

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS SILVA MENDES

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA MIGRAÇÃO DE
PROSSUMIDORES EM ALTA TENSÃO PARA O MERCADO LIVRE

CURITIBA

2025

Lucas Silva Mendes

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA MIGRAÇÃO DE
PROSSUMIDORES EM ALTA TENSÃO PARA O MERCADO LIVRE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof^a. Dra. Kristie Kaminski Küster

CURITIBA

2025

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é fruto do empenho, carinho e dedicação de pessoas que acreditaram quando nem eu mesmo acreditava tanto assim. Por isso, agradeço em especial minha mãe e irmã, Izabel Silva Sobrinho e Loyci Silva Mendes, respectivamente, pelo suporte durante o longo período que a graduação teve na minha vida, minhas filhas de quatro patas, Arya e Nymeria, por serem o melhor apoio que alguém poderia ter, aos colegas e amigos que me auxiliaram nesse período, ainda que de longe. E agradeço a professora Kristie Kaminski Küster por ter acreditado e se disponibilizado em me ajudar durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

A geração de energia sustentável tem ganhado cada vez mais espaço na sociedade, sobretudo com o uso de tecnologia fotovoltaica. Essa tecnologia abriu caminho para consumidores gerarem energia em suas próprias casas. Dessa forma, unidades consumidoras tem a possibilidade de serem prosumidores e economizarem em sua conta de energia. Juntamente com uma tecnologia que desempenha mudanças econômicas no mercado de energia, temos o desenvolvimento do próprio mercado livre de energia e sua regulação para comportar de forma segura todos os seus agentes. Dentro desse ambiente de mudanças regulatórias e expansão de geração distribuída, temos que observar qual o impacto dessas mudanças para os prosumidores, e se ela ainda pode favorecer o mercado livre de energia a continuar expandindo a matriz energética para fontes sustentáveis de energia. Nesse contexto, esse trabalho busca analisar as condições de viabilidade econômica para prosumidores de alta tensão migrarem para o mercado livre de energia e qual o impacto do novo ambiente regulatório para a geração sustentável. Portanto, foi analisado as faturas de um prosumidor do grupo tarifário A e concluído através de indicadores financeiros a viabilidade da migração.

Palavras-chave: 1; Prosumidores 2; Alta tensão 3; Mercado livre de energia

ABSTRACT

Sustainable energy generation has been gaining more and more space in society, especially with the use of photovoltaic technology. This technology has paved the way for consumers to generate energy in their own homes. Thus, consumer units have the possibility of becoming prosumers and saving on their energy bills. Alongside a technology that drives economic changes in the energy market, we also see the development of the free energy market itself and its regulation to safely accommodate all its agents. Within this environment of regulatory changes and the expansion of distributed generation, it is necessary to observe the impact of these changes on prosumers and whether they can still support the free energy market's efforts to expand the energy matrix toward sustainable energy sources. In this context, this study aims to analyze the economic viability conditions for high-voltage prosumers to migrate to the free energy market and the impact of the new regulatory environment on sustainable generation. Therefore, the invoices of a prosumer from tariff group A were analyzed, and the feasibility of migration was concluded through financial indicators.

Keywords: 1. Prosumers; 2. High voltage; 3. Free energy market

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1. MIGRAÇÕES AO MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES CONSUMIDORAS.....</u>	<u>16</u>
<u>Figura 2. COMPOSIÇÃO MÉDIA DA TARIFA DE ENERGIA.....</u>	<u>25</u>
<u>Figura 3. TARIFAS DO SUBGRUPO A4 AZUL DA COPEL.....</u>	<u>26</u>
<u>Figura 4. POSTOS TARIFÁRIOS APLICADOS PELA COPEL.....</u>	<u>27</u>
<u>Figura 5. ESCALONAMENTO DE COBRANÇA SOBRE O USO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....</u>	<u>28</u>
<u>Figura 6. PERFIS TÍPICOS DE CURVAS DE CARGA DE DIFERENTES CLASSE DE CONSUMO.....</u>	<u>29</u>
<u>Figura 7. CURVA CARACTERÍSTICA DE IRRADIÂNCIA SOBRE PAINEL UM FOTOVOLTAICO.....</u>	<u>30</u>
<u>Figura 8. CURVA DE CARGA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....</u>	<u>30</u>
<u>Figura 9. FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.....</u>	<u>44</u>
<u>Figura 10. VALORES DE CARGA TÍPICA DEMANDADA POR CONSUMIDOR DA COPEL DO SUBGRUPO TARIFÁRIO A4.....</u>	<u>45</u>
<u>Figura 11. CURVA DE CARGA DEMANDADA SEMANAL.....</u>	<u>47</u>
<u>Figura 12. VALORES TARIFÁRIOS DA MODALIDADE AZUL PARA POSTOS HORÁRIOS DO SUBGRUPO A4.....</u>	<u>48</u>
<u>Figura 13. VALORES TARIFÁRIOS DA MODALIDADE VERDE PARA POSTOS HORÁRIOS DO SUBGRUPO A4.....</u>	<u>49</u>
<u>Figura 14. DATASHEET DO INVERSOR.....</u>	<u>53</u>
<u>Figura 15: DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.....</u>	<u>54</u>
<u>Figura 16. VALOR DA ENERGIA PELA PLATAFORMA DCIDE.....</u>	<u>56</u>
<u>Figura 17. ALÍQUOTA DE PIS/COFINS DA COPEL NO ÚLTIMO ANO.....</u>	<u>58</u>

LISTA DE GRÁFICOS

<u>GRÁFICO 1. IRRADIAÇÃO SOLAR DURANTE UMA SEMANA EM CURITIBA.....</u>	<u>50</u>
<u>GRÁFICO 2. ENERGIA PRODUZIDA POR UM MÓDULO FOTOVOLTAICO.....</u>	<u>51</u>
<u>GRÁFICO 3. CONSUMO E GERAÇÃO DE ENERGIA SEMANAL ENTRE 06h E 18h.</u>	<u>52</u>
<u>GRÁFICO 4. VALORES DAS FATURAS NO ACR E NO ACL ANUALMENTE.....</u>	<u>64</u>
<u>GRÁFICO 5. VALORES DAS FATURAS NO MLE E NO ACR ANUALMENTE.....</u>	<u>66</u>

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1. RESUMO DO ARCABOUÇO LEGAL PESQUISADO.....</u>	<u>21</u>
<u>Tabela 2. CONSUMO MENSAL E MÁXIMA DEMANDA FORA DE PONTA.....</u>	<u>49</u>
<u>Tabela 3. CONSUMO MENSAL E MÁXIMA DEMANDA DE PONTA.....</u>	<u>49</u>
<u>Tabela 4. CUSTO MENSAL DE ENERGIA EM AMBAS MODALIDADES</u> <u>TARIFÁRIAS.....</u>	<u>51</u>
<u>Tabela 5. VALORES DE BREAK-EVEN EM AMBAS MODALIDADES TARIFÁRIAS E</u> <u>O VALOR DE PONTA E FORA DE PONTA RESPECTIVO.....</u>	<u>59</u>
<u>Tabela 6. VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE VERDE NO MLE COM SFV.....</u>	<u>61</u>
<u>Tabela 7. VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE VERDE NO MLE COM SFV.....</u>	<u>61</u>
<u>Tabela 8: VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE AZUL NO ACR COM SFV.....</u>	<u>63</u>
<u>Tabela 9: VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE AZUL NO ACR COM SFV.....</u>	<u>63</u>
<u>Tabela 10: VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE AZUL NO ACR SEM SFV.....</u>	<u>64</u>
<u>Tabela 11: VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE AZUL NO ACR SEM SFV.....</u>	<u>64</u>
<u>Tabela 12: VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE VERDE NO MLE SEM SFV.....</u>	<u>65</u>
<u>Tabela 13: VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA</u> <u>MODALIDADE VERDE NO MLE SEM SFV.....</u>	<u>65</u>
<u>Tabela 14: VALORES DE FATURA COM SFV NO MLE, NO ACR E A DIFERENÇA.</u> <u>.....</u>	<u>66</u>
<u>Tabela 15: FLUXO DE CAIXA SIMPLES E DESCONTADO.....</u>	<u>68</u>
<u>Tabela 16: VALORES DE FATURA NO MLE E NO ACR SEM SFV E A DIFERENÇA.</u> <u>.....</u>	<u>68</u>
<u>Tabela 17: FLUXOS DE CAIXA SIMPLES E DESCONTADO.....</u>	<u>69</u>

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BEN	- Balanço Energético Nacional
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
GD	- Geração distribuída
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ACR	- Ambiente de contratação regulada
ACL	- Ambiente de contratação livre
MLE	- Mercado livre de energia
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
SCEE	- Sistema de Compensação de Energia Elétrica
VPL	- Valor Presente Líquido
SIN	- Sistema Interligado Nacional
SMF	- Sistema de Medição e Faturamento
REN	- Resolução Normativa
MMGD	- Microgeração e minigeração distribuída
TUSD	- Tarifa de uso de energia
TE	- Tarifa de energia
SFV	- Sistema fotovoltaico
ESS	- Encargo de Serviço do Sistema
EER	- Encargo de Energia de Reserva

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ - somatório de números

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1.1 Arcabouço legal.....	19
2.1.1.1 Lei Nº 9.074 de 1995.....	20
2.1.1.2 Lei Nº 10.848 de 2004.....	21
2.1.1.3 Portaria Nº 50 de 2022.....	21
2.1.1.4 Lei Nº 14.300 de 2022.....	22
2.1.2 Regras de comercialização.....	22
2.1.3 Regras do sistema de compensação de energia.....	26
2.1.4 Curvas de carga de consumo e geração fotovoltaica.....	28
2.1.5 Fundamentação teórica de viabilidade econômica.....	31
2.1.5.1 Fluxo de caixa.....	31
2.1.5.2 <i>Payback</i> descontado.....	31
2.1.5.3 Valor presente líquido.....	32
2.2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 PROSPECÇÃO DE DADOS.....	35
3.2 CÁLCULO DA TARIFA NO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO.....	35
3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	38
3.4 CÁLCULO DO VALOR MÁXIMO DA ENERGIA NO MERCADO LIVRE PARA VIABILIZAR A MIGRAÇÃO.....	40
3.5 CÁLCULO DOS INDICADORES FINANCEIROS.....	42
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	44
4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	44
4.2 CÁLCULO DAS MODALIDADES TARIFÁRIAS.....	47
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	49

4.4 BREAKEVEN.....	55
4.5 CÁLCULO DAS FATURAS DE ENERGIA.....	58
4.5.1 Caso 1:.....	64
4.5.2 Caso 2:.....	66
5 CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o setor elétrico brasileiro tem passado por grandes mudanças, segundo dados do Balanço Energético Brasileiro (BEN) publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, (2024)), a participação de fontes renováveis na matriz energética durante 2014 a 2023 aumentou de 74% para 89,2%. Nesse contexto, destaca-se a figura de prossumidores (consumidores que também geram parte da energia que consomem), e que estão inseridos no sistema de geração distribuída (GD).

A geração distribuída se caracteriza pela proximidade entre a fonte de geração e o consumidor. Essa forma de geração é feita, principalmente, por painéis fotovoltaicos, devido ao pouco espaço que ocupam em relação a fontes de geração mais tradicionais. Além de ser sustentável, esse meio de geração pode render economia aos prossumidores, como garante a Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022) por meio da compensação de energia excedente que é fornecida a rede de distribuição. Apesar da possibilidade de economia financeira, os minigeradores e microgeradores não podem fazer parte do mercado livre de energia.

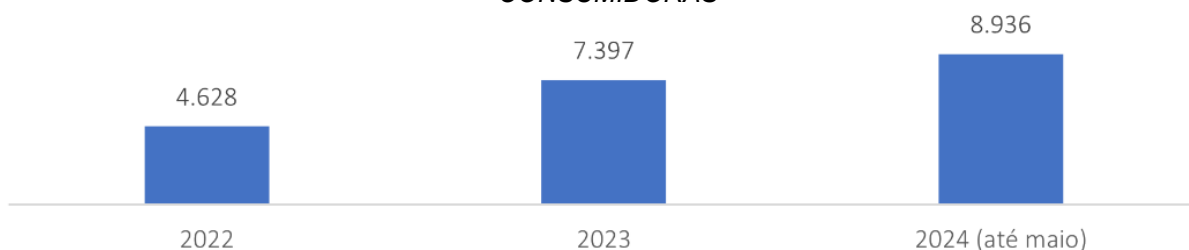
Segundo a Resolução Normativa Nº 265, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu a atividade de comercialização de energia e o mercado livre começou a existir de fato (Brasil, 1998). Até então, as unidades consumidoras podiam comprar energia elétrica somente de concessionárias num modelo conhecido como Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Após a resolução normativa anteriormente mencionada, foi criado o Ambiente de Contratação Livre (ACL), onde o consumidor pode negociar com o fornecedor e escolher de quem comprar a energia elétrica.

Os consumidores são classificados conforme o nível de tensão que demandam. De acordo com a Resolução Normativa Nº 1.000 da ANEEL, os consumidores de energia elétrica se dividem entre dois grupos tarifários chamados A e B. Fazem parte do grupo tarifário A aqueles consumidores que demandam energia de média e alta tensão, no caso, com conexão de tensão maior ou igual a 2,3 kV ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3

kV. O grupo tarifário B são aqueles consumidores que demandam energia de baixa tensão, menor que 2,3 kV (Brasil, 2021).

Parte da mudança no setor elétrico brasileiro se deve a Portaria Normativa Nº 50/2022 do Ministério de Minas e Energia, que concedeu o direito aos consumidores do Grupo A de escolherem o seu fornecedor de energia, a partir de janeiro de 2024 (Brasil, 2022a). Segundo dados da Câmara de Comercialização de Energia (CCEE) (CCEE, (2024)), nos cinco primeiros meses de 2024 a organização registrou 8.936 migrações para o mercado livre de energia.

Figura 1. MIGRAÇÕES AO MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES CONSUMIDORAS



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, (2024)

Portanto, nota-se que a demanda por essa nova modalidade de negociação de energia tem crescido. Com isso, abre-se espaço para uma análise de custos de tarifas, encargos regulatórios e investimentos necessários para os prossumidores de alta tensão terem uma base ao escolherem entre concessionárias ou mercado livre de energia.

1.1 PROBLEMA

O cenário de geração de energia apresenta uma expansão de fontes sustentáveis em sua matriz energética combinado a uma nova regulamentação para consumidores de alta tensão participarem do mercado livre de energia e ao momento de transição na forma de tarifação que traz a Lei 14.300/22 (Brasil, 2022).

A partir de 2024 as unidades consumidoras do Grupo Tarifário A tem a oportunidade de migrarem para o mercado livre de energia. No ACL, os consumidores têm um maior grau de liberdade de escolha, permitindo negociar tempo de contrato e preços mais baixos de energia. Porém, dentro do ACL os consumidores que também produzem energia não podem participar do SCEE.

Assim sendo, se abre espaço para o questionamento do consumidor cativo e produtor de energia para autoconsumo se é economicamente viável a migração para o mercado livre, preterindo a compensação de energia em relação a melhores condições na compra de energia elétrica.

Portanto, o trabalho procurará responder se as condições atuais para prosumidores em alta tensão, que produzem energia através de sistema fotovoltaico, são economicamente vantajosas ao migrarem para o ACL. Além de, consequentemente, analisar se essas recentes mudanças regulatórias trazem impacto a expansão de geração de energia renovável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho consiste em uma análise de viabilidade econômica para investigar as condições de migração para o mercado livre de energia de prosumidores conectados em alta tensão com um sistema fotovoltaico para geração e consumo próprio. Tendo definido como prosumidor do Grupo A, o consumidor conectado a rede elétrica de alta tensão com sistema de geração distribuída instalado com capacidade de autoconsumo e de fornecimento a rede.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construir a fundamentação teórica e revisar a literatura para conhecer o estado da arte;
- Estabelecer a metodologia para a investigação;

- Estabelecer os casos a serem estudados e aquisitar os dados necessários;
- Investigar a viabilidade através dos estudos de caso e cenários de acordo com a metodologia estabelecida;
- Avaliar os resultados com vistas a esclarecer a efetividade das regras atuais em permitir a expansão em massa da geração distribuída;
- Propor mudanças para aperfeiçoamento do arcabouço regulatório de acordo com os resultados avaliados.

1.3 JUSTIFICATIVA

O ambiente de comercialização de energia tem passado por mudanças em sua regulação que ocasionam a ampliação do mercado livre de energia. Aliado à evolução da tecnologia de geração sustentável e o declínio dos valores desses sistemas com o passar do tempo, torna propício para uma ampliação desse meio. Acarretando a figura do prosumidor de energia elétrica, caracterizada pela unidade consumidora convencional conectada a rede e que passa a ter capacidade de fornecer energia através de geração distribuída.

Dessa forma, esse trabalho se concentra em estudar os impactos que a recente abertura do mercado para prosumidores pertencentes ao Grupo Tarifário A tem sobre os mesmos. Para isso, o estudo apresenta uma revisão do arcabouço regulatório, se dedicando a enfatizar as principais leis e regulamentações que possibilitaram o atual estado do setor elétrico brasileiro. Além disso, se fez necessário uma revisão de literatura para entendermos o estado da arte sobre a implementação de estudos de viabilidade econômica. A pesquisa tem como cerne o mercado de energia brasileiro, porém não foi descartado artigos e estudos estrangeiros, pois podem apresentar informações relevantes de locais onde o comércio em mercados livres de energia estejam regulados e acontecendo a mais tempo. Ademais, a pesquisa se estende para entendermos sobre os impactos da geração de energia fotovoltaica. Portanto a metodologia abrange aspectos técnicos de engenharia e matemática financeira, além da compreensão sobre regulamentações do setor elétrico brasileiro.

Após a revisão de literatura, o trabalho visa prospectar informações de um prosumidor pertencente ao Grupo Tarifário A, estudando dados de consumo em sua fatura de energia, a qual contrato de tarifação está sujeito, além do quanto esse prosumidor gera de energia em seu sistema fotovoltaico ou o quanto teria potencial de gerar. Portanto, faremos um estudo de caso para avaliarmos qual seria o impacto da migração desse prosumidor para o ACL. Utilizaremos dados de pesquisa de mercado de empresas que vendem energia, compararemos os custos de energia em R\$/kWh e tarifas no ACL e ACR.

O custo de energia no ACR está atrelado aos encargos, tributos, tarifa de energia e consumo. Conhecendo Esses parâmetros, podemos Comparar com o custo no ACL, onde o preço é negociado de forma personalizado, dependendo de fatores como tempo de contrato, volume e perfil de consumo.

Também utilizaremos indicadores financeiros como, *payback* descontado e Valor Presente Líquido (VPL).

Baseado nos indicadores financeiros, poderemos estabelecer parâmetros comparativos entre as formas de contratação de energia e, assim, evidenciar se é favorável ou não a migração para o mercado livre de energia elétrica.

Por fim, fundamentado nos resultados obtidos, o trabalho irá propôr maneiras de fomentar a expansão de geração sustentável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com a delimitação do trabalho, apresentamos a revisão do trabalho dividida em duas partes: fundamentação teórica e revisão do estado da arte.

Na fundamentação teórica, de acordo com o objetivo proposto, os conhecimentos necessários para o desenvolvimento do trabalho envolvem o arcabouço legal, regras de comercialização de energia, regras de compensação de energia, curvas de geração fotovoltaica e consumo de energia e estudo de viabilidade econômica.

Estes tópicos estabelecem de maneira mais aprofundada as informações que serão fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, considerando os aspectos legais e técnicos para o ambiente de comercialização de energia no setor elétrico brasileiro, assim como a base de matemática financeira para a análise de viabilidade econômica.

O estado da arte apresenta trabalhos e artigos acadêmicos que trazem uma experiência semelhante e/ou relevante, sobretudo para o desenvolvimento de uma análise de viabilidade econômica.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 Arcabouço legal

Através de pesquisas no site da CCEE, encontramos as principais leis e regulamentações do setor elétrico brasileiro. Após isso, foi pesquisado no site da câmara legislativa pelo texto integral das leis consideradas mais importantes para o escopo desse trabalho. A Tabela 1, a seguir, resume as medidas regulamentares abordadas por esta seção:

Tabela 1. RESUMO DO ARCABOUÇO LEGAL PESQUISADO.

Ato Legislativo	Tema	Referência
----------------------------	-------------	-------------------

Lei N° 9.074/1995	- Definições de um produtor independente de energia; - Abertura de comercialização entre produtores e consumidores.	https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1995/lei-9074-7-julho-1995-347472-norma-pl.html
Lei N° 10.848/2004	- Lei de comercialização de energia elétrica; - Estabelece as regras de comercialização de energia elétrica de todos os agentes pertencentes ao SIN; - Estabelece que os agentes de distribuição devem atender a totalidade de seu mercado e oferecer garantias; - Cria a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.	https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2004/lei-10848-15-marco-2004-531234-norma-pl.html
Portaria N° 50/2022	- Permissão para todos os consumidores do grupo tarifário a comprarem energia no MLE; - Estabelece o prazo para as medidas entrarem em vigor.	https://in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-50/gm/mme-de-27-de-setembro-de-2022-432279937
Lei N° 14.300/2022	- Marco legal da microgeração e minigeração distribuída; - Define o que são minigeração e microgeração; - Define quais são as responsabilidades financeiras dos agentes envolvidos; - Define unidades prossumidoras que poderão aderir ao SCEE; - Estabelece nova tarifa conhecida como tarifa de Fio B.	https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14300-6-janeiro-2022-792217-norma-pl.html

FONTE: O autor, (2024)

2.1.1.1 Lei N° 9.074 de 1995

A partir da Lei Nº 9.074 (Brasil, 1995) de 1995 tivemos uma importante mudança na forma de comercialização de energia. Pois, ela trouxe as definições de um produtor independente de energia e a abertura de comercialização entre esses produtores diretamente com o consumidor, ainda que abrangesse uma parte restrita de consumidores do grupo tarifário A.

2.1.1.2 Lei Nº 10.848 de 2004

A Lei Nº 10.848/2004 (Brasil, 2004) discorre sobre várias atualizações de leis mais antigas sobre comercialização de energia com a finalidade de atender as demandas do mercado. Para isso, a lei dispõe sobre a comercialização de energia elétrica de todos os agentes pertencentes ao Sistema Interligado Nacional (SIN), estabelece que os agentes responsáveis pela distribuição de energia elétrica devem atender a totalidade de seu mercado e cria a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, uma sociedade civil de direito privado, sem fins lucrativos e composta por agentes só setor elétrico. A CCEE visa atender a comercialização de energia elétrica na forma que estabelece a lei e é regulada e fiscalizada pela ANEEL.

2.1.1.3 Portaria Nº 50 de 2022

Após a consulta pública 131/2022, em que 60 agentes do mercado livre representaram todos os segmentos do mercado brasileiro, tivemos como resultado a Portaria Nº 50/2022 (Brasil, 2022a). A Portaria traz dois artigos, sendo o primeiro com dois parágrafos dispondo sobre a permissão para todos os consumidores do grupo tarifário A comprarem energia elétrica de qualquer supridor e sua representação através de agentes varejistas perante a CCEE, respectivamente. Por fim, o segundo artigo se refere a data que a Portaria entrou em vigor, sendo em primeiro de novembro de 2022. A abertura de mercado apresenta uma ampliação da competitividade no setor elétrico, pois proporciona aos consumidores maior poder de escolha entre os diversos fornecedores. Dessa forma, teremos uma maior concorrência de mercado podendo resultar em preços mais atrativos, o que

contribuiria para o aumento do setor elétrico e beneficiando a economia brasileira como um todo.

2.1.1.4 Lei Nº 14.300 de 2022

Temos como um texto importante a Lei Nº 14.300/2022 (Brasil, 2022) (Brasil, 2022), conhecida como o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, que também institui o Sistema de Compensação de Energia (SCEE). Sendo uma lei extensa, ela traz algumas definições sobre tipos de minigeração e microgeração, responsabilidades financeiras dos agentes envolvidos, as unidades prosumidoras que poderão aderir ao SCEE. Neste ponto, é importante ressaltar que a lei impede unidades participantes do mercado livre de energia de aderirem ao SCEE. Além disso, também estabelece nova tarifação sobre unidades prosumidoras pela energia excedente injetada na rede de distribuição e como será o período de transição até o estabelecimento de novas regras pela ANEEL a partir de 2029.

2.1.2 Regras de comercialização

A Resolução Normativa Nº 957/2021 da ANEEL (ANEEL, 2021) institui a convenção de comercialização de energia elétrica no Brasil no ACL e ACR. Ela estabelece que no ACR:

- Há dois agentes principais: agentes geradores de energia elétrica e agentes de distribuição, como as concessionárias de distribuição;
- A compra e venda de energia elétrica são realizadas pela ANEEL ou CCEE;
- As concessionárias distribuidoras têm obrigação de fornecer energia às unidades consumidoras;
- Os leilões estabelecem as condições e preços a serem formalizados em contrato;
- O ACR é regulado e fiscalizado pela ANEEL, junto a CCEE;
- Os agentes vendedores devem comprovar que tem capacidade de gerar a energia contratada para entrega;
- As tarifas são reguladas pela ANEEL e refletem os custos de geração e distribuição de energia, além de custos operacionais;

- Os preços de energia podem ser ajustados periodicamente conforme condições de mercado e a necessidade de equilíbrio entre a oferta e demanda.

Para o ACL ficaram estabelecidas as seguintes regras:

- Participam do ACL: agentes geradores, comercializadores, consumidores livres e especiais.
- A negociação é feita diretamente entre os agentes comercializadores e consumidores, sem necessidade de leilão como no ACR;
- Os consumidores têm liberdade de escolher o fornecimento de energia, podendo negociar preços, quantidade de energia e prazos contratuais de maneira flexível;
- Os contratos são bilaterais, acordados entre comprador e vendedor de energia;
- A CCEE exige comprovação de lastro energético por parte dos vendedores e para a capacidade de pagamento dos compradores;
- A CCEE realiza a contabilização e liquidação financeira das transações no ACL.

Desde o início de 2024 as unidades consumidoras pertencentes ao Grupo A podem fazer parte do mercado livre de energia (MLE). Para aderir ao MLE é necessário que o consumidor se encaixe em uma das seguintes características:

- Unidade consumidora com demanda contratada mínima de 500 kW;
- Empresa com duas ou mais unidades consumidoras com mesmo CNPJ raíz cuja somatória das demandas contratadas seja no mínimo de 500 kW;
- Empresas com CNPJ's distintos, situadas em áreas contíguas e cuja somatória das demandas contratadas seja no mínimo de 500 kW.

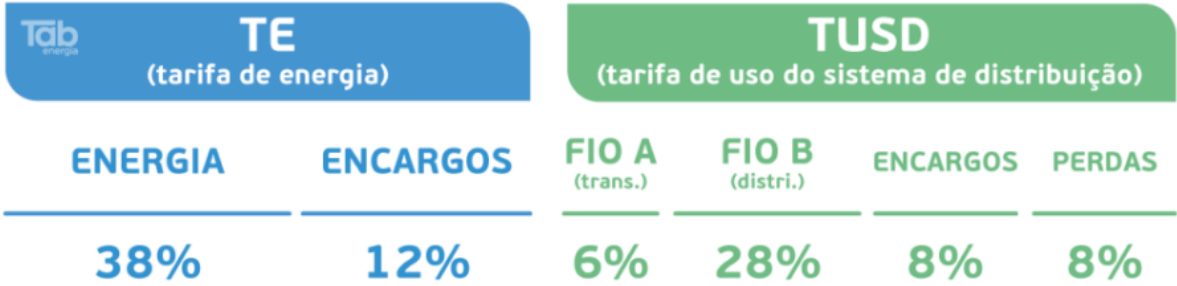
Além de atender as seguintes condições:

- As unidades consumidoras que possuem demanda abaixo de 500 kW devem ser representadas por uma comercializadora varejista. É possível encontrar um agente varejista pelo próprio site da CCEE (CCEE, (2024));

- Para migrar para o mercado livre de energia o consumidor deve informar que não tem interesse em renovar o Contrato de Energia Regulada (CER) com a concessionária distribuidora local de energia, pelo menos 180 dias antes do término do contrato ou pode rescindir o contrato através do pagamento de multa;
- O consumidor poderá optar pelo modelo varejista, onde ela terá poderes representativos junto à CCEE;
- O consumidor deverá possuir registro na ANEEL como uma agente do MLE;
- Deverá ser feito um acordo com a distribuidora ou transmissora local para que seja possível a utilização dos equipamentos que constituem a rede de distribuição;
- A CCEE exige adequação no Sistema de Medição e Faturamento (SMF) da unidade consumidora, além de um sistema de comunicação entre ambas.
- O SMF deve ser aprovado pela ANEEL;
- As adequações do SMF devem ser feitas pela distribuidora local.

Outro aspecto importante sobre a comercialização de energia, diz respeito a tarifação. A ANEEL preza pelo equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias de forma que o consumidor também desembolse um valor justo (ANEEL). A tarifa é composta por três custos diferentes: a energia gerada (TE), custos de transporte de transmissão e distribuição (TUSD) e os custos de encargos setoriais. Entre os custos de encargos encontramos as parcelas devido a impostos estaduais, como ICMS, e impostos federais, como PIS/PASEP e COFINS. Dentro dos custos da fase de distribuição, ainda há a classificação de duas parcelas: Parcela A, englobando os custos de compra de energia, transmissão e encargos setoriais; e a Parcela B que representa o custo de distribuição de energia. A Figura 2, a seguir, ilustra os custos relacionados a compra de energia:

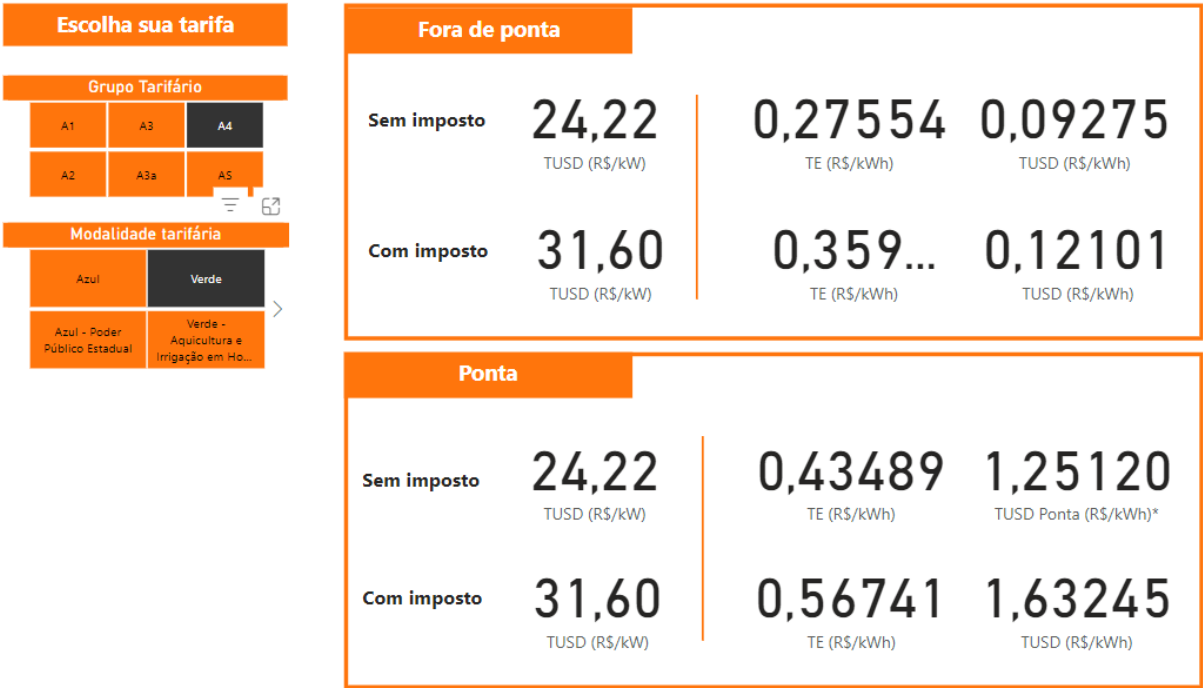
Figura 2. COMPOSIÇÃO MÉDIA DA TARIFA DE ENERGIA



FONTE: Blog tabenergia, (2024).

Os grupos tarifários têm diferentes modalidades de tarifação, segundo as opções de contratação que se encontram na Resolução Normativa Nº 1000/2021 (ANEEL, 2021). Para o grupo tarifário A, há duas modalidades de tarifação: horária azul, disponível para todo o grupo A; e horária verde, disponível para os subgrupos A3, A4 e AS. A Figura 3, a seguir, nos mostra a composição tarifária do subgrupo A4, modalidade azul com os respectivos valores cobrados nos postos tarifários cobrados pela concessionária distribuidora COPEL:

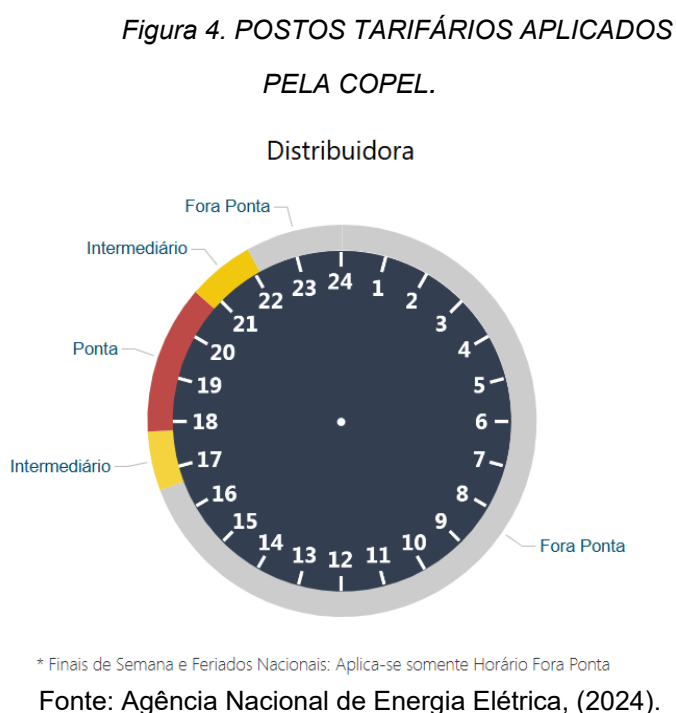
Figura 3. TARIFAS DO SUBGRUPO A4 AZUL DA COPEL.



Fonte: Copel, (2024)

Segundo a ANEEL (ANEEL, 2022), a modalidade horária azul refere-se as tarifas diferenciadas de consumo e demanda em horários de ponta e fora de ponta. A modalidade horária verde difere-se por ter uma tarifa única para demanda, com uma tarifa diferenciada apenas para o consumo. Os horários de ponta e fora de ponta, também chamados de postos tarifários, são estabelecidos pela área de concessão ou permissão, com seu valor sendo estabelecido pela ANEEL nas revisões tarifárias periódicas de cada distribuidora. O horário de ponta é definido como um período de 3 horas consecutivas do dia, com um posto tarifário intermediário no período de uma hora anterior e uma hora subsequente ao horário de ponta. Assim, todo o período restante refere-se ao horário fora de ponta.

A Figura 4, a seguir, ilustra os postos tarifários estabelecidos pela concessionária Copel-DIS:



2.1.3 Regras do sistema de compensação de energia

Na Lei Nº 14.300/2022 (Brasil, 2022) encontramos as regras para que uma unidade consumidora-geradora, no presente trabalho denominada prosumidora,

participe do SCEE, e assim garanta os benefícios garantidos a MMGD. Algumas das regras são:

- Podem aderir ao SCEE, pessoa física ou jurídica;
- Unidades de MMGD com geração local, remota, com múltiplas unidades consumidoras e com geração compartilhada;
- Consumidores integrantes do ACL não podem participar do SCEE;
- A concessionária distribuidora local deve apurar o montante de energia consumida e excedente injetada na rede;
- Os créditos expiram no período de 60 meses após seu faturamento;
- Os consumidores devem utilizar os créditos mais antigos para abater o consumo de energia;
- As unidades consumidoras terão um custo de uso da rede de distribuição para consumir ou injetar energia;
- As bandeiras tarifárias não incidem sobre a energia excedente.

O Marco Legal de Microgeração e Minigeração Distribuída (Brasil, 2022) também estabelece um período de transição na taxaço pelo uso do sistema de distribuição (Fio B), porém essa tarifa só incidirá naqueles prossumidores que instalaram um sistema de MMGD a partir de 7 de janeiro de 2023. O Fio B tem um valor absoluto calculado pela concessionária de distribuição. As unidades consumidoras que já tinham solicitado acesso à rede de distribuição ou instalado um sistema de MMDG antes de 07/01/2023, não participam do período de transição e só virão a fazer parte das novas regras da ANEEL a partir de 2045.

O período de transição terminará em 31/12/2028, para aqueles que solicitaram acesso à rede de distribuição ou instalaram um sistema de MMGD entre 07/01/2023 e 06/06/2023. Para quem solicitou acesso à rede de distribuição ou instalou um sistema de MMGD após 06/06/2023 o período de transição durará até 31/12/2030. O percentual de taxaço de Fio B terá um escalonamento, como ilustrado na Figura 5, a seguir:

*Figura 5. ESCALONAMENTO DE COBRANÇA SOBRE O
USO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.*

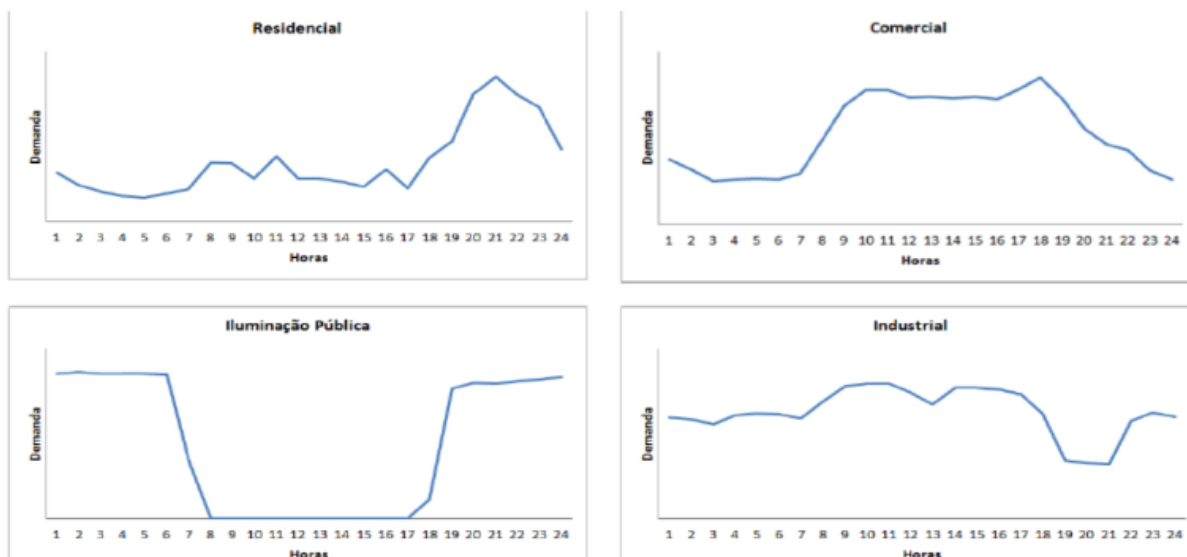
- I – 15% (quinze por cento) a partir de 2023;*
- II – 30% (trinta por cento) a partir de 2024;*
- III – 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;*
- IV – 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;*
- V – 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;*
- VI – 90% (noventa por cento) a partir de 2028;*

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, (2024)

2.1.4 Curvas de carga de consumo e geração fotovoltaica

As curvas de carga demonstram graficamente o comportamento assumido pela energia consumida ou gerada por uma unidade consumidora e/ou geradora ao longo do dia (Pessanha et al, 2004; Guardia et. al 2010). Como encontramos diversos tipos de unidades consumidoras, o comportamento característico entre elas também será diferente. O comportamento típico da potência demandada em unidades consumidoras residenciais, comerciais, industriais e de iluminação pública são demonstrados na figura 6.

Figura 6. PERFIS TÍPICOS DE CURVAS DE CARGA DE DIFERENTES CLASSE DE CONSUMO



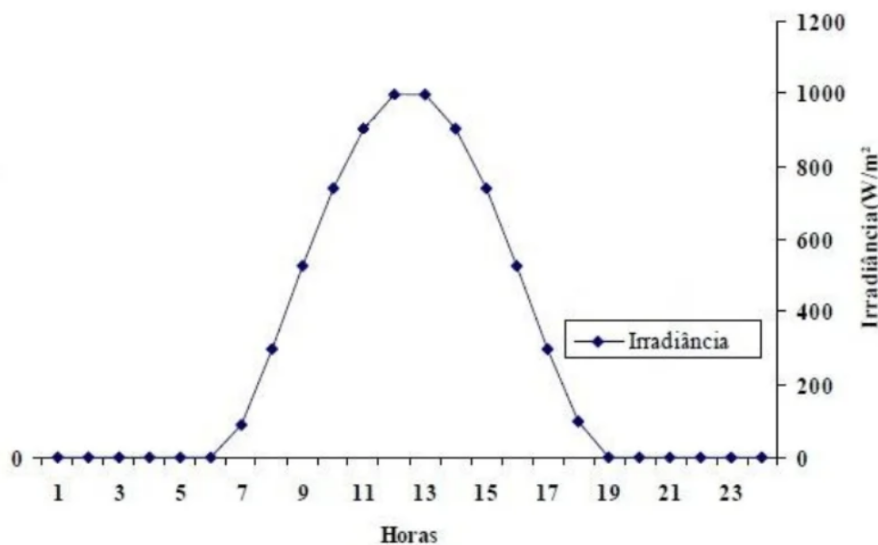
Fonte: Pessanha et. al, (2004).

Como podemos ver, o consumo residencial é caracterizado como sendo quase constante durante o dia, aumentando no fim da tarde e tendo seu pico durante a noite. O consumo comercial se caracteriza por um consumo mais alto e quase constante durante todo o dia. A iluminação pública é praticamente constante durante toda a noite e zerada durante o dia. As unidades consumidoras industriais, no geral, tem como característica uma constância de consumo durante as vinte e quatro horas do dia, com uma leve diminuição por volta de vinte horas.

Entretanto, como existem inúmeros segmentos indústrias diferentes, também encontraremos diferentes curvas de consumo diário que se adequarão para cada tipo desses segmentos.

A curva de carga característica de um sistema de geração fotovoltaico começa a subir durante as primeiras horas da manhã, tem seu ápice no início da tarde e decai até zerar no final da tarde. Este é um comportamento esperado para um sistema que gera energia a partir da conversão da irradiância de luz solar. O comportamento da curva de carga de geração fotovoltaica é demonstrada na figura 7, a seguir:

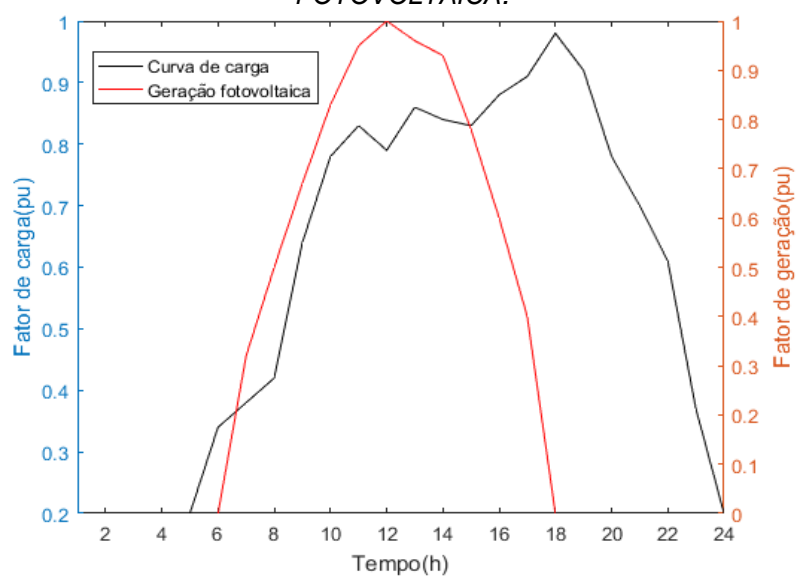
Figura 7. CURVA CARACTERÍSTICA DE IRRADIÂNCIA SOBRE PAINEL UM FOTOVOLTAICO.



Fonte: Robson Josué Molgato, (2014).

Como comparação, a Figura 8 mostra as curvas de carga de consumo e geração fotovoltaica em uma mesma unidade consumidora durante o período de vinte e quatro horas.

Figura 8. CURVA DE CARGA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.



Fonte: Matheus Magno de Araújo Garcia, 2022

2.1.5 Fundamentação teórica de viabilidade econômica

A viabilidade econômica é utilizada para conhecer se um investimento dará ao investidor o retorno esperado. Para isso, utiliza-se algumas ferramentas de matemática financeira, como *payback* descontado, fluxo de caixa, valor presente líquido, entre outros.

Para o processo de estudo desse trabalho trataremos os dados utilizando, a princípio, fluxo de caixa e *payback* descontado e VPL.

2.1.5.1 Fluxo de caixa

Segundo o portal SEBRAE (SEBRAE, (2024)), o fluxo de caixa é uma ferramenta de gestão financeira utilizada para o controle de capital de giro de uma empresa ou investidor. Esse capital de giro refere-se aos valores que saem e entram no caixa da empresa ou investidor, assim, podendo direcionar os futuros investimentos.

No âmbito desse trabalho, o fluxo de caixa poderá ser utilizado ao calcular quanto a unidade consumidora dispense ao consumir energia nos diferentes ambientes de contratação e, portanto, comparar qual deles seria mais viável.

2.1.5.2 *Payback* descontado

O *payback* descontado é um artifício de gestão financeira que nos mostra o período de tempo de retorno de um investimento ao utilizar uma taxa de desconto junto ao fluxo de caixa. Geralmente, essa taxa é a taxa mínima de retorno (TMA).

No contexto desse estudo, o *payback* descontado será importante ao assumir os valores que sairão do caixa pelo consumo mensal, trazendo esse valor para o presente através do VPL.

(Equação 1)

$$\text{Payback Descontado} = \frac{\text{Capital Inicial Investido}}{\text{Valor Presente Líquido}}$$

2.1.5.3 Valor presente líquido

O Valor Presente Líquido é um indicador econômico capaz de reverter valores diluídos ao longo do tempo para um valor atual, corrigindo as taxas de inflação.

2.2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

As palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram aquelas que estão na base do trabalho: estudo de viabilidade econômica, prosumidor e mercado livre de energia. Para isso, utilizamos a ferramenta *Publish or Perish* e o site de periódicos do CAPES.

O trabalho de Souza, Gabriela Romana e Penha, Roberto (2020) sobre a viabilidade econômica de um projeto de investimento de energia fotovoltaica, conduz um estudo analisando a possibilidade de uma empresa em Caicó (RN), instalar um sistema fotovoltaico e o impacto econômico que acarretaria. Para isso, analisaram o consumo médio de energia da empresa através de sua fatura mensal num período de 12 meses. Em seguida, fizeram o levantamento dos dados de irradiação solar na cidade de Caicó e calcularam sua média mensal no período dos 12 meses. Dessa maneira, puderam estimar qual seria a energia produzida pelo sistema fotovoltaico. Além disso, com base no consumo médio puderam calcular qual seria o orçamento necessário para o projeto de geração fotovoltaica. Na sequência, o trabalho mostra a análise econômica do projeto, utilizando métodos de cálculos do Payback, fluxos de caixa simples e descontado, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno. O trabalho conclui que o investimento se mostra atrativo, pois o tempo de retorno do investimento acontece a partir do quinto ano, enquanto o tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos são de 25 anos. Ainda que nesse trabalho a empresa não faça parte do Grupo Tarifário A e nem esteja no ACR, ele traz de forma bem estruturada a metodologia de levantamento de irradiação solar, além dos cálculos de matemática financeira, essenciais para o estudo de viabilidade econômica.

Através do artigo de Walvis, Alida e Gonçalves, Edson Daniel Lopes (2014), sobre uma avaliação das reformas recentes no setor elétrico brasileiro e sua relação com o desenvolvimento do mercado livre, temos um panorama sobre o

desenvolvimento dos ambientes de negociação de energia elétrica no Brasil. O trabalho tem o intuito de apresentar as bases de uma reforma para o setor elétrico brasileiro. Para isso, os autores apontam os principais aspectos para o fomento do mercado de energia mais competitivo, analisam reformas anteriores e apresentam as formas de negociação de energia no ACL e ACR. Além disso, para propor uma reforma no setor elétrico, o trabalho discorre sobre as restrições e possibilidades de expansão do ACL ao citar as dificuldades de acesso a financiamentos para esses empreendimentos e prospecção de crescimento devido aos dados do setor até aquele momento. O artigo propõe que o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) – indicador para estabelecer o preço de energia elétrica comercializada no mercado de curto prazo – poderia ser calculado diariamente; a padronização de contratos futuros e de balcão; a separação entre os mercados de atacado e varejo e a ampliação de disponibilidade de unidades consumidoras em participarem do ACL, entre outros pontos. Assim o trabalho conclui que os incentivos ao fomento do ACL são insuficientes no país e aponta que a formação de preços não é transparente. Embora esteja limitado ao seu tempo, o trabalho cita aspectos que foram contemplados recentemente, como o marco legal de minigeração e microgeração distribuída de energia e o SCEE, além da possibilidade de entrada de todo o Grupo Tarifário A ao ACL.

Outro estudo que podemos citar é o de Lima, José Fárlei Oliveira e Impinnisi, Patrício Rodolfo (2024), sobre a viabilidade técnico-econômica para instalação de sistemas fotovoltaicos e armazenamento de energia em uma indústria brasileira. O artigo apresenta os parâmetros de contrato de energia da empresa que está alocada no Grupo Tarifário A e sob o regime de cobrança do grupo azul, porém o estudo trabalhou também com o cenário de cobrança do grupo verde e avaliou as diferenças entre os dois modelos tarifários. Com base em simulações através do software Homer, após terem definido quais baterias e painéis fotovoltaicos seriam utilizados na área disponível para instalação, obtiveram os parâmetros para melhor definição do sistema. Segundo o estudo o melhor maneira de obter um parâmetro comparativo e definir a melhor configuração para o sistema, é o custo por unidade de energia consumida (R\$/kWh). A simulação considerou três cenários de contratação de energia, sendo um no mercado livre de energia com contrato A4 azul

e os outros dois com a concessionária Copel, um no contrato A4 verde e o outro A4 Azul. Como resultado, obtiveram que o sistema com menor custo em kWh acontece no mercado livre, e com uma instalação de geração fotovoltaica de 3.200 kW. O trabalho conclui que o acréscimo do custo de compra e manutenção de baterias não é economicamente viável. Além disso, enfatiza que o tempo de retorno do sistema fotovoltaico seria de aproximadamente 8 anos, tornando assim um potencial limitador na escolha pela instalação desse sistema.

No trabalho de Rocha, Alexandro Vladno, Camboim, Gabriel Chaves e Rocha, Fabricia A. Figueiredo (2024) os autores analisaram os impactos que a Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022) trouxe para projetos de micro e minigeração distribuída. O estudo trouxe um comparativo do cenário anterior a Lei entrar em vigor, para conferir se o investimento nessa tecnologia ainda seria benéfico. O trabalho teve como objeto de estudo uma unidade comercial e uma unidade residencial em Canguaretama, Rio Grande do Norte. O artigo apresenta as diversas tarifas e encargos que compõem a tarifação de energia elétrica no Brasil, dando início a abordagem sobre a tarifação de Fio B, uma das principais mudanças trazidas pela Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022). Durante a revisão bibliográfica, o trabalho também analisa a compensação de energia de elétrica, além de apresentar os conceitos de payback, Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno (TIR). Os autores dimensionaram o sistema fotovoltaico a ser instalado com base no consumo das unidades consumidoras. Em seguida, estabeleceram algumas premissas para dar seguimento ao estudo e utilizaram dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para calcular a geração média esperada. Através dos dados de fator de simultaneidade retirados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), pode-se estimar a energia autoconsumida referentes a cada mês. No passo seguinte, calculou-se a energia injetada e consumida da rede e por fim, assim podendo calcular a taxação segundo a Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022). Os autores calcularam a viabilidade econômica de ambos os projetos, e para a unidade consumidora residencial o resultado obtido foi favorável a implantação do sistema fotovoltaico, ainda que o tempo de retorno tenha aumentado em 6 meses com a Lei 14.300/2022 (Brasil, 2022). Para a unidade consumidora comercial o tempo de retorno subiu 7 meses, porém ainda é favorável a implantação do sistema fotovoltaico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com a base de fundamentação teórica aprofundada na seção anterior, é possível dar prosseguimento ao estudo, mostrando de forma clara as etapas de análise do estudo.

3.1 PROSPECÇÃO DE DADOS

Primeiramente, será feito uma prospecção dos dados de consumo e de geração de energia fotovoltaica de uma indústria que se encaixe no grupo tarifário A. Essa prospecção de dados será realizada através do contato com alguma unidade prosumidora que se encaixe na delimitação do trabalho ou com os dados abertos de curva de cargas encontradas no *site* da ANEEL (ANEEL, 2024), e os dados de geração fotovoltaica em bancos de dados de irradiação solar.

3.2 CÁLCULO DA TARIFA NO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADO

Com os dados adquiridos podem ser realizados os cálculos de consumo das diferentes modalidades de tarifação, modalidade azul e modalidade verde. A tarifa de energia é composta por parcelas decido a TUSD, TE e impostos, conforme a equação a seguir:

- Valor da fatura de energia:

$$V_{fatura} = VTUSD + VTE + Vimpostos \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

V_{fatura} = Valor da fatura final de energia, em R\$.

$VTUSD$ = Valor da tarifa de uso de distribuição, em R\$.

VTE = Valor da tarifa de energia, em R\$.

$Vimpostos$ = Valor de impostos, em R\$.

O valor da Tarifa de Uso de Distribuição será diferente nas modalidades azul e verde. Para a obtenção desses valores será utilizado as fórmulas a seguir:

- Estrutura tarifária azul:

$$TUSD_{azul} = (C_{fp} \times T_{cfp}) + (C_p \times T_{cp}) + (D_{fp} \times T_{dfp}) + (D_p \times T_{dp}) \quad (\text{Equação 3})$$

- Estrutura tarifária verde:

$$TUSD_{verde} = (C_{fp} \times T_{cfp}) + (C_p \times T_{cp}) + (D_p \times T_{dp}) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$TUSD_{azul}$ = total da TUSD na modalidade azul, sem tributos, em R\$;

$TUSD_{verde}$ = total da TUSD na modalidade verde, sem tributos, em R\$;

D_p = demanda contratada para o horário de ponta, em kWh;

D_{fp} = demanda contratada para o horário fora de ponta, em kWh;

C_p = consumo para o horário de ponta, em kWh;

C_{fp} = consumo para o horário fora de ponta, em kWh;

T_{dp} = tarifa de demanda contratada para o horário de ponta, em R\$/kWh;

T_{dfp} = tarifa de demanda contratada para o horário fora de ponta, em R\$/kWh;

T_{cp} = tarifa de encargo para o horário de ponta, em R\$/kWh;

T_{cfp} = tarifa de encargo para o horário fora de ponta, em R\$/kWh.

A Tarifa de Energia independe da modalidade tarifária e pode ser realizada através da equação:

- Tarifa de Energia:

$$TE = (C_p \times T_{cp}) + (C_{fp} \times T_{cfp}) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

TE = total da tarifa de energia, sem tributos, em R\$.

A última etapa para se obter o valor total da fatura de energia, deve ser calculado o valor dos impostos referentes ao ICMS e PIS/COFINS, através das equações:

- Valor de ICMS:

$$Vicms = \frac{Vbase \times ICMS}{(1 - PIS - COFINS - ICMS)} \quad (\text{Equação 6})$$

- Valor de PIS/COFINS:

$$Vpiscofins = \frac{Vbase \times (PISCOFINS)}{(1 - PIS - COFINS - ICMS)} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

Vicms = valor do tributo referente ao ICMS, em R\$;

Vbase = base de cálculo do valor da parcela a qual se obterá o valor da incidência do imposto calculado do imposto calculado em questão, em R\$;

ICMS = alíquota relativa ao Estado do consumidor, em %;

PIS = alíquota relativa ao mês de referência, divulgada pela distribuidora local, em %;

COFINS= alíquota relativa ao mês de referência, divulgada pela distribuidora local, em %

- Valores de impostos:

$$V_{\text{impostos}} = V_{\text{icms}} + V_{\text{piscofins}}$$

(Equação 8)

Os valores das alíquotas de impostos, tarifas sobre consumo e demanda nos postos tarifários nas modalidades verde e azul podem ser encontradas nos sites das concessionárias de distribuição. Dessa forma, pode ser calculado o valor da fatura de energia e, assim, definir qual modalidade é mais vantajosa economicamente.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Na sequência será calculado quanto seria o investimento para a produção de energia através de um sistema fotovoltaico. O investimento na geração de um sistema fotovoltaico contará com equipamentos como, módulos fotovoltaicos, inversores, suportes de fixação, cabeamento e seus dispositivos de proteção, além do serviço de instalação. Com inversores e módulos representando aproximadamente 60% do total de custos (Dal Molin, Gustavo, 2018).

Para se chegar aos valores do investimento, será preciso projetar a quantidade módulos e inversores instalados. A quantidade de módulos fotovoltaicos será calculada da seguinte maneira:

- Será escolhido o modelo de módulo fotovoltaico com capacidade de potência nominal acima de 500 Wp;
- Será imposto que uma porcentagem da energia mensal será suprida pela geração fotovoltaica;
- Serão aquiridos os dados de irradiância solar de hora em hora no período de uma semana na região de Curitiba através do portal Tutiempo;
- Será calculado a energia produzida por um módulo fotovoltaico a partir dos dados de irradiância solar utilizando-se a (Equação 9);
- O número de módulos fotovoltaicos será calculado com a relação entre a energia necessária por um mês com a energia calculada para o mesmo período.

$$Ep = Es \times Am \times \eta m \text{ [Wh]} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

Ep = Energia produzida pelo módulo [Wh];

Am = Área do módulo [m^2]

Es = Irradiância solar [Wh/ m^2 /h];

ηm = Eficiência do módulo [%].

Para se calcular o número de inversores são considerados os seguintes dados no *datasheet* do módulo fotovoltaico: potência nominal (P_{max}), tensão de circuito aberto (V_{oc}), condições de teste padrão (STC) e o coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto (T_{cVoc}). Além disso, considera-se também os seguintes dados no *datasheet* do inversor: potência máxima de entrada (P_{inmax}), tensão máxima de entrada (V_{inmax}), número de MPPTs (rastreador de ponto de máxima potência) e número de *strings* por MPPT. As *strings* são as linhas de entrada dos inversores com os módulos fotovoltaicos conectados em série (Portal Neosolar, 2025).

Conforme a (Equação 10), será calculado a tensão de circuito aberto máxima (V_{ocmax}) em função da temperatura mínima ($temp$) registrada no último ano no local de instalação. Posteriormente será calculado o número máximo de módulos por string, conforme a (Equação 11).

$$V_{ocmax} = V_{oc} + V_{oc} \times [(temp - STC) \times (\frac{T_{cVoc}}{100})] \quad (\text{Equação 10})$$

$$ModString = \frac{V_{inmax}}{V_{ocmax}} \quad (\text{Equação 11})$$

Na sequência será calculado o número máximo de módulos ($ModTotal$) suportados por inversor, conforme a Equação 12. O número máximo de módulos por inversor será dividido pelo número de strings em cada MPPT disponível e com o

número de módulos por string não podendo ser maior que o valor dado na equação (11).

$$ModTotal = \frac{Pinmax}{Pmax} \quad (\text{Equação 12})$$

3.4 CÁLCULO DO VALOR MÁXIMO DA ENERGIA NO MERCADO LIVRE PARA VIABILIZAR A MIGRAÇÃO

Na etapa seguinte será recalculada a fatura de energia sendo considerada a diferença causada pela produção de energia do sistema fotovoltaico instalado. Item necessário para futura comparação com o MLE.

Posteriormente será calculada o valor máximo da TE no mercado livre que começa a ser equivalente ao custo no mercado cativo, sendo financeiramente viável a migração, através do cálculo de *breakeven*. Nessa etapa, será calculado o valor da TUSD referente ao ML, onde deve-se considerar o tipo de fonte contratada, conforme a Resolução Normativa nº 77/2004 (ANEEL, 2004). Essa resolução trata sobre descontos ao consumidor pela compra de energia provenientes de fontes renováveis, podendo ser de 50%, 80% ou 100% aplicados sobre a TUSD incidentes na demanda e no consumo de energia. Os valores de energia incentivada da parcela da TUSD nas modalidades azul e verde, serão dados, respectivamente, pelas equações Equação 13 e (Equação 14):

$$TUSD_{azulacl} = (1 - desc) \times [(Dfp \times Tdfp) + (Dp \times Tdp)] + (Cfp \times Tcfp) + (Cp \times Tcp)$$

(Equação 13)

$$TUSD_{verdeacl} = (1 - desc) \times [(Dp \times Tdp) + (Tcp - Tcfp) \times (Cp \times Tcp)] + (Cfp \times Tcfp)$$

(Equação 14)

sendo,

$TUSD_{azulacl}$ = TUSD na modalidade azul no ACL, sem tributos, em R\$;

$TUSD_{verdeacl}$ = TUSD na modalidade verde no ACL, sem tributos, em R\$;

desc = desconto aplicado a TUSD para energia incentivada, em valor absoluto.

Na sequência serão calculados os valores dos impostos PIS/COFINS e ICMS, conforme as equações (Equação 6) e (Equação 7), sobre o custo do fio no ACL e os encargos pagos à CCEE, como os Encargos de Serviço do Sistema (ESS), o Encargo de Energia de Reserva (EER) e a Contribuição Associativa. Portanto, a equação (Equação 15) corresponde a parcela total de impostos no ACL:

$$V_{impostosacl} = (V_{icms}) + (V_{piscofins}) + (CCEE \times Ct) \quad (\text{Equação 15})$$

sendo,

$V_{impostosacl}$ = impostos e encargos incididos no valor da TUSD e no consumo total no ACL, em R\$;

CCEE = parcela referente aos encargos da CCEE, em R\$/MWh;

Ct = consumo total mensal, em MWh.

Dessa forma, poderá se calcular a diferença de valores entre a fatura no mercado cativo e o valor da TUSD mais os impostos e encargos referentes ao MLE, conforme a (Equação 16):

$$V_{dif} = V_{faturaacr} - V_{tusdacl} - V_{impostosacl} \quad (\text{Equação 16})$$

sendo,

V_{dif} = diferença entre a fatura de energia no mercado cativo e a parcela referente à TUSD mais os impostos no MLE, em R\$

$V_{faturaacr}$ = fatura de energia no mercado cativo, em R\$;

$V_{tusdacl}$ = TUSD no ACL, sem tributos, em R\$;

VimpostosACL impostos e encargos incididos na TUSD e no consumo total no ACL, em R\$.

Portanto, ao retirar o valor de ICMS referente à TE do cativo e dividir pelo consumo total no mês, chega-se ao valor do ponto de equilíbrio econômico entre os ambientes de contratação, conforme a (Equação 17).

$$V_{breakeven} = \frac{V_{dif} \times (1 - ICMS)}{C_t} \quad (\text{Equação 17})$$

onde,

$V_{breakeven}$ = ponto de equilíbrio econômico entre os preços de energia no ACL e ACR, em R\$/MWh.

3.5 CÁLCULO DOS INDICADORES FINANCEIROS

Na etapa seguinte, com as informações dos valores da fatura em ambas modalidades tarifárias no ACL e o valor de energia no MLE, pode ser realizado o comparativo financeiro através de indicadores econômicos. O Valor Presente Líquido pode ser utilizado junto ao fluxo de caixa de um ano da unidade prosumidora para encontrar o valor dispendido nos diferentes ambientes de contratação, como mostrado a seguir:

- Valor Presente Líquido:

$$VPL = \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

FCj = fluxo de caixa líquido no tempo t;

i = taxa de desconto;

t = tempo do fluxo de caixa.

Outro indicador financeiro a ser utilizado será o *payback* descontado, para conhecer o tempo de retorno do investimento em ambos ambientes de contratação. Sendo calculado através da equação:

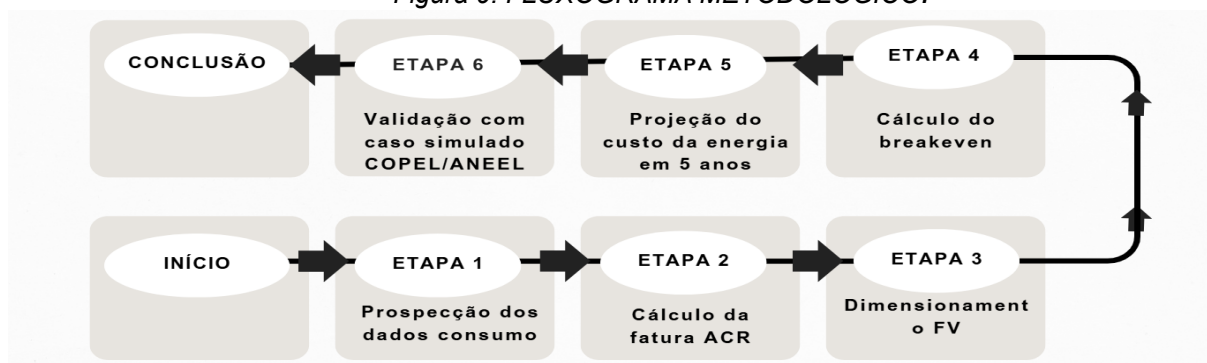
$$\text{Payback descontado} = \frac{(\text{capital inicial investido})}{VPL} \quad (\text{Equação 1})$$

Todos os cálculos mencionados podem ser realizados através do software Excel, além de ser possível a criação de gráficos que auxiliam no entendimento dos resultados obtidos.

Após o cálculo de indicadores financeiros será possível responder qual ambiente é mais favorável ao prosumidor conectado em alta tensão. Os indicadores financeiros serão analisados para dois cenários. No primeiro, será considerado o caso do consumidor com um sistema fotovoltaico instalado. E no segundo caso, será considerado que o consumidor migre para o MLE ainda sem instalar um sistema fotovoltaico.

Por fim, será proposto mudanças no setor elétrico com intuito de fomentar a expansão de geração sustentável mantendo a competitividade do mercado e melhores condições de preço para os consumidores.

Figura 9. FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.



Fonte: O autor, (2025).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Como proposta inicial do trabalho calcularemos os valores de um ciclo de faturamento, através dos dados abertos de curvas de cargas típicas disponibilizadas pela ANEEL. Essas curvas de cargas típicas são os valores demandados no período de quinze minutos medidos por concessionárias distribuidoras pelo Brasil.

Devido a grande quantidade de dados dessa tabela disponibilizada pela ANEEL, foi necessário realizar uma filtragem de informações. Foram escolhidos os dados medidos pela distribuidora Copel de um consumidor do Grupo Tarifário A4 e com um demandante típico específico. Os valores obtidos nessa tabela são mostrados a seguir:

Figura 10. VALORES DE CARGA TÍPICA DEMANDADA POR CONSUMIDOR DA COPEL DO SUBGRUPO TARIFÁRIO A4.

DatGeracaoConjuntoDad	IdeCcs	SigCcs	AnoPr	DscPr	NomS	DscDemandante	DscTip	HorFir	HorIni	VlrDm
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	0:14:00	0:00:00	127,8368
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	0:29:00	0:15:00	119,8710
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	1:14:00	1:00:00	115,6794
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	1:59:00	1:45:00	110,5507
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	2:44:00	2:30:00	101,2087
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	2:59:00	2:45:00	110,7348
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	3:29:00	3:15:00	115,2426
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	3:44:00	3:30:00	111,1117
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	4:14:00	4:00:00	111,0197
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	5:14:00	5:00:00	122,8019
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	5:44:00	5:30:00	116,8726
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	5:59:00	5:45:00	129,2552
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	6:44:00	6:30:00	147,8005
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	7:29:00	7:15:00	191,9643
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	8:14:00	8:00:00	245,5220
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	8:29:00	8:15:00	265,4386
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	8:59:00	8:45:00	275,9776
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	10:14:00	10:00:00	308,8626
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	11:44:00	11:30:00	326,4587
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	12:14:00	12:00:00	318,7931
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	13:14:00	13:00:00	310,6857
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	13:59:00	13:45:00	317,9290
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	14:59:00	14:45:00	328,0219
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	15:14:00	15:00:00	322,2564
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	15:44:00	15:30:00	324,3009
11/1/2024	2866	COPEL	2016	Simulaçãc A4	CT-041		Dia Útil	15:59:00	15:45:00	307,8025

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica, (2024).

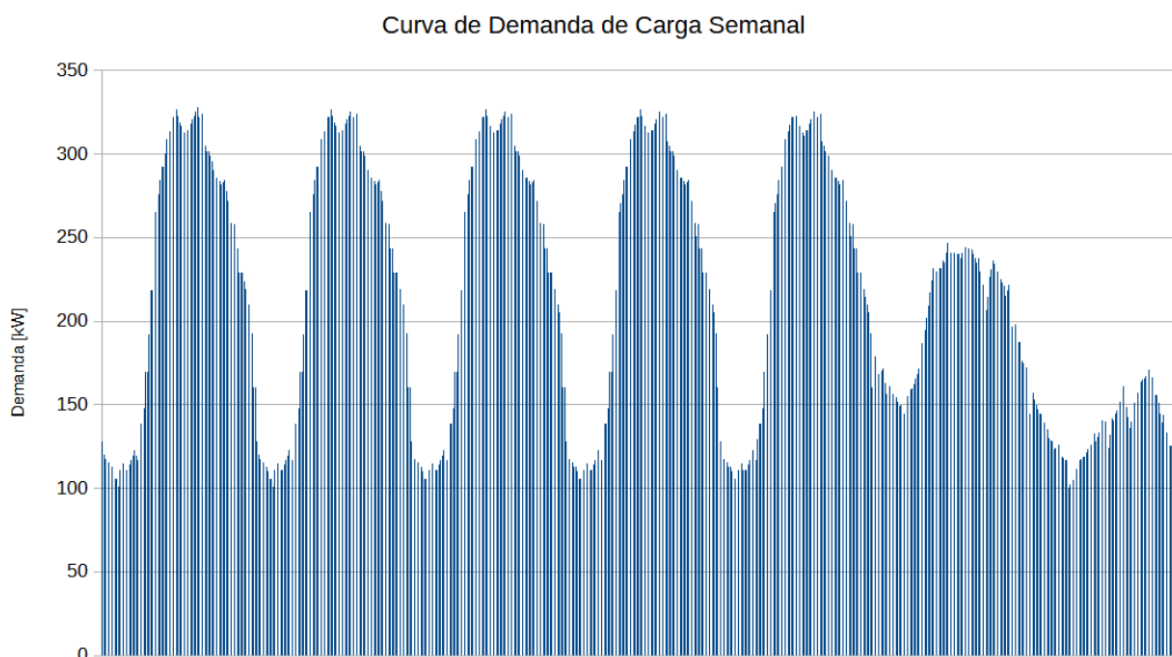
Os dados mostram as medições de um dia, um sábado e um domingo. Além disso, para se completar o ciclo de medições em 24 horas deveria se ter 96 medições, porém a tabela estava incompleta ao apresentar cerca de 45 medições nos dias listados. Para preencher as lacunas de medições, e assim se ter uma lista de dados mais completa, foi necessário realizar uma interpolação de dados feita por uma média simples entre os dados imediatamente próximos. Por exemplo, entre 03:30 e 04:00, temos os valores de demanda de 111,1117 kW e 111,0197 kW, respectivamente. Fazendo uma média entre eles, temos:

$$m\acute{e}dia = \frac{(111.111,7 + 111.019,7)}{2} = 111.065,7 \text{ W}$$

Portanto, o valor calculado como sendo o medido às 03:45 é 111,0657 kW. Dessa mesma maneira, foram estabelecidos os valores faltantes para toda tabela de dados.

Na sequência, foram feitas algumas considerações. Para se calcular um ciclo de faturamento, foi considerado que para todo dia útil os valores demandados pela carga seriam iguais aos valores do dia útil presente na tabela. As mesmas considerações foram feitas para os sábados e para os domingos. Nesse primeiro momento, não era o foco calcular uma multa devido a ultrapassagem de demanda, portanto foi considerada como demanda contratada o valor da máxima demanda na tabela. A seguir, temos o gráfico mostrando o comportamento da curva de carga demandada ao longo de uma semana:

Figura 11. CURVA DE CARGA DEMANDADA SEMANAL.



Fonte: O autor, (2024).

O próximo passo foi obter os valores de demanda e consumo para os horários de ponta e fora de ponta. Pela Figura 4, temos estabelecido o horário de ponta entre 18h e 20h59min. Com isso, os valores em tabela foram filtrados para os horários de ponta e fora de ponta. Através do *software* Excel, ao filtrar os dados podemos somá-los, encontrando assim a demanda para um mês e ao dividir essa demanda por 4, temos o valor de consumo mensal. Sendo assim, encontramos os seguintes valores de demanda e consumo para os postos horários de ponta e fora de ponta, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. CONSUMO MENSAL E MÁXIMA DEMANDA FORA DE PONTA.

Consumo fora de ponta mensal (kWh)	Máxima demanda fora de ponta (kW)
136922	328

Fonte: O autor, (2024).

Tabela 3. CONSUMO MENSAL E MÁXIMA DEMANDA DE PONTA.

Consumo de ponta mensal (kWh)	Máxima demanda de ponta (kW)
16229	286

Fonte: O autor, (2024).

4.2 CÁLCULO DAS MODALIDADES TARIFÁRIAS

Através dos valores tarifários praticados pela Copel, como visto na Figura 4, temos todos os elementos para se calcular o valor da TUSD verde. O mesmo método de busca através do site da Copel nos traz os seguintes valores tarifários de demanda e consumo para a modalidade azul:

Figura 12. VALORES TARIFÁRIOS DA MODALIDADE AZUL PARA POSTOS HORÁRIOS DO SUBGRUPO A4.

Grupo Tarifário			Fora de ponta		
A1	A3	A4	Sem imposto	24,22	0,27554 0,09275
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD (R\$/kWh)
A2	A3a	A5	Com imposto	31,60	0,359... 0,12101
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD (R\$/kWh)
Modalidade tarifária			Ponta		
Azul	Verde		Sem imposto	47,73	0,43489 0,09275
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD Ponta (R\$/kWh)*
Azul - Poder Público Estadual	Verde - Aquicultura e Irrigação em Ho...		Com imposto	62,27	0,56741 0,12101
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD (R\$/kWh)

Fonte: Copel, (2024)

Figura 13. VALORES TARIFÁRIOS DA MODALIDADE VERDE PARA POSTOS HORÁRIOS

Escolha sua tarifa			Fora de ponta		
Grupo Tarifário			Sem imposto	24,22	0,27554 0,09275
A1	A3	A4		TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD (R\$/kWh)
A2	A3a		Com imposto	31,60	0,359... 0,12101
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD (R\$/kWh)
Modalidade tarifária			Ponta		
Azul	Verde		Sem imposto	24,22	0,43489 1,25120
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD Ponta (R\$/kWh)*
Azul - Poder Público Estadual	Verde - Aquicultura e Irrigação em Ho...		Com imposto	31,60	0,56741 1,63245
				TUSD (R\$/kW)	TE (R\$/kWh) TUSD (R\$/kWh)

Fonte: Copel, (2024)

Agora temos os dados de tarifas de consumo e demanda para ambas as modalidades praticadas no subgrupo tarifário A4 e com os impostos embutidos.

Utilizando a (Equação 4), temos para o valor de TUSD verde: R\$ 34.195,77.

Utilizando a (Equação 3), temos para o valor de TUSD azul: R\$ 49.842,98.

Utilizando a (Equação 5), temos para o valor de TE: R\$ 50.639,24.

Por fim, podemos obter o valor da fatura de cada modalidade ao somarmos seu respectivo valor de TUSD com o valor de TE. Então chegamos nos resultados, como mostrado na tabela a seguir:

Tabela 4. CUSTO MENSAL DE ENERGIA EM AMBAS MODALIDADES TARIFÁRIAS.

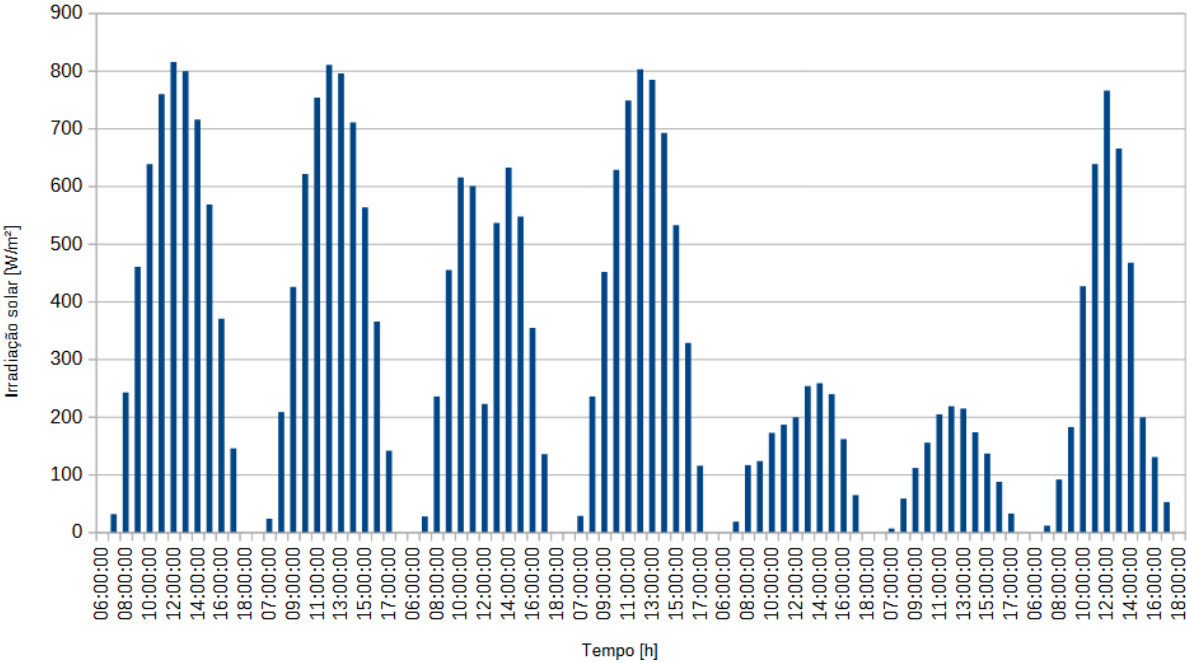
	Modalidade Azul	Modalidade Verde
TUSD (R\$)	52.222,11	58.862,47
TE (R\$)	58.363,92	58.363,92
FATURA (R\$)	110.586,02	117.226,38

Fonte: O autor, (2024).

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

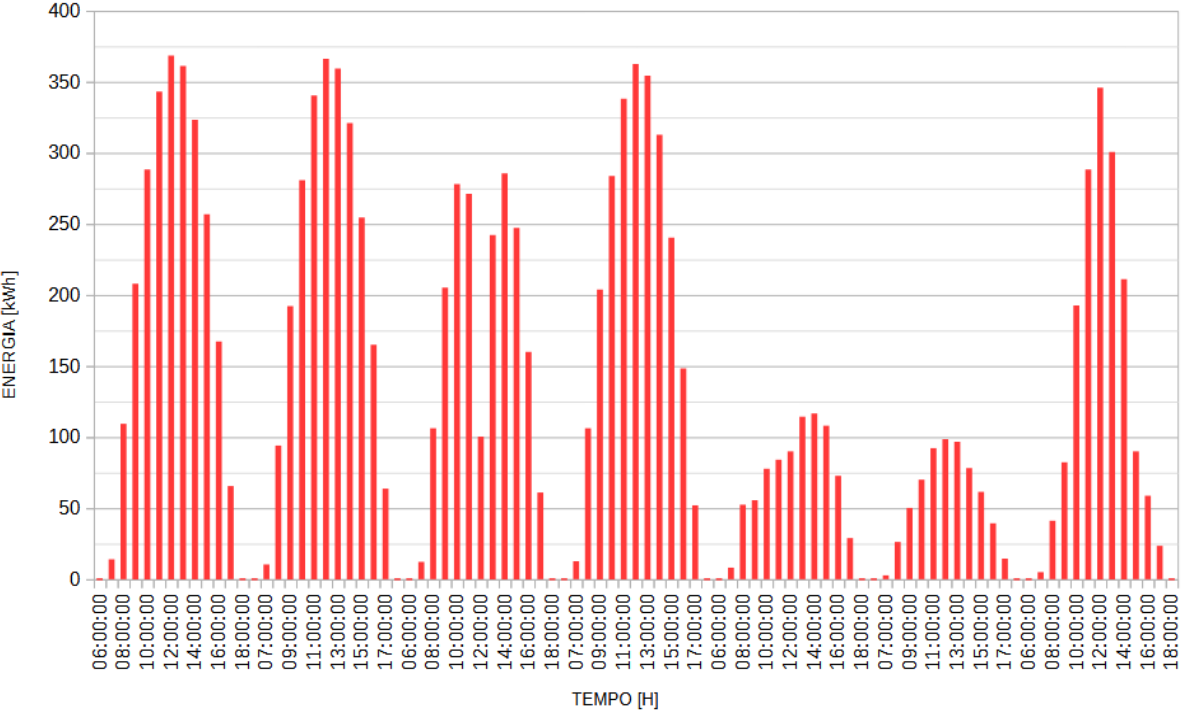
Para a implementação de um sistema de geração fotovoltaica com o objetivo reduzir o custo da fatura de energia desse consumidor antes de uma migração para o mercado livre de energia, foi considerado que 22% do consumo de energia mensal do consumidor seria suprido pelo sistema de geração fotovoltaico, essa escolha foi feita considerando que algo entre 20% e 25% garantiriam uma redução de custos na fatura para o consumidor e deixaria uma margem para uma implementação com módulos fotovoltaicos ainda maior futuramente. Portanto, cerca de 34.000 kWh por mês serão gerados pelo sistema. Através do portal *tutitempo* (Tutitempo, 2025), foram obtidos os valores de radiação de hora em hora no período de 7 dias, medidos na segunda semana de março de 2025, como mostrado no GRÁFICO 1. Além disso, foi escolhido o modelo de módulo fotovoltaico do sistema, sendo o Tangra MDHG11, com 620 Wp de potência. Dessa forma, a partir da (Equação 9) a energia gerada por módulo a partir da irradiação durante os 7 dias medidos, são mostrados no GRÁFICO 2.

GRÁFICO 1. IRRADIAÇÃO SOLAR DURANTE UMA SEMANA EM CURITIBA.



Fonte: O autor, 2025.

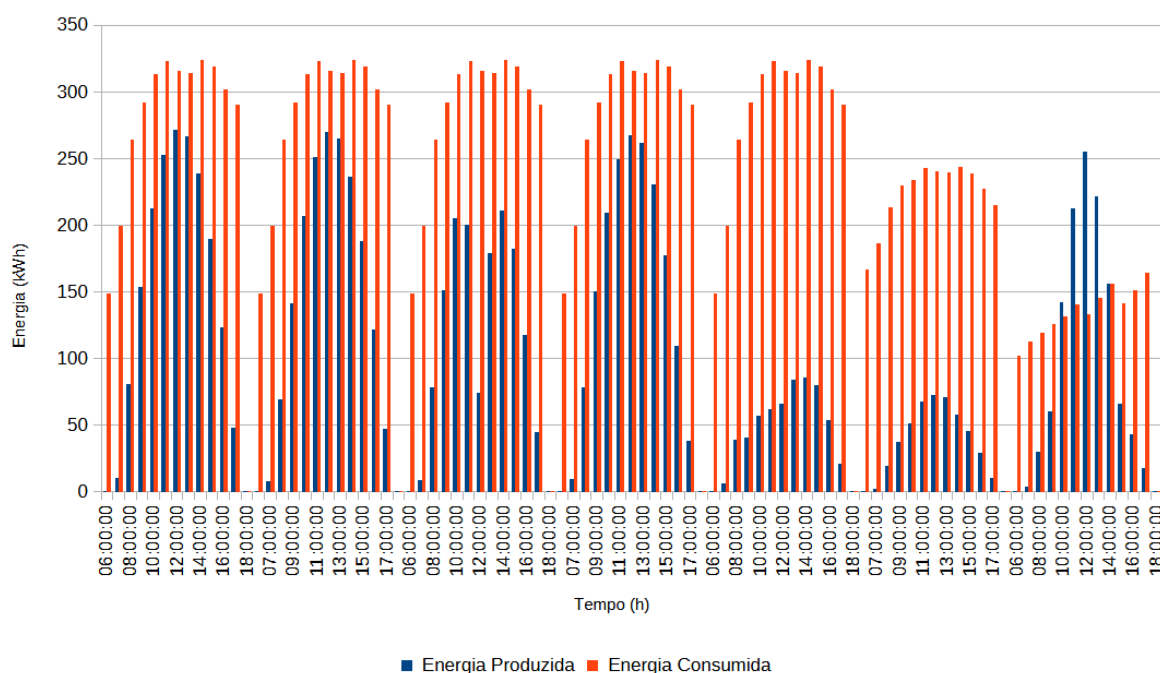
GRÁFICO 2. ENERGIA PRODUZIDA POR UM MÓDULO FOTOVOLTAICO.



Fonte: O autor, (2025).

Foi então calculado o somatório semanal de energia produzida com um total de 10.775,23 Wh. Para obter o valor mensal de energia produzida pelo sistema fotovoltaico foram consideradas quatro semanas com os mesmos valores de energia produzida mais dois dias, assim formando os 30 dias de geração fotovoltaica. Portanto, um módulo fotovoltaico produziu 46,05 kWh de energia, e para que haja uma produção capaz de suprir os 34.000 kWh mensais, são necessários 738 módulos fotovoltaicos. O GRÁFICO 3, a seguir, mostra a energia produzida (em azul) e a energia consumida (em laranja) durante o período entre 06h às 18h durante segunda a domingo.

GRÁFICO 3. CONSUMO E GERAÇÃO DE ENERGIA SEMANAL ENTRE 06h E 18h.



Fonte: O autor, (2025)

Pode-se observar que o período próximo ao meio dia ocorre o pico de energia produzida, chegando a alcançar pouco mais de 250 kWh em três dias da semana. Durante o período de medição observa-se também dois dias da semana com uma produção de energia bastante abaixo do consumo, o que reflete as condições

climáticas adversas a qual a geração fotovoltaica está exposta. Apenas em um dia da semana confere-se a energia gerada sendo acima da consumida. Isso ocorre em um domingo durante um período de quatro horas consecutivas, fato esperado devido ao menor consumo demandado neste dia.

Na sequência foi considerado o inversor do modelo MID 20KTL3-X2 da Growatt e utilizando as equações (Equação 10), (Equação 11) e Equação 12 foi possível projetar a quantidade de inversores necessários para o empreendimento. Como mencionado no capítulo anterior, alguns dados do inversor e do módulo foram utilizados, conferindo-se seus respectivos *datasheets* e como destacado na Figura 14 e Figura 15, respectivamente, a seguir:

Figura 14. DATASHEET DO INVERSOR.

Ficha de dados	MID 20KTL3-X2	MID 25KTL3-X2
Dados de entrada (CC)		
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)*	36000W	45000W
Máx. tensão de corrente contínua	1100V	
Tensão de partida	200V	
Tensão normal	600V	
Faixa de tensão MPPT	200V-1000V	
Número de MPPTs	2	
Número de strings FV por MPPT	2	2
Máx. corrente de entrada por MPPT	32A	32A/36A
Máx. corrente de curto-circuito por MPPT	40A	40A/45A
Dados de saída (CA)		
Potencia nominal de saída a 40°C	20000W	25000W
Potencia maxima de saída a 40°C	22000VA	27500W
Tensão nominal CA (faixa*)	220V/380V, 230V/400V (340-440V)	
Frequência da rede CA (faixa*)	50/60 Hz (45-55hz/55-65 Hz)	
Máx. corrente de saída	33.6A	42.0A
Fator de potência ajustável	0.8leading...0.8lagging	
THDI	<3%	
Tipo de conexão de rede CA	3W+N+PE	
Eficiência		
Eficiência máx.	98.75%	98.75%
Eficiência europeia	98.6%	98.6%
Eficiência da MPPT	99.9%	
Dispositivos de proteção		
Proteção de polaridade reversa CC	Sim	
Interruptor CC	Sim	
Proteção CA/CC de surtos	Tipo II / Tipo II	
Monitoramento de resistência de isolamento	Sim	
Proteção de curto circuito CA	Sim	
Monitoramento de falha do terra	Sim	
Monitoramento da rede	Sim	
Proteção anti-ilhamento	Sim	
Unidade de monitoramento da corrente residual	Sim	
Monitoramento de falha da string	Sim	
Proteção AFCI	Sim	
Dados gerais		
Dimensões L/A/P	528/415/225mm	
Peso	22kg	
Faixa de temperatura operacional	-25 °C ... +60 °C	
Consumo noturno	<1W	
Topologia	Sem transformador	
Resfriamento	Resfriamento de ar inteligente	
Nível de proteção	IP65	
Humidade relativa	0-100%	
Altitude	4000m	
Conexão CC	H4/MC4(Optional)	
Conexão CA	Cable gland+OT terminal	
Display	OLED+LED/WIFI+APP	
Interfaces: USB/RS485/WIFI/GPRS /4G/LAN/RF	Sim/Sim/Opcional/Opcional/Opcional/v	
Garantia : 10 anos	Sim	

Fonte: Growatt, (2025).

Figura 15. DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.

Modelo de módulos	SS-600-66MDH-G11(T)		SS-605-66MDH-G11(T)		SS-610-66MDH-G11(T)		SS-615-66MDH-G11(T)		SS-620-66MDH-G11(T)	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima — P_{mp} (W)	600	459	605	462	610	466	615	470	620	474
Tensão de circuito aberto — V_{oc} (V)	48.40	46.00	48.70	46.20	49.00	46.50	49.30	46.80	49.60	47.10
Corrente de curto-circuito — I_{sc} (A)	15.80	12.73	15.83	12.75	15.86	12.78	15.89	12.81	15.92	12.84
Tensão de potência máxima — V_{mp} (V)	40.30	37.90	40.50	38.10	40.80	38.30	41.00	38.60	41.22	38.88
Corrente de potência máxima — I_{mp} (A)	14.91	12.11	14.94	12.13	14.96	12.16	14.99	12.18	15.03	12.20
Eficiência do módulo — η_m (%)	22.2		22.4		22.6		22.7		22.9	
Tolerância de potência (W)	(0,+5)									
Tensão máxima do sistema (V)	1500									
Corrente nominal máxima do fusível(A)	25									
Temperatura de operação atual (°C }	-40~+85 °C									

STC (Condições de Teste Padrão): Irradiância 1000 W/m², Temperatura da Célula 25 °C , Espectro em AM1,5
NOCT (Temperatura Nominal da Célula de Operação): Irradiância 800W/m², Temperatura Ambiente 20°C , Espectro em AM1.5, Vento em 1m/s

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

Tamanho do módulo (L*P*H)	2384x 1134 x 30 mm
Peso	28.5 kg
Número de células	132 células
Célula	N-type monocristalino
Vidro	Temperado, 3,2 mm AR, alta transmitância, baixo ferro
Quadro/Armação	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP68, 3 der bypass dioden
Fio de saída	4.0 mm ²
Cabo de saída	300mm/1200mm ou comprimento personalizado
Conector	Compatível com MC4
Carga mecânica	Carga de neve: 5400 Pa ❄️ / Carga de vento: 2400 Pa 🌀

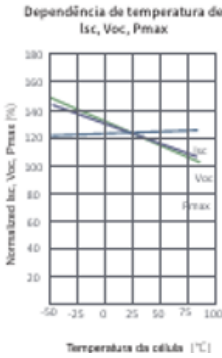
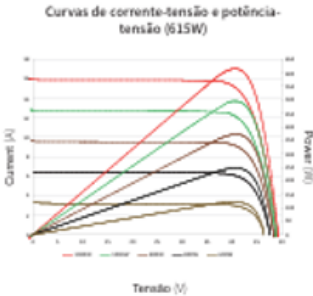
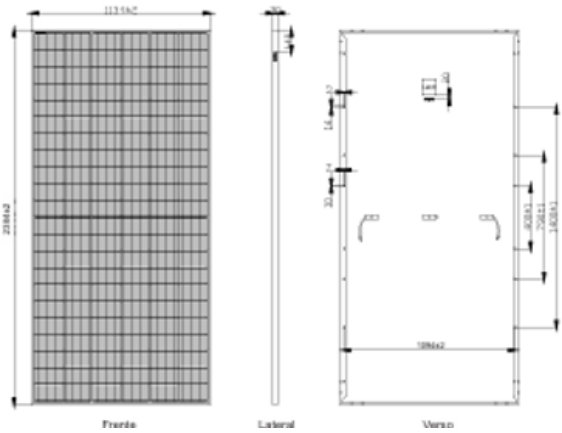
CLASSIFICAÇÕES DE TEMPERFORMANCE

Coefficiente de temperatura (P_{max})	-0.30 %/°C
Coefficiente de temperatura (V_{oc})	-0.28 %/°C
Coefficiente de temperatura (I_{sc})	+0.04 %/°C
Temperatura nominal da célula de operação	43±2 °C

CONFIGURAÇÃO DA EMBALAGEM

Contêiner	40HQ
Quantidade/paleta	36
Paletes/contêiner	20
Quantidade/Contêiner	720

DIMENSÕES DO MÓDULO (MM)



Também para a realização do cálculo, segundo dados do portal com histórico meteorológico Meteoblue, a menor temperatura no último ano registrada em Curitiba foi de 1,3 °C (Meteoblue, 2025). Dessa forma, é mostrado abaixo os resultados das seguintes equações:

(Equação 10): 52,25 V

(Equação 11): 21,05 módulos máximos por string

(Equação 12): 59 módulos por inversor.

Portanto, o número de inversores é dado pelo número de módulos totais divididos pelo número de módulos por inversor, calculados na (Equação 12), chegando ao resultado de 13 inversores.

Com o número de módulos e inversores foi possível calcular o investimento total necessário para a implantação do sistema fotovoltaico. O valor referente ao inversor foi constatado em R\$12.368,07 (Minha Casa Solar, 2025), e o valor referente ao módulo foi de R\$ 21.238,00 por kit de 37 painéis cada. Portanto, considerando o total de módulos e inversores o custo desses equipamentos foi de R\$ 585.544,91. e segundo estudo de Sisquini, Matheus S. Rossoni, Sisquini, Caio Rossoni e Sisquini, Geraldo Rossoni (2024) os custos com módulos e inversores representam cerca de 60% do total de investimento no SFV. Assim, o investimento total para implementação do sistema fotovoltaico foi de R\$ 975.908,18.

4.4 BREAKEVEN

O primeiro passo para o cálculo do ponto de equilíbrio econômico entre os ambientes de contratação foi considerar uma energia incentivada de 50% para o cálculo de TUSD no ACL. Utilizando as equações Equação 13 e (Equação 14), foram calculados os valores de TUSD nas modalidades azul e verde, respectivamente, sendo:

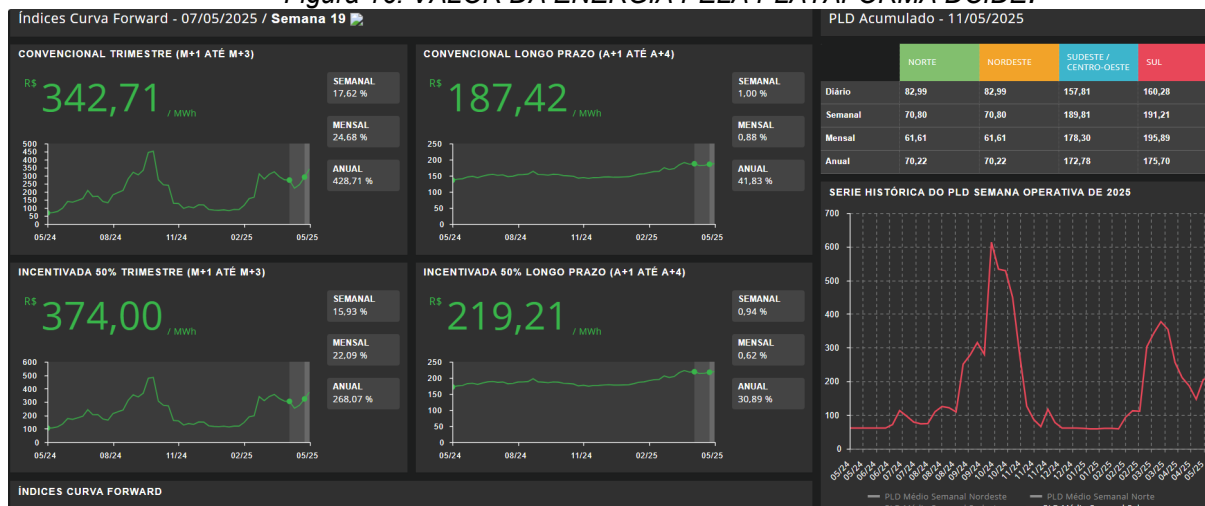
$TUSD_{azulacl}$: R\$ 29.726,33

$TUSD_{verdeacl}$: R\$ 38.830,62

Na sequência foi considerado como valor dos encargos atribuídos a CCEE sendo 7,1 R\$/MWh segundo estudos de caso pesquisados por Danilo Ramos Oliveira (2019) em estudo de análise de viabilidade econômica de migração de consumidores de energia elétrica para o mercado livre, do qual também foi seguido a mesma metodologia para o cálculo de *breakeven*. Como os valores de TUSD azul e verde para o ACL já tinham os valores de impostos imbutidos, a (Equação 15) se reduz a multiplicação dos encargos da CCEE com o consumo mensal total, resultando em R\$ 1.097,23. Assim, a (Equação 16) resultou em R\$ 55.285,98 na modalidade azul e R\$ 53.899,25 na modalidade verde, representando os valores das diferenças de tarifas entre o ACR e o ACL mais os encargos da CCEE. Por fim os valores de breakeven calculados para ambas modalidades foram de 0,293 R\$/kWh para modalidade azul e 0,286 R\$/kWh para modalidade verde.

Foram utilizados os dados da plataforma Dcide para comparação dos valores obtidos com os valores aproximados que são praticados no mercado (Dcide, 2025), como mostrado na Figura 16, a seguir:

Figura 16. VALOR DA ENERGIA PELA PLATAFORMA DCIDE.



Fonte: Plataforma Dcide, (2025)

Aqui foi considerado o valor de 0,219 R\$/kWh como valor base para comparação. Embora a diferença de breakeven tenha sido próximo entre os valores das modalidades verde e azul, o valor na modalidade verde foi o escolhido por ser o mais atrativo financeiramente.

Para se comparar esse valor flat calculado através do breakeven com o valor praticado no ACR na modalidade verde foi realizado uma média ponderada dos valores de tarifa de ponta e fora de ponta praticado no ambiente cativo, como visto na Figura 13.

Dessa forma, obteve-se um valor flat de tarifa que posteriormente foi comparado a modalidade verde calculada com o breakven, onde os valores de ponta e fora de ponta foram calculados com base na porcentagem que eles representam diante do valor flat da média ponderada. Com isso, os valores de ponta e fora de ponta para a modalidade verde no MLE foram, respectivamente, 0,426 R\$/kWh e 0,27 R\$/kWh

A mesma metodologia de cálculo empregada para o cálculo de breakeven após a instalação de um sistema fotovoltaico, foi empregada para se calcular o breakeven para uma migração para o MLE antes da instalação do sistema fotovoltaico, chegando como resultado um valor para a modalidade azul de 0,263 R\$/kWh e para modalidade verde de 0,255 R\$/kWh.

Sendo os dois valores abaixo do praticado no mercado, segundo a plataforma Decide. Para seguimento do trabalho foi considerado a modalidade verde como sendo praticável no mercado, pois tem o valor mais próximo do que a modalidade azul calculada. Seguindo a mesma metodologia para o cálculo da média ponderada, o valor de ponta e fora de ponta foram, respectivamente, 0,381 R\$/kWh e 0,2431 R\$/kWh. Os valores calculados anteriormente são evidenciados na Tabela 5.

Tabela 5. VALORES DE BREAKEVEN EM AMBAS MODALIDADES TARIFÁRIAS E O VALOR DE PONTA E FORA DE PONTA RESPECTIVO.

	SEM SFV		COM SFV	
	Modalidade Azul	Modalidade Verde	Modalidade Azul	Modalidade Verde
Vbreakven (R\$/kWh)	0,263	0,255	0,293	0,286
Ponta (R\$/kWh)	-	0,381	-	0,426
Fora de Ponta (R\$/kWh)	-	0,2431	-	0,27

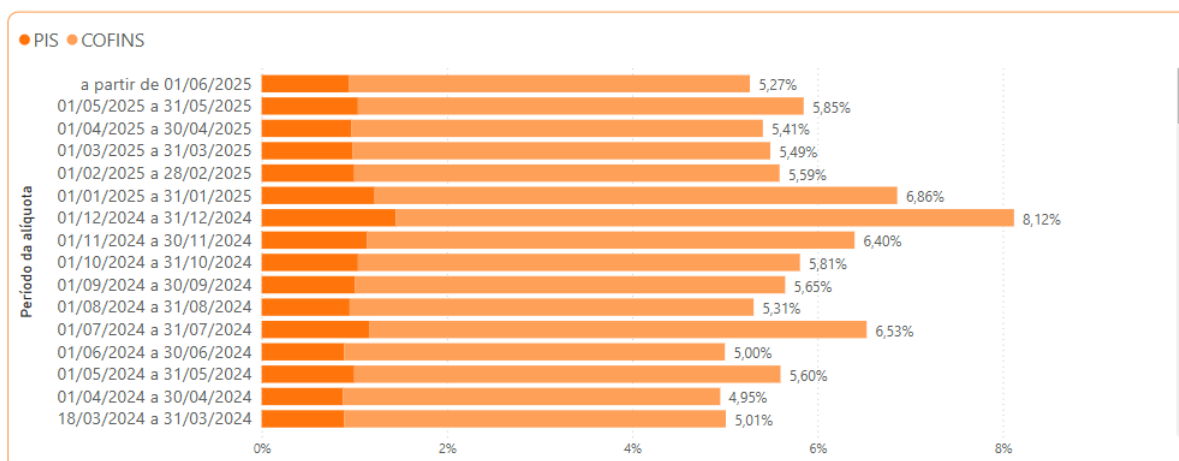
Fonte: O autor, (2025).

4.5 CÁLCULO DAS FATURAS DE ENERGIA

Com os valores de TE e TUSD definidos pôde-se iniciar os cálculos das tarifas de energia no ambiente de contratação livre. Porém, antes foram feitas algumas considerações. Para os cálculos dos impostos PIS/Cofins no primeiro ano de faturado foi considerado o valor médio desses impostos nos 6 primeiros meses de 2025, valores que foram consultados na aba de tributos no *site* da Copel (Copel, 2025), como mostra a Figura 17.

Portanto, o valor obtido foi de 5,74% para PIS/Cofins no primeiro ano. Para o segundo ano de faturamento, a previsão estabelecida desses impostos foram de 6,03%, obtido através da porcentagem de aumento acontecido no último ano. A partir do terceiro ano, sendo aqui o ano de 2027, foi estabelecido o valor de 9,3% de impostos PIS/Cofins, valor estabelecido pela Lei Complementar Nº 214/2025 (Brasil, 2025) referente a nova reforma tributária. O valor de ICMS foi considerado o mesmo para todos os anos calculados, de 19%, a fim de simplificar os cálculos.

Figura 17. ALÍQUOTA DE PIS/COFINS DA COPEL NO ÚLTIMO ANO.



Fonte: Copel, (2025).

Além disso, foi considerado um reajuste de 11,7% por ano nas tarifas sobre a TUSD e TE, segundo os parâmetros de WACC para o ano de 2024, (ANEEL, 2024). Esse parâmetro estabelece os valores que deveriam ser reajustados pelo sistema de distribuição e transmissão de energia.

A partir dessas considerações foi possível calcular os valores de tarifas, imposto e fatura no caso em que o consumidor já tem o SFV, através da (Equação 14) foi calculado a TUSDverde no ACL, pela (Equação 5) foi calculado a TE, através das equações (Equação 6) e (Equação 7) foram calculados os valores de impostos e por fim, a (Equação 2) resulta na fatura final. É importante ressaltar que os valores obtidos são de um único mês de faturamento, o qual foi considerado como o valor médio anual. Portanto o valor anual total considerado foi calculado multiplicando esse valor mensal por 12. A Tabela 6 e a Tabela 7 a seguir, mostram os valores obtidos.

Tabela 6. VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE VERDE NO MLE COM SFV.

	TUSDverde,acl (R\$)	TE,acl (R\$)	Vimpostosacl (R\$)	Vfaturaacl (R\$)
Média Mensal Ano 1	26.178,14	31.254,04	18.879,51	76.311,69
Média Mensal Ano 2	27.768,15	34.942,02	20.936,85	83.647,02
Média Mensal Ano 3	36.391,41	39.065,18	29.782,73	105.239,31
Média Mensal Ano 4	43.109,67	43.674,87	34.253,87	121.038,41
Média Mensal Ano 5	51.228,70	48.828,32	39.492,52	139.549,53
TOTAL	184.676,06	197.764,43	143.345,47	525.785,96

Fonte: O autor, (2025).

Tabela 7. VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE VERDE NO MLE COM SFV.

	TUSDverde,acl (R\$)	TE,acl (R\$)	Vimpostosacl (R\$)	Vfaturaacl (R\$)
Ano 1	314.137,65	375.048,51	226.554,15	915.740,31
Ano 2	333.217,80	419.304,23	251.242,18	1.003.764,21
Ano 3	436.696,91	468.782,13	357.392,70	1.262.871,75
Ano 4	517.316,03	524.098,42	411.046,43	1.452.460,89
Ano 5	614.744,38	585.939,81	473.910,22	1.674.594,41
TOTAL	2.216.112,77	2.373.173,11	1.720.145,69	6.309.431,57

Fonte: O autor, (2025).

Ao analisar os resultados obtidos é possível notar que os valores das tarifas de TUSD e TE na modalidade verde no MLE sofrem incrementos progressivos e quase constantes. Porém o valor de impostos sofre grande aumento a partir do

terceiro ano, devido ao parâmetro da nova reforma tributária, ainda que a alíquota de ICMS tenha sido considerada constante em todo o período.

Na sequência foram calculados os valores de TUSD, TE, impostos e a fatura no mercado cativo, onde foram utilizados os mesmos parâmetros de incrementos utilizados no cálculo anterior no MLE. Também é importante lembrar que conforme mostrado anteriormente, a modalidade azul no ambiente cativo tem valores de fatura menores que a modalidade verde.

Portanto foi utilizada a (Equação 3) para se calcular a $TUSD_{azul,acr}$. Na sequência com a (Equação 5) foi calculado o valor de TE, e com as equações (Equação 6) e (Equação 7) foram obtidos os valores de impostos. Por fim, a fatura foi calculada através da (Equação 2). Tabela 8 mostra os resultados obtidos dos valores mensais médios por ano e os valores anuais de tarifas, impostos e de fatura de energia.

Tabela 8: VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE AZUL NO ACR COM SFV.

	TUSDazulacr (R\$)	TE,acr (R\$)	Vimpostosacr (R\$)	Vfaturaacr (R\$)
Média Mensal Ano 1	35.675,14	31.897,75	21.547,50	89.120,40
Média Mensal Ano 2	39.884,81	35.661,68	24.491,86	100.038,36
Média Mensal Ano 3	44.591,22	39.869,76	32.698,01	117.159,00
Média Mensal Ano 4	49.852,98	44.574,39	36.556,38	130.983,76
Média Mensal Ano 5	54.108,68	49.834,17	40.447,98	144.390,83
TOTAL	224.112,84	201.837,76	155.741,74	581.692,33

Fonte: O autor, (2025)

Tabela 9: VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE AZUL NO ACR COM SFV.

	TUSDazulacr (R\$)	TE,acr (R\$)	Vimpostosacr (R\$)	Vfaturaacr (R\$)
Ano 1	428.101,74	382.772,99	258.570,04	1.069.444,77
Ano 2	478.617,74	427.940,20	293.902,33	1.200.460,27
Ano 3	535.094,64	478.437,14	392.376,17	1.405.907,96
Ano 4	598.235,80	534.892,73	438.676,56	1.571.805,09
Ano 5	649.304,13	598.010,07	485.375,72	1.732.689,92
TOTAL	2.689.354,04	2.422.053,13	1.868.900,83	6.980.308,01

Fonte: O autor, (2025)

Conforme esperado, os valores no mercado cativo excederam os valores no MLE em todos os dados calculado, tendo um valor acumulado de fatura ao final do quinto ano de aproximadamente 700 mil reais a mais do que no mesmo período no MLE.

Na sequência foram realizados os mesmos cálculos apresentados nessa seção, porém sem considerar que a instalação fotovoltaica tenha sido implementada no consumidor. Dessa forma, foram considerados os mesmos parâmetros de tarifas e alíquotas de PIS/COFINS e ICMS já mencionadas. Portanto, seguindo a mesma metodologia apresentada para o mercado cativo com SFV, os valores obtidos agora sem SFV são apresentados a seguir conforme a Tabela 10 e Tabela 11:

Tabela 10: VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE AZUL NO ACR SEM SFV.

	TUSDazulacr (R\$)	TE,acr (R\$)	Vimpostosacr (R\$)	Vfaturaacr (R\$)
Média Mensal Ano 1	40.013,36	44.785,64	28.716,55	113.515,55
Média Mensal Ano 2	44.243,29	49.264,21	32.087,69	125.595,18
Média Mensal Ano 3	49.464,00	55.077,38	42.021,91	146.563,29
Média Mensal Ano 4	55.300,75	61.576,51	46.980,49	163.857,76
Média Mensal Ano 5	61.826,24	65.569,76	52.524,19	179.920,19
TOTAL	250.847,63	276.273,50	202.330,83	729.451,97

Fonte: O autor, (2025).

Tabela 11: VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE AZUL NO ACR SEM SFV.

	TUSDazulacr (R\$)	TE,acr (R\$)	Vimpostosacr (R\$)	Vfaturaacr (R\$)
Ano 1	480.160,33	537.427,70	344.598,63	1.362.186,66
Ano 2	530.919,47	591.170,47	385.052,24	1.507.142,18
Ano 3	593.567,97	660.928,58	504.262,90	1.758.759,45
Ano 4	663.608,99	738.918,15	563.765,93	1.966.293,07
Ano 5	741.914,85	68.842,54	630.290,31	2.159.042,31
TOTAL	3.010.171,61	2.597.287,44	2.427.970,01	8.753.423,66

Fonte: O autor, (2025).

Na próxima etapa foi calculado novamente o valor de breakeven estimado para que a migração para o MLE passe a ser viável. Seguindo a mesma metodologia que a aplicada para o breakeven calculado anteriormente, obtivemos os seguintes valores:

Vbreakeven modalidade verde: R\$/kWh 0,255.

Vbreakeven modalidade azul: R\$/kWh 0,263.

Ao compara esses valores com o da curva de preço da plataforma Dcide, conforme a Figura 16, temos que novamente o valor da modalidade verde, além de ser menor que na modalidade azul, tem maior chance de negociação por ficar

abaixo dos valores praticados no mercado. Portanto, foi considerado o valor de TE na modalidade verde como sendo o valor compatível com os preços praticados no MLE.

O valor flat de TE no ambiente cativo foi novamente utilizado para que a proporção da tarifa no MLE seja igual ao mercado cativo. Dessa maneira, os valores de ponta e fora de ponta para TE na modalidade verde no MLE foram, respectivamente, R\$ 0,381 e R\$ 0,2431.

Portanto utilizando o mesmo método já descrito para o cálculo das tarifas, impostos e fatura, os valores obtidos no MLE sem a instalação fotovoltaica, é observada conforme a Tabela 12 e a Tabela 13:

Tabela 12: VALORES MÉDIOS MENSAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE VERDE NO MLE SEM SFV.

	TUSDazulacl (R\$)	TE,accl (R\$)	Vimpostosaccl (R\$)	Vfaturaaccl (R\$)
Média Mensal Ano 1	30.516,35	39.469,27	23.006,17	92.991,80
Média Mensal Ano 2	35.668,94	44.126,65	26.641,10	106.436,69
Média Mensal Ano 3	41.817,33	49.333,59	35.977,28	127.128,21
Média Mensal Ano 4	49.175,95	55.154,95	41.179,42	145.510,33
Média Mensal Ano 5	58.008,74	61.663,24	47.234,55	166.906,52
TOTAL	215.187,32	249.747,70	174.038,53	638.973,55

Fonte: O autor, (2025).

Tabela 13: VALORES MÉDIOS ANUAIS DAS TARIFAS E FATURAS NA MODALIDADE VERDE NO MLE SEM SFV.

	TUSDazulacl (R\$)	TE,accl (R\$)	Vimpostosaccl (R\$)	Vfaturaaccl (R\$)
Ano 1	366.196,24	473.631,26	276.074,04	1.115.901,55
Ano 2	428.027,31	529.519,75	319.693,25	1.277.240,31
Ano 3	501.808,00	592.003,08	431.727,39	1.525.538,48
Ano 4	590.111,42	661.859,45	494.153,08	1.746.123,95
Ano 5	696.104,88	739.958,86	566.814,56	2.002.878,29
TOTAL	2.582.247,85	2.996.972,41	2.088.462,31	7.667.682,57

Fonte: O autor, (2025).

Ao se comparar os valores obtidos de fatura no MLE depois da instalação do SFV com os valores antes da instalação, tanto no MLE quanto no ACR, observa-se que o valor da fatura teve uma considerável redução ao fim do ano 5. Porém, para

concluir se a migração para o MLE com a implantação do SFV é mais viável do que a instalação sem a migração, foram calculados o Valor Presente Líquido e o Payback do investimento da instalação.

4.5.1 Caso 1:

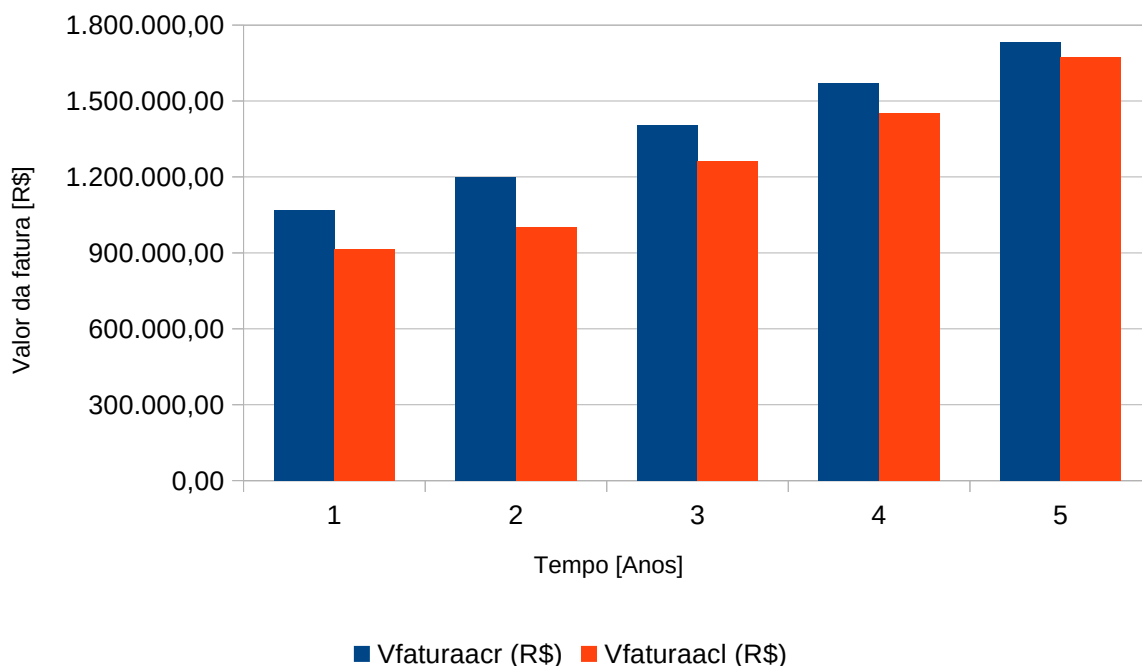
No primeiro caso, foi considerado que houve a instalação do SFV e aconteceu a migração para o MLE. Será calculado o valor economizado caso o consumidor continuasse no ACR. A Tabela 14 a seguir mostra os valores economizados e o GRÁFICO 4 ilustra os valores das faturas ao longo do tempo:

Tabela 14: VALORES DE FATURA COM SFV NO MLE, NO ACR E A DIFERENÇA.

	Vfaturaacr (R\$)	Vfaturaaci (R\$)	Economizado (R\$)
ANO 1	1.069.444,77	915.740,31	153.704,46
ANO 2	1.200.460,27	1.003.764,21	196.696,06
ANO 3	1.405.907,96	1.262.871,75	143.036,21
ANO 4	1.571.805,09	1.452.460,89	119.344,21
ANO 5	1.732.689,92	1.674.594,41	58.095,51

Fonte: O autor, (2025).

GRÁFICO 4. VALORES DAS FATURAS NO ACR E NO ACL ANUALMENTE.



Fonte: O autor, (2025).

O valor economizado e a diferença entre as faturas nos ambientes ACR e ACL, já com a instalação do sistema fotovoltaico. O valor economizado é a diferença simples entre as faturas anuais e será utilizado para o cálculo de fluxo de caixa simples. Através do cálculo de VPL aplicado ao fluxo de caixa simples, trouxemos os valores economizados para o tempo presente e, assim, descontamos do capital inicial investido para chegar ao valor que demonstra o saldo total do investimento. A taxa de atratividade utilizada para o cálculo de VPL foi de 12%, pois é um valor médio aproximado da taxa SELIC, segundo projeções do Banco Central para nos próximos anos (BACEN, 2025).

Também foi calculado o fluxo de caixa acumulado, considerando o valor negativo do investimento inicial no ano 0 e somando a cada ano o saldo positivo da economizado. Portanto, considerando o valor investido para a instalação do sistema fotovoltaico e os valores economizados nos 5 anos seguintes, o fluxo de caixa simples e descontado são demonstrados na Tabela 15, a seguir:

Tabela 15: FLUXO DE CAIXA SIMPLES E DESCONTADO.

	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO
ANO 0	-R\$ 975.908,18	-R\$ 975.908,18
ANO 1	R\$ 153.704,46	-R\$ 822.203,72
ANO 2	R\$ 196.696,06	-R\$ 625.507,66
ANO 3	R\$ 143.036,21	-R\$ 482.471,45
ANO 4	R\$ 119.344,21	-R\$ 363.127,25
ANO 5	R\$ 58.095,51	-R\$ 305.031,74

Fonte: O autor, (2025).

Utilizando a (Equação 18) foi calculado um o Valor Presente Líquido de:

VPL = R\$ -471.246,46.

Como os valores de fluxo de caixa acumulado ficaram negativos, durante todo o tempo projetado para as faturas, não foi possível conhecer o tempo de retorno do investimento. Apenas ficou evidenciado que acontecerá com mais de 5 anos após o investimento inicial.

4.5.2 Caso 2:

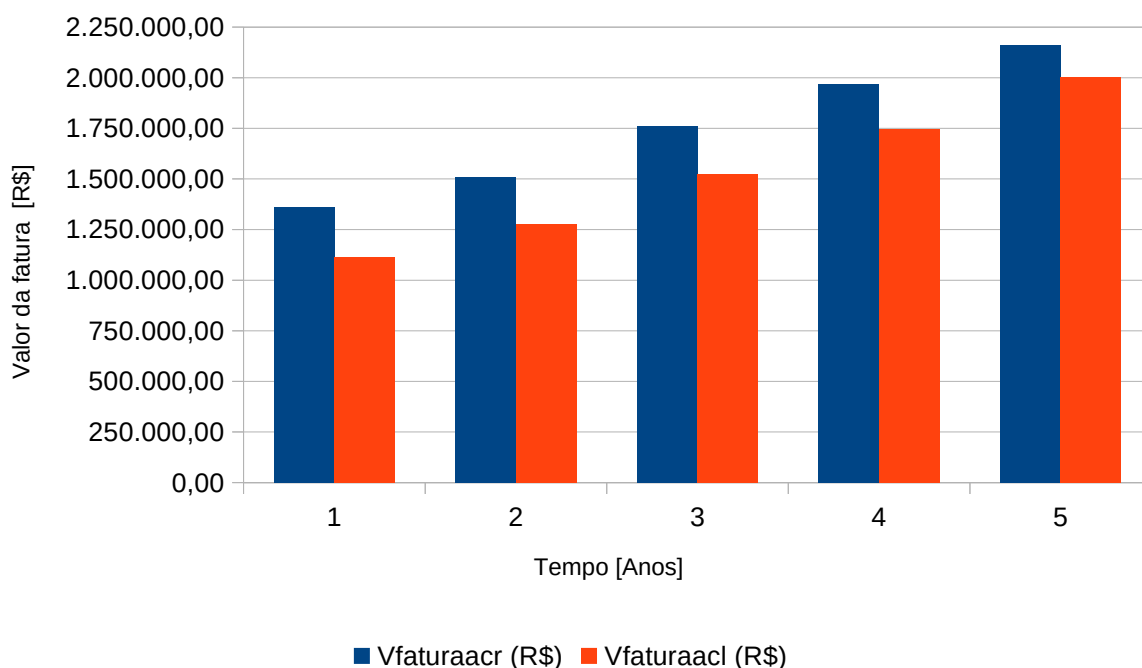
Para complemento do estudo foram calculados também os efeitos financeiros da migração projetadas pelas faturas no cenário em que não houve a instalação do SFV. Seguiu-se a mesma forma do processo anterior para se calcular o valor economizado, como mostra a Tabela 16 e o GRÁFICO 5.

Tabela 16: VALORES DE FATURA NO MLE E NO ACR SEM SFV E A DIFERENÇA.

	Vfaturaacr (R\$)	Vfaturaacl (R\$)	Economizado (R\$)
ANO 1	1.362.186,66	1.115.901,55	246.285,11
ANO 2	1.507.142,18	1.277.240,31	229.901,87
ANO 3	1.758.759,45	1.525.538,48	233.220,98
ANO 4	1.966.293,07	1.746.123,95	220.169,13
ANO 5	2.159.042,31	2.002.878,29	156.164,02

Fonte: O autor, (2025)

GRÁFICO 5. VALORES DAS FATURAS NO MLE E NO ACR ANUALMENTE.



Fonte: O autor, (2025).

Na sequência, como feito anteriormente, foram calculados os fluxos de caixa simples e acumulado, obtendo os valores da Tabela 17, a seguir:

Tabela 17: FLUXOS DE CAIXA SIMPLES E DESCONTADO.

	FLUXO DE CAIXA SIMPLES	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO
ANO 0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
ANO 1	R\$ 246.285,11	R\$ 246.285,11
ANO 2	R\$ 229.901,87	R\$ 476.186,97
ANO 3	R\$ 233.220,98	R\$ 709.407,95
ANO 4	R\$ 220.169,13	R\$ 929.577,08
ANO 5	R\$ 156.164,02	R\$ 1.085.741,09

Fonte: O autor, (2025)

Para esse caso, o Valor Presente Líquido foi de: **VPL = R\$ 797.708,98.**

Como esperado, um valor positivo, pois não há um investimento inicial. Esse valor corrobora com o resultado da migração ao se ter um SFV, pois seu valor é quase equivalente ao valor de investimento inicial.

5 CONCLUSÃO

Com o propósito de investigar o impacto e a viabilidade financeira que uma migração para o Mercado Livre de Energia oferta a um prosumidor, concluiu-se que a economia relativa a cada ano não é suficientemente atrativa. Mas é viável para o consumidor sem um SFV instalado.

Quando considerado o primeiro caso, em que foi projetado o valor da fatura ao longo de 5 anos para um consumidor que havia instalado um sistema fotovoltaico, comparado a projeção das faturas no mercado cativo, foram obtidos valores negativos no fluxo de caixa descontado. Isso é um indicador de que a migração desse prosumidor para o MLE não se faz atrativo economicamente, pois não há um retorno dentro dos 5 primeiros anos. Além do VPL negativo indicar que o investimento inicial seria melhor utilizado em outro tipo de investimento.

Quando estudado o segundo cenário, onde houve a comparação entre os ambientes no MLE e o ACR, sem a instalação do sistema fotovoltaico pelo consumidor. Obteve-se um valor de economia, ao longo dos 5 anos projetados, que equivale a quase 800 mil reais no tempo presente. Sendo assim, é economicamente atrativo a migração para o MLE nas condições de valores adotados de tarifas de energia.

É importante ressaltar que não foram considerados alguns fatores que poderiam diminuir ainda mais o tempo de retorno do investimento, como por exemplo, o decaimento do rendimento dos módulos fotovoltaicos e os custos de manutenção.

Outro aspecto importante é o perfil de carga do consumidor, que tem um consumo de energia durante 24h, e impacta diretamente na não redução acentuada. Pois, ao se considerar somente o período do dia em que é possível a produção de energia pelo SFV, observou-se uma redução considerável na curva de energia demandada da rede elétrica.

Por fim, em meio a mudanças no setor elétrico e também no ambiente tributário, o trabalho mostra que há espaço para a migração para o mercado livre quando se tem melhores condições de custos do que no ACR. Aliado a prosumidores com uma capacidade de produção de energia capaz de suprir boa

parte do que é demandado, seria possível melhores condições na negociação de compra de energia no ACL. Além disso, conforme as regras do SCEE, o melhor cenário para prosumidores migrarem para o MLE é limitando sua produção ao consumo, pois não é possível realizar uma compensação pela energia excedente. Para o fomento ao MLE desses prosumidores, seria interessante que pudessem fazer parte do SCEE, ainda que o abatimento na tarifa fosse menor do que o praticado aos prosumidores do mercado cativo.

REFERÊNCIAS

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Brasil**. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/ctr-curva-de-carga/resource/4621d2f7-43bf-41a3-8af1-9e7ca0b9925e>. Acesso em: 26 nov. 2024

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Postos tarifários**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/postos-tarifarios>. Acesso em: 2 out. 2024.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas e informações econômico-financeiras**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>. Acesso em: 2 out. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 9.074, de 7 de julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões de serviços públicos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jul. 1995. Seção 1, p. 2.

BRASIL. **Lei complementar nº 214, de 16 de janeiro de 2025**. Institui o Imposto sobre Bens e Serviços (IBS), a Contribuição Social sobre Bens e Serviços (CBS) e o Imposto Seletivo (IS); cria o Comitê Gestor do IBS e altera a legislação tributária. *Diário Oficial da União*, Seção 1, Edição Extra B, 16 jan. 2025, p. 64. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/leicom/2025/leicomplementar-214-16-janeiro-2025-796905-norma-pl.html>. Acesso em: 5 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 mar. 2004. Seção 1, p. 2.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o Marco Legal de Microgeração e Minigeração Distribuída. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Seção 1, p. 4.

BRASIL. **Portaria nº 50, de 6 de janeiro de 2022.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 set. 2022. Seção 1, p. 188.

CCEE CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA. **CCEE lança guia rápido para migração ao Mercado Livre de energia.** Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/ccee-lanca-guia-rapido-para-migracao-ao-mercado-livre-de-energia>. Acesso em: 30 out. 2024.

CCEE CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA. **Migrações ao mercado livre de energia.** Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/migracoes-ao-mercado-livre-de-energia-concluidas-pela-ccee-em-2024-ja-superam-todo-o-ano-passado>. Acesso em: 27 set. 2024.

COPEL. **Tarifas de energia elétrica.** Disponível em: https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/#grupoA?utm_source=taxas-tarifas&utm_medium=grupoA&utm_campaign=menu-lateral. Acesso em: 18 out. 2024.

COPEL. **Tributos..** Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tributos/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024.

FOTUS. **Dimensionamento de módulos por string no inversor fotovoltaico. 14 abr. 2025.** Disponível em: <https://fotus.com.br/blog/dimensionamento-de-modulos-por-string-no-inversor-fotovoltaico/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

GARCIA, Matheus M. de Araújo. Mitigação de sobretensão causada pela geração fotovoltaica com técnicas controle Volt - VAR e Volt – Watt. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 5, Acesso em: 23 out. 2024.

LIMA, José F. Oliveira; IMPINNISI, Patrício Rodolfo. Estudo de viabilidade técnico-econômica para inserção de sistemas fotovoltaicos e armazenamento de energia em uma indústria brasileira. **Revista Foco**, Curitiba, v.17 n.6, p.01-27, jun 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/5462/3927>. Acesso em: 13 out 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n6-130.

METEOBLUE. **Arquivo meteorológico para Curitiba, Brasil**. 21 abr. 2025. Disponível em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/curitiba_brasil_3464975. Acesso em: 5 jun. 2025.

MINHA CASA SOLAR. **Inversor solar trifásico 20kW 220V com Wi-Fi e AFCI Growatt MID 20KTL3-X2-AFCI**. 21 abr. 2025. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/inversor-solar-trifasico-20kw-220v-3mppt-com-wifi-e-afci-growatt-mid-20ktl3-x2-afci-83451>. Acesso em: 5 jun. 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/portaria-do-mme-permite-que-consumidores-tenham-liberdade-de-escolha-e-melhores-precos>. Acesso em: 27 set. 2024.

MME MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Brasil**. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas?p_p_id=consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=2655047&detalharConsulta=true&entryId=2655049. Acesso em: 29 set. 2024.

NEOSOLAR. **Kit painel solar fotovoltaico 610W Sunova SS610-66-MDH**. [S. l.]: Neosolar, 21 abr. 2025. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/kit-painel-solar-fotovoltaico-610w-sunova-ss610-66-mdh-37.html>. Acesso em: 5 jun. 2025.

NEOSOLAR. **Tecnologia MPPT: o que é e como funciona**. [S. l.]: Neosolar, 21 maio 2025. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/microinversor/tecnologia-mppt-mlpe-otimizacao-inversor-solar>. Acesso em: 5 jun. 2025.

OLIVEIRA, Danilo Ramos de. **Análise da viabilidade econômica de consumidores de energia elétrica para o mercado livre**. 2019. 122 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/203159>. Acesso em: 05 mai. 2025.

ROCHA, Alexandro Vladno; CAMBOIM, Gabriel Chaves; DA ROCHA, Fabrícia Abrantes Figueiredos. **Análise dos impactos na viabilidade econômica com a vigência da lei 14.300/2022 em projetos de geração solar fotovoltaica: estudo de caso em consumidor do RN**. *Revista Empírica BR*, IFRN, v. 4, n. 1, p. 2-17, jul. 2024. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/EmpiricaBR/article/view/17319>. Acesso em: 13 out. 2024. DOI: 10.15628/empiricabr.2024.17319.

SEBRAE. **Como funciona o mercado livre de energia**. [S. l.], [2024?]. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/como-funciona-o-mercado-livre-de-energia>. Acesso em: 27 set. 2024.

SISQUINI, Matteus Souza Rossoni; SISQUINI, Caio Rossoni; SISQUINI, Geraldo Rossoni. **Custo médio de uma usina fotovoltaica no Brasil: análise e perspectivas**. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2024, [Local de realização – não informado]. Disponível

em:

https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/contecc%202024/ELE/CUSTO_M%C3%89DIO_DE_UMA_USINA_FOTOVOLTAICA_NO_BRASIL_AN%C3%81LISE_E_PERSPECTIVAS.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

MOLGARO, Robson Josué. **Introdução a energia solar fotovoltaica**. [Apresentação]. Slideshare, 2014. 61 slides. Disponível em: <https://image.slidesharecdn.com/introduoaenergiasolarfotovoltaica-140414092932-phpapp01/95/introduo-a-energia-solar-fotovoltaica-19-1024.jpg?cb=1397467864>. Acesso em: 22 out. 2024.

SOLFÁCIL. **Como calcular o número máximo de módulos por inversor**. [S. l.]: Solfácil, 21 abr. 2025. Disponível em: <https://blog.solfacil.com.br/energia-solar/como-calcular-numero-maximo-modulos-por-inversor/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

SOUZA, Gabriela Romana; DA PENHA, Roberto Silva. Viabilidade Econômica de um Projeto de Investimento de Energia Fotovoltaica. **Revista Fucamp**, Monte Carmelo, v. 8, n. 35, mai. 2020. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/2076>. Acesso em: 13 out. 2024.

TABENERGIA. **Mudanças trazidas pela Lei 14.300 para a energia solar**. Tabenergia. Disponível em: <https://blog.tabenergia.com.br/blog/mudancas-trazidas-pela-lei-14-300-para-a-energia-solar>. Acesso em: 22 out. 2024.

TUTIEMPO. **Radiação solar em Curitiba**. Disponível em: <https://pt.tutiempo.net/radiacao-solar/curitiba.html>. Acesso em: 5 jun. 2025.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2019.

WALVIS, Alida; GONÇALVES, Edson Daniel Lopes. **Avaliação das reformas recentes no setor elétrico brasileiro e sua relação com o desenvolvimento do mercado livre de energia**. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://ceri.fgv.br/publicacoes/avaliacao-das-reformas-recentes-no-setor-eletrico-brasileiro-e-sua-relacao-com-o>. Acesso em: 13 out. 2024.