atingindo valores próximos de um ano para a maior parte da faixa analisada. Já na modalidade financiada, o tempo de retorno permanece nulo, indicando que os ganhos obtidos com a economia gerada pelo veículo elétrico são suficientes para compensar integralmente os custos desde o início do investimento. Esse resultado reforça a vantagem financeira imediata do financiamento em relação à compra à vista.

Figura 8 – Tempo de Retorno - VE

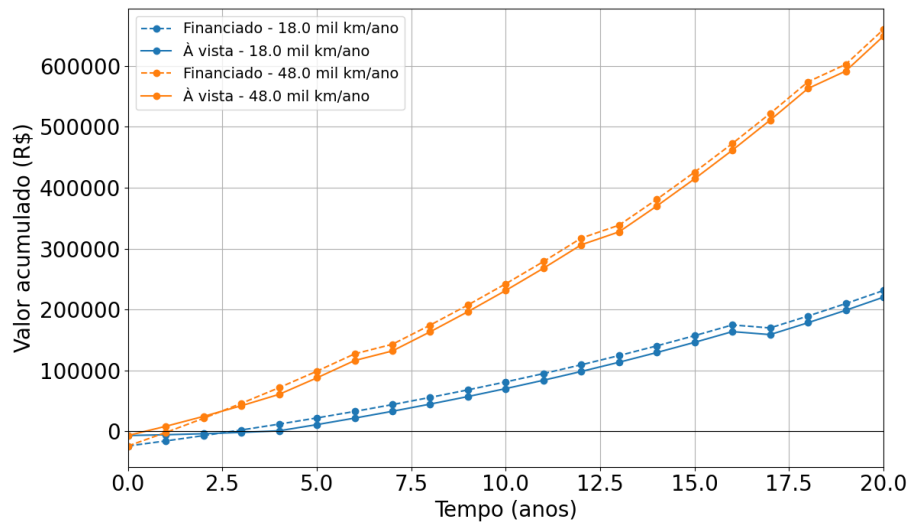


Fonte: Do Autor

Por fim, a evolução do retorno acumulado ao longo do tempo, representada na Figura 9, considera as modalidades de compra à vista e financiada, para dois níveis de utilização anual: 18 mil e 48 mil km. Observa-se que o retorno cresce de forma contínua

durante todo o período analisado, com inclinações mais acentuadas nos cenários de maior quilometragem, evidenciando o impacto positivo do uso intensivo do veículo na rentabilidade do investimento. Nota-se também que, embora a compra à vista apresente resultados ligeiramente superiores, ambas as formas de aquisição conduzem a um acúmulo significativo de valor ao longo dos anos, confirmando a consistência e sustentabilidade econômica do investimento em um veículo elétrico.

Figura 9 – Retorno Acumulado - VE



Fonte: Do Autor

### 3.2 Cenário 2 - Instalação de SFCR

Para este cenário, foram considerados o consumo médio apresentado na [Tabela 1](#) e os custos dos sistemas fotovoltaicos indicados na [Tabela 3](#). Esses parâmetros serviram de base para dimensionar o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), de modo que sua geração atenda integralmente à demanda energética dos consumidores, restando apenas o pagamento da taxa mínima nas faturas de energia elétrica.

A partir dos dados de irradiação solar média apresentados na [Tabela 2](#), fornecidos por [CRESESB \(2021\)](#), e utilizando as Equações 5 e 6, foi possível estimar a potência necessária do SFCR para suprir as médias de consumo. Com isso, determinaram-se a geração média mensal e anual, custo aproximado de cada sistema, bem como a potência do sistema (kWp) e a quantidade de painéis a serem utilizados, conforme demonstrado na [Tabela 4](#).

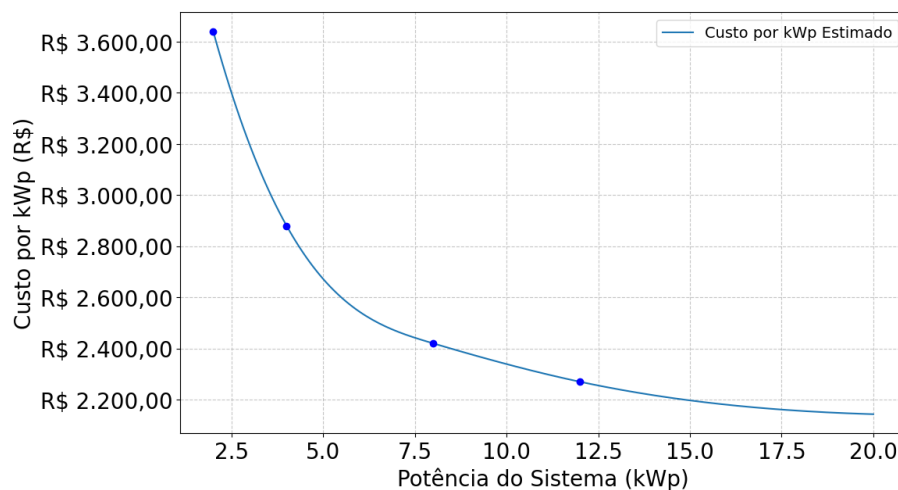
Tabela 4 – Dimensionamento do SFCR para diferentes cenários de consumo médio mensal

| Cenário         | Nº de painéis | Pot. total | Geração mensal | Geração anual | Valor     |
|-----------------|---------------|------------|----------------|---------------|-----------|
| Unidades        | Quantidade    | kWp        | kWh            | kWh           | R\$       |
| Limite Inferior | 1             | 0,4        | 50,11          | 601,32        | 3.640,00  |
| Média           | 4             | 1,6        | 200,44         | 2405,28       | 7.280,00  |
| Limite Superior | 9             | 3,6        | 450,99         | 5411,88       | 11.520,00 |

Fonte: Do Autor.

Com base nos dados disponibilizados por Solar (2025), apresentados na Tabela 3, elaborou-se a Figura 10, que ilustra a variação dos custos dos sistemas fotovoltaicos por kWp instalado. Esse gráfico permite visualizar de forma comparativa os valores médios praticados no mercado, servindo como referência para a estimativa dos investimentos necessários no dimensionamento dos sistemas considerados neste estudo, concluindo que, quanto maior a potência do sistema, menor é o valor por kWp.

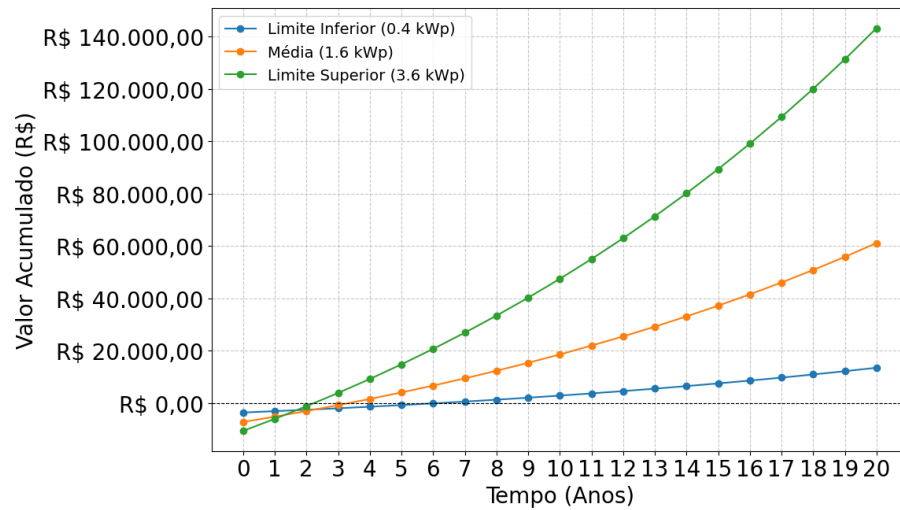
Figura 10 – Custo por kWp em função da Potência



Fonte: Do Autor.

A Figura 11 apresenta o retorno financeiro acumulado do sistema fotovoltaico (SFCR) ao longo de 20 anos de operação, considerando uma taxa de inflação anual de 5,16%. Observa-se que, em todos os cenários avaliados, o investimento se torna positivo após os primeiros anos, confirmando a viabilidade econômica da geração solar. Nota-se também que sistemas de maior potência, além de gerarem mais energia, possuem menor custo por kWp instalado, como mostrado na Figura 10, o que potencializa o retorno financeiro ao longo do tempo.

Figura 11 – Retorno financeiro - SFCR



Fonte: Do Autor.

Dessa forma, a [Figura 11](#) mostra que um sistema com maior capacidade não apenas amplia a geração de energia, mas também torna o investimento mais benéfico para unidades consumidoras com maior gasto energético, já que essas conseguem compensar uma parcela mais significativa do seu consumo e, conseqüentemente, alcançar um retorno financeiro mais expressivo ao longo do tempo.

Por fim, a [Tabela 5](#) apresenta os principais indicadores econômicos obtidos para este cenário como um resumo.

Tabela 5 – Indicadores econômicos SFCR

| Cenário         | VPL(R\$)  | Payback (anos) | TIR (anual) |
|-----------------|-----------|----------------|-------------|
| Limite inferior | 2.100,00  | 6              | 14%         |
| Média           | 6.700,00  | 3              | 19%         |
| Limite superior | 11.800,00 | 2              | 22%         |

Fonte: Do Autor.

### 3.3 Cenário 3 - SFCR e VE

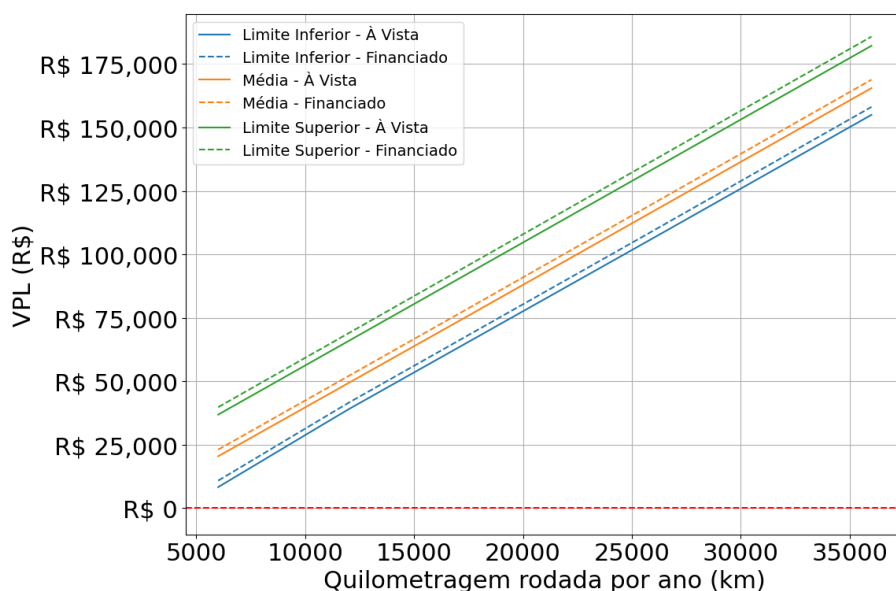
Como nos cenários anteriores foram feitas análises comparadas com quantidade de quilômetros rodados anualmente e utilizando a diferença dos valores de veículos elétricos e a combustão. Em adição também foi feita uma análise pontual de fluxo de caixa ao final do estudo.

Com base nesses valores, foi realizada a análise do Valor Presente Líquido (VPL) para as modalidades de compra à vista e financiada, permitindo comparar o desempenho econômico do investimento em diferentes formas de aquisição. A [Figura 12](#) apresenta, em um mesmo gráfico, as curvas de VPL para ambas as modalidades, mostrando que o

VPL aumenta de forma quase linear com a quilometragem anual rodada. Isso indica que quanto maior a utilização do veículo elétrico, maior é o retorno econômico obtido pelo conjunto SFCR + VE. O cenário de limite superior, associado à maior potência instalada, apresenta os resultados mais expressivos devido ao maior volume de energia gerada e à compensação mais significativa no consumo.

Na mesma figura, observa-se que a compra à vista apresenta desempenho superior à financiada, pois, apesar do maior investimento inicial, elimina os encargos financeiros e proporciona retornos mais elevados ao longo do tempo. Os sistemas de maior potência também demonstram melhor desempenho econômico, já que geram mais energia e têm menor custo por kWp instalado, resultando em um retorno mais rápido e vantajoso para unidades com maior demanda energética.

Figura 12 – VPL por quilômetros rodados Financiada e à vista - VE + SFCR



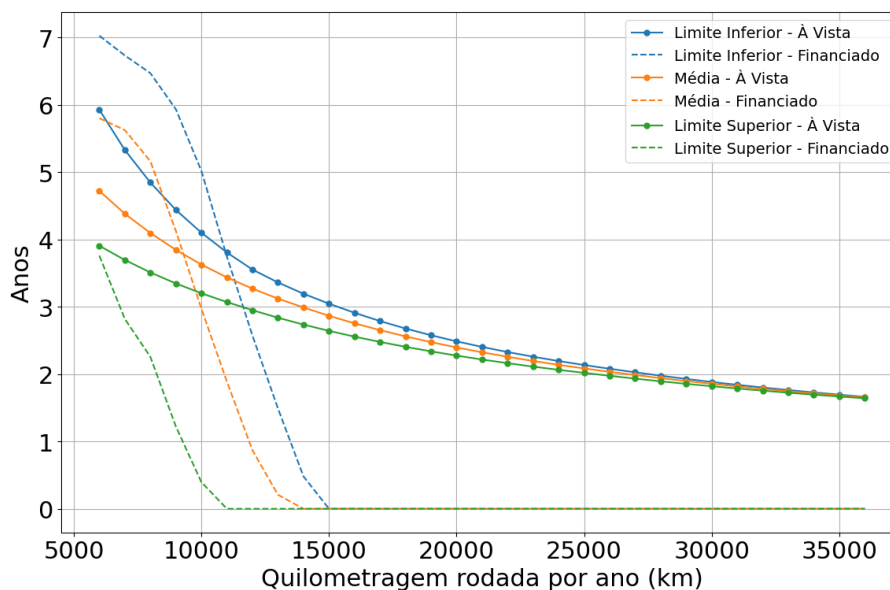
Fonte: Do Autor.

Complementando essa análise, a [Figura 13](#) apresenta o tempo de retorno do investimento (Payback) em função da quilometragem anual para a compra à vista. Observa-se uma tendência decrescente, indicando que o tempo de retorno diminui à medida que o veículo é mais utilizado, atingindo valores próximos de dois anos nos cenários de maior uso. Essa relação demonstra que consumidores com maior quilometragem anual e maior consumo de energia obtêm retornos mais rápidos e vantajosos, pois conseguem compensar uma parcela mais significativa do seu gasto elétrico por meio da geração fotovoltaica.

Já o Payback referente à compra financiada apresenta uma redução brusca no tempo de retorno à medida que a quilometragem anual aumenta, zerando o tempo em determinados pontos. Isso indica que a economia gerada anualmente pelo veículo e pelo sistema fotovoltaico compensa gradualmente o valor das parcelas do financiamento, sendo

o efeito mais expressivo nos sistemas de maior potência.

Figura 13 – Payback à vista e financiado - VE + SFCR



Fonte: Do Autor.

Para este cenário em especial, foi considerado o consumo médio apresentado na [Tabela 1](#), acrescido de um consumo adicional referente ao veículo elétrico (VE), estimado para uma rodagem anual de 24 mil quilômetros. Essa integração permitiu uma análise mais completa do fluxo de caixa ([Figura 14](#) e [Figura 15](#)), contemplando tanto o consumo residencial quanto o energético do veículo. Os valores resultantes dessa soma e o respectivo dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos estão apresentados na [Tabela 6](#).

Tabela 6 – Novo Dimensionamento dos sistemas Fotovoltaicos para o consumo adicional do VE

| Cenário         | Nº de painéis | Pot. total | Geração mensal | Geração anual | Valor     |
|-----------------|---------------|------------|----------------|---------------|-----------|
| Unidades        | Quantidade    | kWp        | kWh            | kWh           | R\$       |
| Limite Inferior | 10            | 4,00       | 501,10         | 6013,20       | 11.520,00 |
| Média           | 13            | 5,20       | 651,43         | 7817,16       | 13.872,00 |
| Limite Superior | 18            | 7,20       | 901,98         | 10823,76      | 17.792,00 |

Fonte: Do Autor.

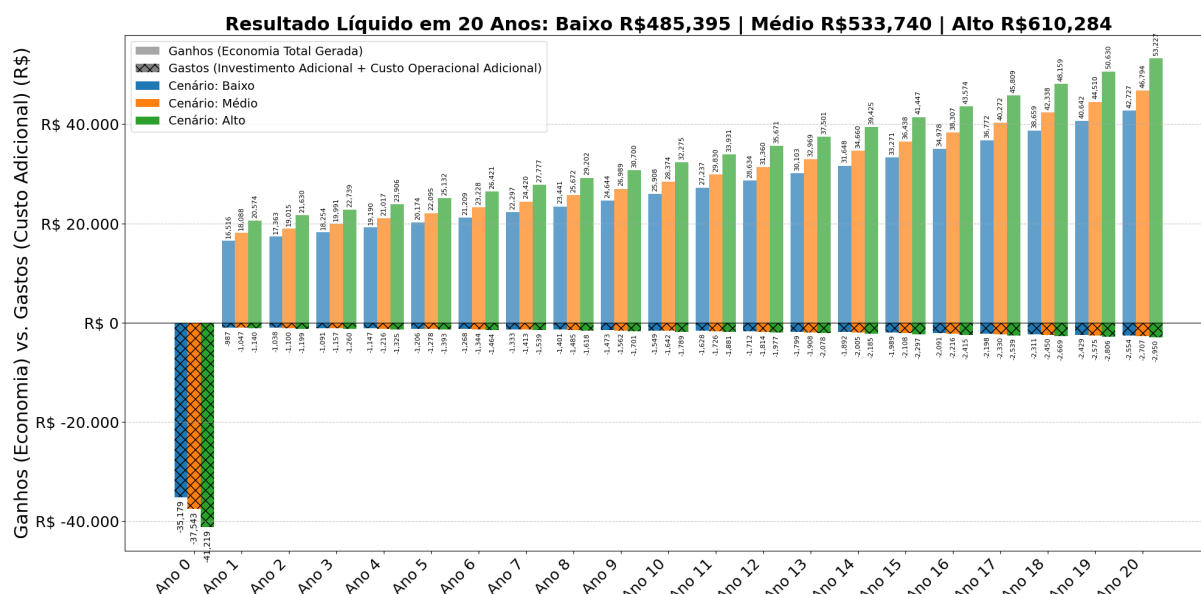
As Figuras 14 e 15 apresentam o fluxo de caixa anual projetado para 20 anos nas modalidades de pagamento à vista e financiada. Em ambos os casos, observa-se crescimento constante da economia acumulada ao longo do período, indicando que o sistema fotovoltaico é financeiramente vantajoso. As variações entre os cenários de limite inferior, médio e superior refletem diferenças em geração de energia devido as diferentes potências dos sistemas, mas todas as projeções resultam em saldo positivo.

O pagamento à vista se destaca por proporcionar maior rentabilidade no longo prazo, já que não há incidência de juros sobre o investimento. No modelo financiado,



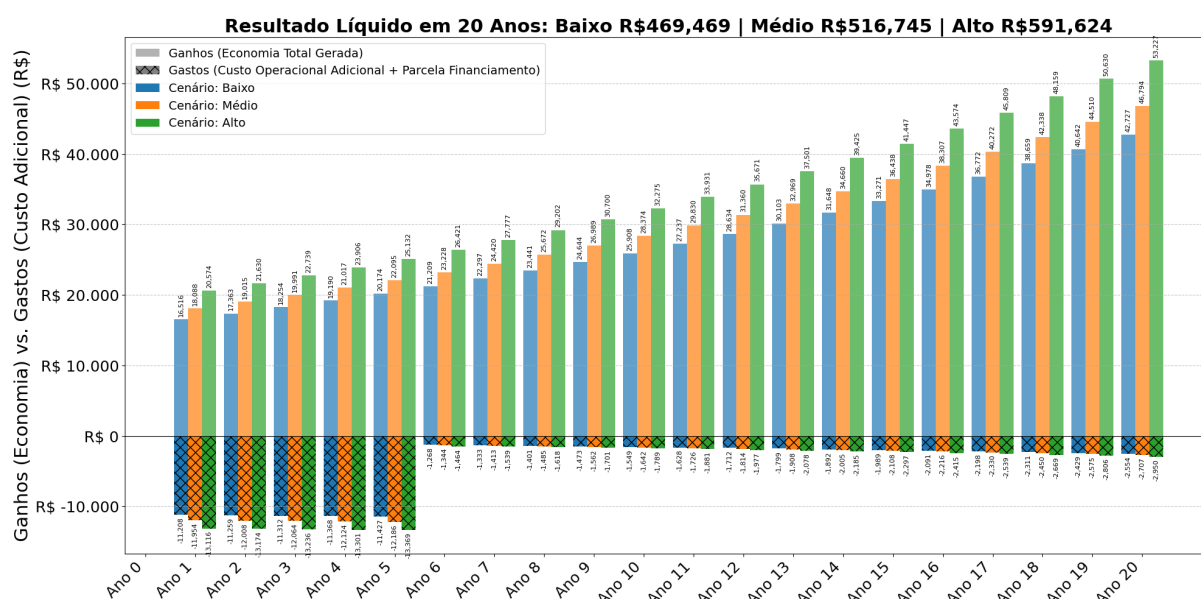
embora o custo total seja maior devido às taxas aplicadas, o desembolso inicial é reduzido, o que torna essa alternativa economicamente viável e atrativa para quem busca retorno gradual. Ambos os modelos reforçam a viabilidade e o potencial de retorno da geração solar distribuída.

Figura 14 – Fluxo de caixa à vista - VE + SCFR



Fonte: Do Autor.

Figura 15 – Fluxo de caixa financiado - VE + SCFR



Fonte: Do Autor.

### 3.4 Comparação entre os cenários

A Tabela 7 apresenta o resumo dos principais indicadores econômicos obtidos nos três cenários estudados: substituição do veículo a combustão por veículo elétrico (VE), instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) e a combinação de ambos (SFCR + VE). Os resultados foram obtidos a partir das Figuras 6 a 15, que ilustram os indicadores TIR, VPL e Payback para as modalidades à vista e financiada.

Tabela 7 – Resumo dos indicadores econômicos dos cenários analisados

| Indicador                  | VE                  | SFCR               | SFCR + VE           |
|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Investimento inicial (R\$) | 24.200              | 7.280 – 11.520     | 38.072 – 41.992     |
| Payback (anos)             | 1 – 3               | 2 – 6              | 0 – 7               |
| TIR (%)                    | 27 – 35             | 14 – 22            | 22 – 35             |
| VPL(R\$)                   | 18.000,00–52.000,00 | 2.000,00–12.000,00 | 25.000,00–60.000,00 |

Fonte: Do Autor.

A análise evidencia que, em todos os cenários, o investimento financiado apresenta desempenho superior ao pagamento à vista. Isso ocorre porque a economia mensal gerada pelos sistemas analisados cobre o valor das parcelas do financiamento, mantendo o fluxo de caixa positivo desde o início.

No caso do veículo elétrico, o retorno é rápido, principalmente para motoristas com maior quilometragem anual, devido à economia com combustível e manutenção. Para o cenário 2, o retorno é mais longo, mas estável, garantindo redução permanente nas despesas de energia.

A combinação entre o sistema fotovoltaico e o veículo elétrico apresenta o melhor desempenho geral. O aumento do consumo de energia provocado pelo carregamento do veículo melhora o aproveitamento do SFCR, que passa a operar de forma mais eficiente, diluindo os custos fixos e ampliando a compensação energética. Nos gráficos de VPL e Payback, observa-se que o investimento financiado mantém saldo positivo desde o primeiro ano, indicando forte viabilidade econômica e estabilidade de longo prazo.

## 4 Conclusão

Este trabalho apresentou uma análise comparativa entre três alternativas de investimento voltadas para consumidores residenciais: a substituição de veículos a combustão por veículos elétricos (VE), a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) e a combinação de ambas as tecnologias. A análise econômica considerou as modalidades de aquisição à vista e financiada, avaliando os indicadores de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback para diferentes faixas de consumo e quilometragem anual.

Os resultados demonstraram que todas as opções são financeiramente viáveis dentro do contexto atual brasileiro, embora cada uma apresente vantagens específicas conforme o perfil de uso. O cenário do veículo elétrico isolado apresentou retorno mais rápido, especialmente para usuários com alta quilometragem mensal, devido à expressiva economia com combustíveis fósseis e custos de manutenção. O investimento financiado mostrou-se o mais vantajoso, uma vez que a economia mensal supera o valor das parcelas, garantindo fluxo de caixa positivo desde o primeiro ano.

No caso do sistema fotovoltaico conectado à rede, observou-se viabilidade consistente, ainda que com tempo de retorno mais longo. O investimento à vista proporciona maior rentabilidade ao longo dos anos, enquanto o financiamento oferece vantagem inicial ao evitar alto desembolso e possibilitar o equilíbrio financeiro imediato. O cenário 2 se destaca por oferecer estabilidade, previsibilidade e independência parcial frente aos aumentos tarifários, consolidando-se como uma solução de longo prazo para residências.

A integração das duas tecnologias (o uso de veículo elétrico aliado à geração fotovoltaica) apresentou o melhor desempenho entre todos os cenários avaliados. Esse resultado se deve à sinergia entre o consumo adicional gerado pelo carregamento do veículo e a compensação energética do SFCR. O aumento de demanda faz com que o sistema opere de forma mais eficiente, diluindo custos fixos e ampliando o aproveitamento da geração solar. Como consequência, o cenário combinado apresentou VPL positivo desde o início, TIR elevada e payback reduzido a valores próximos de zero, especialmente na modalidade financiada. Esse comportamento evidencia que, ao combinar ambas as tecnologias, o investimento se torna não apenas autossustentável, mas também economicamente superior às opções isoladas.

Conclui-se que o cenário que mais compensou foi o integrado (SFCR + VE), pois oferece o melhor equilíbrio entre economia imediata, estabilidade financeira e benefícios ambientais. Esse resultado depende principalmente da quilometragem percorrida, da tarifa de energia vigente e da forma de aquisição (à vista ou financiada). Os resultados

mostraram-se convincentes, coerentes com estudos recentes e tecnicamente sólidos, confirmando a viabilidade prática dessas soluções no contexto residencial brasileiro.

Como continuidade deste estudo, recomenda-se ampliar as análises incorporando aspectos ambientais, como o cálculo da pegada de carbono e a redução efetiva das emissões de gases de efeito estufa, de modo a quantificar os impactos ambientais positivos da transição para a mobilidade elétrica associada à geração distribuída. Além disso, sugere-se explorar novas formas de geração renovável além da solar fotovoltaica, como sistemas eólicos residenciais, microturbinas hidráulicas ou arranjos híbridos. Também seria relevante investigar a viabilidade de sistemas *off-grid* e *zero-grid*, com armazenamento em baterias residenciais, capazes de promover maior independência energética e reduzir a vulnerabilidade frente a variações tarifárias ou interrupções no fornecimento de energia.

Em síntese, conclui-se que a integração entre mobilidade elétrica e geração fotovoltaica representa uma alternativa madura, eficiente e sustentável, apontando um caminho promissor para a transição energética no ambiente residencial brasileiro.

# Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist)*. 2022. Atualizado em: 4 mai. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>><https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Síntese Semanal do Comportamento dos Preços dos Combustíveis*. 2025. Acesso em: 15 out. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/sintese-semanal-do-comportamento-dos-precos-dos-combustiveis>><https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/sintese-semanal-do-comportamento-dos-precos-dos-combustiveis>.

BARAN, R. *A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade*. [S.l.], 2012.

BNDES. *Veículos elétricos: um mercado em ascensão*. 2018. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/veiculos-eletricos>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BRASIL. Agência Gov/EBC. *Brasil supera 4GW de potência instalada na matriz elétrica*. 2025. Disponível em: <<https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202507/brasil-supera-os-4-gw-de-potencia-instalada-em-2025>><https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202507/brasil-supera-os-4-gw-de-potencia-instalada-em-2025>.

BRASIL. Senado Federal. *Aumento da tributação sobre painéis solares será tema de debate na CI*. 2025. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2025/06/10/aumento-da-tributacao-sobre-paineis-solares-sera-tema-debate-na-ci>><https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2025/06/10/aumento-da-tributacao-sobre-paineis-solares-sera-tema-debate-na-ci>.

BUITRAGO, C. A. S. *Sistema de carregamento rápido de veículo elétrico puro*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/150572>><http://hdl.handle.net/11449/150572>.

COSTA, L. F. A.; AL. et. *Análise técnico-econômica de um sistema de microgeração fotovoltaica. Sem indicação de periódico*, 2023.

CRESESB. *Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito*. 2021. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>><http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Matriz Energética e Elétrica*. 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>><https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. *Fontes de Energia*. 2025.

Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>><https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>.

EURONEWS. *Fim da venda de carros a diesel e gasolina a partir de 2035*. 2022.

Com Lusa. Disponível em: <<https://pt.euronews.com/my-europe/2022/06/29/fim-da-venda-de-carros-a-diesel-e-gasolina-a-partir-de-2035>><https://pt.euronews.com/my-europe/2022/06/29/fim-da-venda-de-carros-a-diesel-e-gasolina-a-partir-de-2035>.

FERREIRA, J. P.; DIAS, M. J. Veículos elétricos e híbridos: História e perspectivas para o Brasil. *ETIS - Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 40–54, 2022. Disponível em: <<https://revistas2.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/3861>><https://revistas2.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/3861>.

GHOFRANI, M. Synergistic integration of EVs and renewable DGs in distribution micro-grids. *Sustainability*, MDPI, v. 16, n. 10, p. 3939, 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/16/10/3939>><https://www.mdpi.com/2071-1050/16/10/3939>.

GLOBALPETROLPRICES.COM. *Brazil electricity prices, March 2025*. 2025.

[https://www.globalpetrolprices.com/Brazil/electricity\\_prices/?utm\\_source](https://www.globalpetrolprices.com/Brazil/electricity_prices/?utm_source).

Acesso em: 15 out. 2025.

(IBGE), I. B. de Geografia e E. *Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) — Dados e Metodologia*. 2025. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html>.

Acesso em: 15 out. 2025.

IPEADATA. *Taxa de Juros – CDI/Over – Série Histórica*. 2025. <https://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?module=M&serid=32237&stub=1>.

Acesso em: 17 out. 2025.

LOCALIZA, Z. *Motorista de App: Quantos KM roda por dia?* 2022. Acesso em: 15 out.

2025. Disponível em: <<https://zarp.localiza.com/blog/post/motorista-de-aplicativo-calculo-de-km-por-dia>><https://zarp.localiza.com/blog/post/motorista-de-aplicativo-calculo-de-km-por-dia>.

LONGO, M.; FOIADELLI, F.; YAİCI, W. Simulation and optimisation study of the integration of distributed generation and electric vehicles in smart residential district. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, Springer, v. 10, n. 3, p. 271–285, 2019.

MAX, R. *Análise de viabilidade econômica: o que é e como fazer*. 2025. Disponível em: <<https://www.rtek.com.br/analise-de-viabilidade-economica-o-que-e-e-como-fazer/>><https://www.rtek.com.br/analise-de-viabilidade-economica-o-que-e-e-como-fazer/>.

MEDEIROS, A. et al. Sistema de gerenciamento de energia elétrica residencial aplicado à recarga do veículo elétrico e transação de energia. In: *Congresso Brasileiro de Automática - CBA*. [S.l.: s.n.], 2022.

NAKABAYASHI, R. *Microgeração fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica*. [S.l.], 2015.

PETROBRAS. *Tudo sobre transição energética: o que é, qual a importância, principais benefícios e mais*. 2025. Disponível em: <<https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/transicao-energetica/tudo-sobre-transicao-energetica-o-que-e-qual-a-importancia-principais-beneficios-e-mais>><https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/transicao-energetica/tudo-sobre-transicao-energetica-o-que-e-qual-a-importancia-principais-beneficios-e-mais>.

RODRÍGUEZ, T. B.; CONSONI, F. L. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio íon para veículos elétricos. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 19, p. e0200014, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658394>><https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658394>.

SILVA, H. M. F. d.; ARAÚJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 3, p. 859–869, 2022. Disponível em: <<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654>><https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654>.

SILVA, J. A. d.; SOUZA, E. d. Veículos híbridos e elétricos: caminho para uma mobilidade sustentável. *Revista Gestão Industrial*, v. 16, n. 3, p. 58–73, 2020. Disponível em: <<https://revistas.unisinos.br/index.php/rgi/article/view/rgi.2020.163.04>><https://revistas.unisinos.br/index.php/rgi/article/view/rgi.2020.163.04>.

SILVA, R. d. O. e. *Análise de cenários de investimento em sistemas fotovoltaicos e em veículos elétricos por consumidores residenciais*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021.

SOLAR, P. *Painel solar: preços e custos de instalação*. 2025. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>><https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>.

SOLAR, W. *Saiba o que é eficiência de painéis solares e veja como calcula-la*. 2022. <https://www.weg.net/solar/blog/saiba-o-que-e-eficiencia-de-paineis-solares-e-veja-como-calcula-la/>. Acesso em: 15 out. 2025.

WEG. *O que é uma geração distribuída de energia e quais são as suas vantagens?* 2024. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar/blog/o-que-e-uma-geracao-distribuida-de-energia-e-quais-sao-as-suas-vantagens/>><https://www.weg.net/solar/blog/o-que-e-uma-geracao-distribuida-de-energia-e-quais-sao-as-suas-vantagens/>.

WEG. *Projetos grid zero: afinal, como são homologados?* 2024. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar/blog/projetos-grid-zero-afinal-como-sao-homologados/>><https://www.weg.net/solar/blog/projetos-grid-zero-afinal-como-sao-homologados/>.