

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BRUNO BET TIMOTEO

**PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA UMA ÁREA RURAL
EM SISTEMA COM BANCO DE BATERIAS: ANÁLISES DAS VIABILIDADES
TÉCNICA E ECONÔMICA**

**Alegrete
2022**

BRUNO BET TIMOTEO

**PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA UMA ÁREA RURAL
EM SISTEMA COM BANCO DE BATERIAS: ANÁLISES DAS VIABILIDADES
TÉCNICA E ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em elétrica.

Orientador: Fladimir Fernandes dos Santos

**Alegrete
2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

T895p Timoteo, Bruno Bet

Projeto de sistema fotovoltaico isolado para uma área rural em sistema com banco de baterias: análises das viabilidades técnica e econômica / Bruno Bet Timoteo.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2023.

"Orientação: Fladimir Fernandes dos Santos".

1. Energia Fotovoltaica. 2. Viabilidade Técnica. 3. Viabilidade Econômica.
I. Título.

BRUNO BET TIMOTEO

PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA UMA ÁREA RURAL EM SISTEMA COM BANCO DE BATERIAS: ANÁLISE DAS VIABILIDADES TÉCNICA E ECONÔMICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 18 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fladimir Fernandes

Orientador

UNIPAMPA

Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Carboni de Mello

UNIPAMPA

Prof. Dr. Guilherme Sebastião da Silva

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **FLADIMIR FERNANDES DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/01/2023, às 09:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ANA PAULA CARBONI DE MELLO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/01/2023, às 09:26, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GUILHERME SEBASTIAO DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/01/2023, às 13:04, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1028182** e o código CRC **29B954DB**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete
Av. Tiarajú, 810 – Bairro: Ibirapuitã – Alegrete – RS CEP: 97.546-550
Telefone: (55) 3422-8400

Agradecimento

Agradeço primeiramente a Deus que, sem Ele, nada seria possível.

Agradeço a minha família por todo o suporte e paciência que foi dado durante toda a minha caminhada até esse momento.

Agradeço a todos meus amigos que sempre me ajudaram e estavam dispostos de alguma forma a somar durante toda a graduação.

"Todos os deuses, céus e infernos estão dentro de você."
Hugo W.

Resumo

Com a crescente necessidade da utilização de energias renováveis no Brasil e no mundo, a utilização de sistemas fotovoltaicos para geração de energias residenciais tem aumentando gradativamente com o passar dos anos. Com o objetivo de demonstrar o impacto financeiro e técnico da utilização de energias fotovoltaicas no Brasil, esse trabalho aborda a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico para uma área rural, em um sistema com banco de bateria. Foi utilizada uma residência na cidade de Alegrete – RS, sendo do tipo classe B1 – monofásico 220V. A análise técnica engloba todos os cálculos para dimensionamento do sistema fotovoltaico, enquanto na análise de viabilidade econômica utilizou-se os seguintes cálculos para definir se o sistema era viável para implementação: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e o *Payback* Descontado. Conclui-se que o projeto apresentou resultados satisfatórios para todas as condições impostas, técnica e economicamente, definindo-se como viável a sua execução, visto que, pelo ponto de vista econômico, o VPL é maior que zero e a TIR é maior que a TMA.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos. Viabilidade Técnica. Viabilidade Econômica.

Abstract

With the growing need for the use of renewable energies in Brazil and in the world, the use of photovoltaic systems to generate residential energy is gradually increasing over the years. With the objective of demonstrating the financial and technical impact of the use of photovoltaic energies in Brazil, this work addresses the technical and economic feasibility of a photovoltaic system for a rural area in a system with a battery bank. A residence in the city of Alegrete - RS was used, being of the class B1 type - single phase 220V. The technical analysis encompasses all calculations for sizing the photovoltaic system, while the economic feasibility analysis used these calculations to define whether the system was viable for implementation, these calculations are: Net Present Value, Internal Rate of Return and Payback Discounted. The project presented positive results for all the conditions imposed to define viability.

Keywords: Photovoltaic Systems. Technical viability. Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema isolado para eletrificação.....	24
Figura 2 – Comunidade extrativista Dois Irmãos, Acre	37
Figura 3 – Bandeiras tarifárias vigentes nos últimos 7 anos no país.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Geração <i>versus</i> consumo mensal (sem banco de baterias)	49
Gráfico 2 – Geração <i>versus</i> consumo anual (sem banco de baterias).....	50
Gráfico 3 – Geração <i>versus</i> consumo mensal (com banco de baterias)	51
Gráfico 4 – Previsão gastos com energia próximos 25 anos.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Irradiância solar nas diferentes regiões do Brasil	22
Tabela 2 – Impacto médio de cinco categorias, energia, transmissão, distribuição, encargos e outros valores	41
Tabela 3 – Inflação média anual no Brasil nos últimos 10 anos.....	41
Tabela 4 – Projeção das bandeiras para o ano de 2022.....	42
Tabela 5 – Critérios de avaliação de viabilidade	43
Tabela 6 – Média de irradiação solar diária para a cidade de Alegrete para o ano de 2021	46
Tabela 7 – Histórico dos últimos 12 meses do consumidor	46
Tabela 8 – Equipamentos dentro do kit fotovoltaico.....	48
Tabela 9 – Média de consumo e geração do consumidor nos últimos 12 meses	48
Tabela 10 – Sugestão de utilização do banco de baterias considerando a capacidade mencionada.....	52
Tabela 11 – Impostos no cálculo do faturamento.....	53
Tabela 12 – Valores projetados para os próximos 25 anos	53
Tabela 13 – <i>Payback</i> sem banco de baterias.....	56
Tabela 14 – <i>Payback</i> com banco de baterias.....	56
Tabela 15 – Economia na conta de luz da residência anualmente	57
Tabela 16 – Valores de VPL e TIR para o projeto.....	57
Tabela 17 – Valores de VPL e TIR para o projeto sem o banco de baterias.....	58

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL – Associação Nacional de Energia Elétrica

ca – Corrente alternada

CB₂₀ – Capacidade do banco de bateria para o regime de descarga em 20 horas

cc – Corrente contínua

C_j – Custo no período *j*

C_m – Consumo médio mensal

COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social, instituída pela Lei Complementar 70 de 30/12/1991

C_t – Consumo total do sistema

D_m – Número médio de dias de utilização no mês

FC_t – Fluxo de caixa de cada

período tFV – Fotovoltaico

HSP – Número de Horas de Sol

HSP_i – Horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico no mês *i*

I₀ – Investimento inicial

i – Taxa mínima atrativa (TMA)

I_c – Corrente controlador

ICMS – Imposto sobre a circulação de mercadorias e serviços

I_m – Corrente do painel

fotovoltaico I_{med} – Irradiação

média

I_{sc} – Corrente curto circuito

L – Energia ativa necessária diariamente

L_{ca} – Quantidade de energia consumida diariamente em corrente alternada durante um mês

L_{cc} – Quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua durante um mês

L_i – Quantidade de energia consumida diariamente no mês *i*

L_m – Energia ativa máxima necessária diariamente

N – Número de dias em autonomia

η_{bat} – Eficiência da bateria

N_d – Número médio de horas diárias de utilização do equipamento

η_{inv} – Eficiência do

inversorPB – *Payback*

P_e – Potência nominal do equipamento (dado de placa ou manual)

PIS – Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público – PIS/PASEP) instituído pela Lei Complementar 07/1970

P_m – Potência painel fotovoltaico

Red_1 – Fator de redução (*derrating*) da potência dos módulos fotovoltaicos, em relação ao seu valor nominal

Red_2 – Fator de *derrating* de potência devido a perdas no sistema

R_j – Receita no período j

SFI – Sistema fotovoltaico

isoladoSFV – Sistema

fotovoltaico

t – Período analisado

TIR – Taxa Interna de Retorno

TUE – Custo por consumo de energia elétrica referente a tarifa de energia incluindo os impostos

TUSD – Custo por consumo de energia elétrica referente a tarifa de uso do sistema de distribuição incluindo os impostos

TMA – Taxa mínima atrativa

VI – Valor do investimento

V_{mpTmax} – Tensão de máxima potência

VR – Valor dos retornos

V_{sist} – Tensão do sistema

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados para projeto com banco de baterias	62
APÊNDICE B – Utilização dos equipamentos durante banco de baterias	63
APÊNDICE C – Cálculo do projeto com banco de baterias	64
APÊNDICE D – Fluxo de caixa para 25 anos.....	65
APÊNDICE E – Projeto fotovoltaico sem banco de baterias	66
APÊNDICE F – Consumo anual.....	67
APÊNDICE G – Fluxo de caixa para 25 anos	68
APÊNDICE H – Cálculo de viabilidade do projeto com banco de baterias.....	69
APÊNDICE I – Cálculo de viabilidade do projeto sem banco de baterias	70
APÊNDICE J – Resultados cálculos de viabilidade para projeto com banco de baterias	71
APÊNDICE K – Resultados cálculos de viabilidade para projeto sem banco de baterias	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Objetivo Geral	18
1.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Justificativa	19
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Energia fotovoltaica	20
2.2	Sistemas fotovoltaicos	20
2.2.1	Célula e módulo fotovoltaico.....	20
2.2.2	Inversores	21
2.2.3	Baterias	21
2.2.4	Controlador de carga	21
2.3	Fatores que influenciam na geração de energia fotovoltaica	22
2.3.1	Influência da irradiância solar e da temperatura	22
2.3.2	Ângulo de inclinação	23
2.4	Bandeiras tarifárias	23
2.5	Projeto de sistema fotovoltaico isolado.....	23
2.5.1	Dimensionamento preliminar	24
2.5.2	Dimensionamento da geração (painel fotovoltaico).....	26
2.5.3	Dimensionamento considerando controlador de carga convencional.....	27
2.5.4	Dimensionamento do banco de baterias.....	28
2.5.5	Dimensionamento do controlador de carga	30
2.5.6	Dimensionamento do inversor.....	30
2.6	Análise de viabilidade econômica de projetos de investimento	31
2.6.1	Fluxo de caixa.....	31
2.6.2	Taxa mínima atrativa.....	31

2.7 Métodos de análise de viabilidade econômica de projetos	32
2.7.1 Payback descontado	32
2.7.2 Valor Presente Líquido	33
2.7.3 Taxa interna de retorno	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 Caracterização da pesquisa	36
3.2 Etapas da pesquisa	36
3.2.1 Necessidade do mercado	36
3.2.2 Solução proposta	37
3.2.3 Primeira prova: Viabilidade Técnica	38
3.2.4 Segunda prova: Viabilidade Econômica	39
3.2.5 Critérios de avaliação da viabilidade econômica	43
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
4.1 Análise da viabilidade técnica do sistema fotovoltaico sem o banco de baterias	45
4.1.1 Localização	45
4.1.2 Potencial solar	45
4.1.3 Perfil do consumidor	46
4.1.4 Dimensionamento do sistema	47
4.2 Análise de viabilidade técnica com o banco de baterias	50
4.2.1 Características do banco de baterias	51
4.2.2 Aplicação do banco de baterias	52
4.3 Análise de viabilidade econômica do sistema proposto	53
4.3.1 Cálculo do faturamento	53
4.3.2 Fluxo de caixa do projeto sem o banco de baterias	54
4.3.3 Fluxo de caixa do projeto com o banco de baterias	55

4.3.4 Resultados com a aplicação das ferramentas de Engenharia Econômica	55
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A – Dados para projeto com banco de baterias	62
APÊNDICE B – Utilização dos equipamentos durante banco de baterias.....	63
APÊNDICE C – Cálculo do projeto com banco de baterias	64
APÊNDICE D – Fluxo de caixa para 25 anos.....	65
APÊNDICE E – Projeto fotovoltaico sem banco de baterias	66
APÊNDICE F – Consumo anual.....	67
APÊNDICE G – Fluxo de caixa para 25 anos.....	68
APÊNDICE H – Cálculo de viabilidade do projeto com banco de baterias.....	69
APÊNDICE I – Cálculo de viabilidade do projeto sem banco de baterias	70
APÊNDICE J – Resultados cálculos de viabilidade para projeto com banco de baterias	71
APÊNDICE K – Resultados cálculos de viabilidade para projeto sem banco de baterias	72

1 INTRODUÇÃO

O grande aumento de demanda causado pelo crescente aumento da população, além do crescente aumento na utilização de energia elétrica pela população mundial, ocasiona a necessidade de maior produção de energia no mundo. Pela constante agressão que os meios atuais de geração de energia causam no meio ambiente, faça com que novas tecnologias de geração de energia limpa sejam desenvolvidas, nesse projeto, será demonstrado a aplicação de um sistema solar.

Como dito em Villalva e Gazoli (2012), o método para obtenção de energia elétrica, através de raios solares, é a fotovoltaica, ou seja, quando ocorre formação de tensão ou corrente elétrica em um material semicondutor exposto a luz, gerando energia.

Com o avanço das tecnologias para geração de energia, novos parques de energias renováveis estão surgindo, exemplos como os parques eólicos no nordeste do Brasil, ou campos de energia solar nos EUA, sendo cada dia mais comuns. Grandes parques de geração de energia ajudam no desenvolvimento de tecnologias mais baratas para implementação de fontes renováveis de energia em residências ou locais de menor porte. Nesse trabalho é retratada uma zona rural, para mostrar as viabilidades técnica e econômica da implementação de placas fotovoltaicas neste tipo de localidade.

Um dos principais atrativos para implementação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, ocorreu pela PL 14300, da Associação Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esta resolução garante ao consumidor gerar a sua própria energia elétrica, a partir de fontes renováveis ou co-geração qualificada, e fornecer o excedente para a rede elétrica de distribuição, gerando créditos ao consumidor, que podem ser utilizados para descontar o valor da fatura de energia (ANEEL, 2012).

1.1 Objetivo Geral

Realizar análises de viabilidades técnica e econômica de sistema fotovoltaico para uma área rural, com sistema de banco de baterias.

1.2 Objetivos Específicos

- estabelecer um projeto fotovoltaico isolado para uma área rural com banco de baterias;
- analisar a viabilidade técnica do projeto;
- aplicar as ferramentas de análise de viabilidade econômica no projeto estabelecido.

1.3 Justificativa

Esta pesquisa se justifica por diferentes motivos, destacando-se os itens a seguir:

- O lado técnico do projeto, no qual visa a aplicação de conhecimentos de distintas áreas da engenharia elétrica, visando a solução de um problema proposto.
- Pelo ponto de vista econômico será possível demonstrar o retorno do investimento feito em um sistema fotovoltaico, além da análise de viabilidade do projeto proposto para uma área rural considerando um sistema com banco de baterias.
- Visando o meio ambiente, será possível analisar as possibilidades de instalação de um projeto fotovoltaico, com geração de energia elétrica renovável e limpa. Com a necessidade de evolução das energias limpas, é possível entender a importância deste referido projeto.

Pelo lado acadêmico, entende-se que o engenheiro eletricitista deve possuir conhecimento técnico para aplicar ferramentas para realizar, analisar e resolver um problema proposto em um projeto, com base nas componentes curriculares estudadas durante o curso de graduação. Nesse caso, com especificações técnicas e econômicas.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção aborda-se sobre energia fotovoltaica, seus componentes e são apresentadas as equações que serão utilizadas para obtenção dos futuros resultados.

2.1 Energia Fotovoltaica

A energia fotovoltaica, consiste em obtenção de tensão em terminais de um semicondutor, quando o mesmo está absorvendo luz solar. Esse efeito tem por finalidade captar as luzes solares, através de placas fotovoltaicas, a partir delas, produzir corrente elétrica, aonde serão processadas por equipamentos controladores e inversores, para serem conectadas à rede ou para baterias de armazenamento (VILLAVA; GAZOLI, 2012).

2.2 Sistemas fotovoltaicos

Nesta seção serão apresentados os componentes utilizados para montagem de um sistema fotovoltaico.

2.2.1 Célula e módulo fotovoltaico

Célula fotovoltaica é o elemento que converte energia luminosa (nesse caso solar), em energia elétrica devido ao efeito fotovoltaico. São produzidas de materiais semicondutores, pelo seu menor custo e melhor obtenção de luz, em sua maioria o semicondutor utilizado é o Silício (Si), podendo ser monocristalinos ou policristalinos. (FREITAS; HOLANDA, 2015).

O módulo fotovoltaico são células fotovoltaicas, as quais utilizam do efeito de captação luminosa para a produção de eletricidade. Uma célula fotovoltaica possui baixa tensão de saída e com o agrupamento de várias células, se obtém a tensão e a corrente de saída (CRESESB, 2006).

É possível obter duas configurações de módulos fotovoltaicos, em série e em paralelo. As configurações aplicam nos painéis fotovoltaicos a Lei de Ohms. A associação em série, tem como objetivo manter a corrente enquanto a tensão total dos módulos se soma, enquanto em paralelo, o objetivo é manter a tensão enquanto a corrente será o somatório da corrente dos módulos (CRESESB, 2006).

2.2.2 Inversores

A funcionalidade do inversor é converter a tensão e corrente contínua (cc) em tensão e corrente alternada (), assim transformando a energia cc. gerada nos painéis em energia. para o consumidor (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Para sistemas isolados após carregamento das baterias com tensão cc. o inversor transforma a energia das baterias em. para o consumidor (PINHO; GALDINO, 2014).

Após a conversão cc.-., o inversor transfere a energia para o quadro de distribuição do consumidor, alimentando assim as cargas (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Para o sistema isolado o dimensionamento precisa ser preciso, para que as baterias tenham condições de alimentar toda a carga do consumidor.

O inversor deve apresentar tensão cc. igual a do banco de baterias e tensão igual a necessidade da região atendida, seja ela 127V ou 220V (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.3 Baterias

Em sistemas fotovoltaicos isolados se faz necessário o uso de dispositivos de armazenamento de energia, para atender a demanda em períodos em que a geração de energia é nula ou insuficiente. Assim, parte da energia solar convertida em elétrica é armazenada em baterias para atender a demanda (PINHO; GALDINO, 2014).

Uma bateria é um conjunto de células conectados em série e paralelo, capazes de armazenar energia elétrica em forma química, quando descarregada, a energia sofre o processo inverso, criando assim uma corrente contínua (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.4 Controlador de carga

O controlador de carga é considerado indispensável na grande maioria de sistemas fotovoltaicos, sua utilização permite uma otimização do dimensionamento do banco de baterias e do seu carregamento, pois aumenta a proteção contra o aumento

excessivo de consumo, ou intervenção inadequada do consumidor (Ex manutenção sem *expertise*) (PINHO; GALDINO, 2014).

O controlador de carga deve desconectar o gerador fotovoltaico quando abastecer toda a bateria e interromper o fornecimento de energia quando a bateria atingir um nível mínimo de segurança (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3 Fatores que influenciam na geração de energia fotovoltaica

Neste tópico estão apresentados fatores que influenciam no desempenho do sistema fotovoltaico.

2.3.1 Influência da irradiância solar e da temperatura

Irradiância é a quantidade de radiação emitida pelo sol dentro de um determinado período de tempo, com o seu aumento, maior será a corrente elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos. Mesmo com a irradiância dependendo do horário, clima e época do ano, os módulos são colocados em posição fixa, visando o maior rendimento, mesmo com a variação da luminosidade (VILAVA, GAZOLI, 2012).

De acordo com a temperatura ambiente, as células fotovoltaicas têm alteração na sua tensão, quanto mais quente maior será a corrente de curto circuito, e a tensão diminuirá, assim menor potência será entregue pelo módulo fotovoltaico (CRESESB, 2006).

Cada região do Brasil tem uma irradiância solar diferente, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Irradiância solar nas diferentes regiões do Brasil

Região	Irradiância média (W/m²)
Norte	4825
Nordeste	5483
Centro-Oeste	5082
Sudeste	4951
Sul	4444
Médio	5153

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2017)

2.3.2 Ângulo de inclinação

Como já explicitado anteriormente, de forma geral sistemas fotovoltaicos, tem sua angulação fixa, optando pelo ponto de máxima captação de raios solares. Para isso foram determinados dois critérios expostos em Vilava e Gazoli, (2012), os mesmos estão demonstrados na sequência:

- Orientar o módulo para o norte geográfico, para a média diária de energia ser maximizada.
- Adequar o ângulo em relação ao solo de forma ajustada, adequando à latitude do local de instalação do sistema.

2.4 Bandeiras tarifárias

A resolução Normativa 547/13 da ANEEL, o sistema de bandeiras tarifárias foi implementado no Brasil. As cores das bandeiras tarifárias definem se o custo da energia aumentará ou diminuirá (ANEEL, 2016). Pela ANEEL (2016) as bandeiras são:

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,01343 para cada kWh consumidos;
- **Bandeira vermelha – Patamar 1:** condições mais custosas de geração. Acréscimo de R\$ 0,04169 para cada kWh consumidos;
- **Bandeira vermelha – Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. Acréscimo de R\$ 0,06243 para cada kWh consumido.

2.5 Projeto de sistema fotovoltaico isolado

Os sistemas isolados são comumente utilizados em locais remotos, como áreas rurais afastadas, ou locais não atendidos por rede elétrica. Assim, a rede configura-se unicamente pelo sistema fotovoltaico, utilizando baterias para armazenamento de energia (VILLAVA; GAZOLI, 2012).

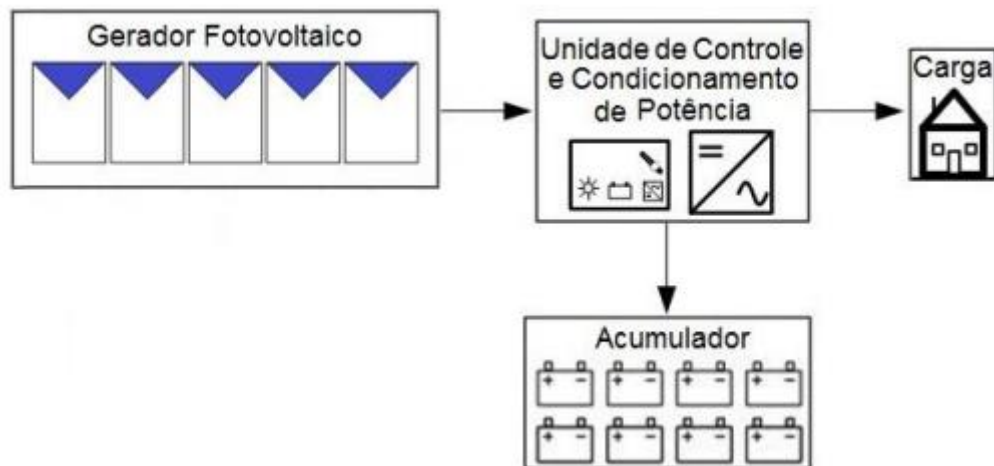
Os sistemas fotovoltaicos isolados foram regulamentados inicialmente pela Resolução ANEEL N° 83/2004, a qual teve um papel importante no aumento da implementação dos sistemas fotovoltaicos nos programas de eletrificação rural no país (PINHO; GALDINO, 2014).

Por meio do projeto do sistema fotovoltaico (SFV) pretende-se adequar o gerador fotovoltaico às necessidades de demanda exigidas pelo consumidor. Para implementação do SFV alguns fatores são envolvidos como, orientação dos módulos, disponibilidade da área, estética, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida entre outros fatores (PINHO; GALDINO, 2014).

Para implementação de um SFV são necessários os seguintes blocos, conforme ilustrado na Figura 1 (PINHO; GALDINO, 2014):

- geração;
- equipamentos de controle;
- consumidor (demanda);
- armazenamento (exclusivo para sistemas isolados).

Figura 1 – Sistema isolado para eletrificação



Fonte: Pinho e Galdino (2014, p. 256)

2.5.1 Dimensionamento preliminar

O dimensionamento preliminar é a captação de dados e realização de cálculos para encontrar a potência que será utilizada no sistema. Para isso são necessários os seguintes dados (PINHO; GALDINO, 2014):

- localização;

- irradiação solar global incidente;
- escolha da configuração;
- demanda e consumo de energia elétrica;
- estimativa de curva de carga;
- disponibilidade de implementação do sistema (telhado ou em terra).

Para dimensionamento do sistema é necessário saber o “Número de Horas de Sol Pleno”, o qual trata-se do número de horas que a irradiância solar é igual a 1 KW/m², conforme Equação 1 (PINHO; GALDINO, 2014):

$$HSP = \frac{I_{med}}{1 \text{ kW/m}^2} \quad \dots (1)$$

Onde:

- HSP: Número de Horas de Sol;
- I_{med}: Irradiação média

Após ter conhecimento das horas de sol, é feito o levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica, com essas informações entender que o sistema a ser dimensionamento precisa gerar mais energia elétrica do que o limite estabelecido para consumo (PINHO; GALDINO, 2014).

Para calcular o consumo médio de energia é utilizada a Equação 2 (PINHO; GALDINO, 2014):

$$C_m = \frac{P_e * N_d * D_m}{1000} \quad \dots (2)$$

Onde:

- C_m(KWh/mês) - Consumo médio mensal;
- P_e (W) - Potência nominal do equipamento (dado de placa ou manual);
- N_d (h/dia) - Número médio de horas diárias de utilização do equipamento;
- D_m (dias/mês) - Número médio de dias de utilização no mês.

Alguns equipamentos não consomem energia elétrica continuamente, então o cálculo acima, não se aplica para esses equipamentos. Neste caso, é necessário

validar com o fabricante do equipamento ou fazer um ensaio para adequação dos dados (PINHO; GALDINO, 2014).

Como o sistema de energia proposto no trabalho, é um sistema fotovoltaico isolado, o armazenamento de energia elétrica deve atender o consumo mesmo no tempo que não há geração. O armazenamento serve para equilibrar o fluxo de energia, fazendo com que o sistema suporte os picos de demanda e de geração (PINHO; GALDINO, 2014).

Com os valores obtidos no consumo médio mensal, é feito o levantamento de carga do sistema, que é a soma do consumo de todos os equipamentos, para assim ser feito o dimensionamento do sistema fotovoltaico isolado (SFI), pela Equação 3 (VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R., 2012):

$$C_t = \sum C_m \dots (3)$$

Onde:

- C_t - Consumo total do sistema
- C_m - Consumo médio mensal

2.5.2 Dimensionamento da geração (painel fotovoltaico)

Para calcular a energia ativa necessária diariamente (L) é levado em conta o tipo de carga que existe no sistema, seja ela em corrente alternada ou corrente contínua, além da eficiência dos equipamentos de potência e os de armazenamento. (PINHO; GALDINO, 2014). A Equação 4 demonstra como realizar tal cálculo.

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} + \frac{L_{ca}}{\eta_{bat} * \eta_{inv}} \dots (4)$$

Onde:

- L - Energia ativa necessária diariamente;
- L_{cc} (Wh/dia) - Quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua durante um mês;
- L_{ca} (Wh/dia) - Quantidade de energia consumida diariamente em corrente alternada durante um mês;

- η_{bat} (%) - Eficiência da bateria;
- η_{inv} (%) - Eficiência do inversor.

Importante ressaltar que os valores de eficiência são definidos no manual ou placa de cada equipamento. Cabe dizer que, após calcular a energia ativa necessária, é calculada a potência necessária para o painel fotovoltaico, que é obtida pela Equação 5:

$$P_m = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{L_i}{HSP_i * Red_1} \right) \dots (5)$$

Onde:

- P_m (Wp) - Potência painel fotovoltaico;
- L_i (Wh/dia) - Quantidade de energia consumida diariamente no mês i ;
- HSP_i (h/dia) - Horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico no mês i ;
- Red_1 (%) - Fator de redução (*derrating*) da potência dos módulos fotovoltaicos, em relação ao seu valor nominal;

2.5.3 Dimensionamento considerando controlador de carga convencional

Para o dimensionamento do trabalho será considerado um controlador de carga convencional, onde, com a Equação 6, determina-se o número de módulos fotovoltaicos em série. O coeficiente 1.2 é utilizado para carregar uma bateria com tensão 20% acima da nominal, além de considerar as perdas do sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N^{\circ} \text{ módulo_série} = \frac{V_{sist} * 1000}{V_{mpTmax}} \dots (6)$$

Onde:

- V_{sist} (V) - Tensão do sistema;
- V_{mpTmax} (V) - Tensão de máxima potência.

É importante ressaltar, que o valor obtido na equação (6), deve ser arredondado para cima (caso a conta de 10.4, utilizar 11), respeitando a tensão máxima de entrada. Caso o arredondamento seja muito alto (acima de 0,5), recomenda-se utilizar outro gerador fotovoltaico, para que não haja sobredimensionamento do sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

A partir da equação (4), que encontra a potência dos painéis fotovoltaicos, encontra-se a corrente gerada por eles, com a Equação 7 (PINHO; GALDINO, 2014)

$$I_m = \frac{P_m}{V_{sist}} \dots (7)$$

Onde:

- I_m (A) - Corrente do painel fotovoltaico.

Com os valores obtidos na equação (6), é possível calcular o número de módulos a serem conectados em paralelo, pela Equação 8 (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N^{\circ}_{\text{módulos_paralelo}} = \frac{I_m}{I_{mp}} \dots (8)$$

Onde:

- I_{mp} (A) - Corrente de cada módulo no ponto de máxima potência.

Assim como para os módulos em série, utilizar arredondamento para cima, utilizando as mesmas condições citadas anteriormente, para evitar o sobredimensionamento (PINHO; GALDINO, 2014).

2.5.4 Dimensionamento do banco de baterias

Com a Equação (4) que é a energia solicitada pelas cargas diariamente, escolhe-se o maior valor encontrado dentro dos doze meses do ano, para o cálculo do sistema de acumulação, a equação 9, demonstra como encontrar a capacidade do banco de baterias para um regime de descarga em 20 horas, a eficiência global das baterias, foi considerada na Equação 9 (PINHO; GALDINO, 2014)

$$CB_{20} = \frac{L_m * N}{P_d} \dots (9)$$

Onde:

- CB_{20} (Wh) - Capacidade do banco de bateria para o regime de descarga em 20 horas;
- L_m - Energia ativa máxima necessária diariamente;
- N - Número de dias em autonomia, geralmente entre 2 e 4, não podendo ser menor que 2;
- P_d - Máxima profundidade de descarga de bateria.

A Equação 10 é utilizada para achar a corrente (Ah) das baterias (PINHO; GALDINO, 2014):

$$CBI_{20} = \frac{CB_{20}}{V_{sist}} \quad \dots (10)$$

Como explicado em Pinho e Galdino (2014), na medida que há maior disponibilidade de radiação solar em dado local, estabelece-se um número menor de dias de autonomia, N . Em regiões com longos períodos de chuva, o valor N é maior.

Em catálogos de baterias os fabricantes não apresentam a capacidade CB_{20} , mas em regime CB_{10} ou CB_{100} , então, deve ser feito um cálculo para conversão desses valores (PINHO; GALDINO, 2014), como nas Equações 11 e 12.

$$CB_{20} = 1,1 CB_{10} \quad \dots (11)$$

$$CB_{20} = 0,9 CB_{100} \quad \dots (12).$$

Após saber a capacidade do sistema de acumulação é feito o cálculo para o número de baterias em paralelo com a Equação 13.

$$N^{\circ}_{\text{Baterias_paralelo}} = \frac{CBI}{CBI_{\text{Bat}}} \quad \dots (13)$$

Para encontrar o correto número de placas é necessário utilizar o mesmo regime de horas que utilizado nos outros cálculos, além de utilizar o mesmo critério de arredondamento que é utilizado para encontrar o número de módulos (PINHO; GALDINO, 2014).

Para encontrar o número de baterias em série, com a Equação 14, é utilizada a tensão nominal do sistema e a tensão pré-definidas das baterias (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N^{\circ}_{\text{Baterias_série}} = \frac{V_{\text{Sist}}}{V_{\text{Bat}}} \dots (14)$$

2.5.5 Dimensionamento do controlador de carga

O diferencial de um sistema isolado é sua autonomia, por causa do seu banco de baterias, que garante o fornecimento de energia elétrica em períodos sem sol, seja noite ou dias nublados. Por conta disso é necessário um controlador de carga, que controla a tensão de entrada evitando sobrecargas do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Para o dimensionamento da corrente máxima do controlador de carga, com a Equação 15, é considerada a corrente de curto circuito do painel fotovoltaico (I_{sc}), com acréscimo de 25%, um valor de segurança para possíveis picos de irradiância (PINHO; GALDINO, 2014).

$$I_c = 1,25 * I_{sc} * N^{\circ}_{\text{módulos_paralelo}} \dots (15)$$

A máxima tensão de operação do controlador de carga precisa sempre, ser maior do que a tensão máxima de saída do painel fotovoltaico, caso contrário, o sistema sofrerá uma sobretensão podendo queimar (PINHO; GALDINO, 2014).

2.5.6 Dimensionamento do inversor

Após determinação do controlador de carga, é possível determinar a potência do inversor, pois a mesma tem que ser igual ou superior a do controlador. Para definir tal potência é necessário também definir a curva de carga do sistema, ou seja, definir quando os equipamentos estarão em funcionamento (PINHO; GALDINO, 2014).

O inversor deve apresentar tensão C.C. igual à do banco de baterias e tensão C.A. igual a necessária na região de implementação do sistema (PINHO; GALDINO, 2014).

2.6 Análise de viabilidade econômica de projetos de investimentos

Em relação ao desempenho de investimentos, é cabível a medição em termos monetários. Para tanto, são aplicadas técnicas de engenharia econômica, pautadas em matemática financeira. Nesse sentido, tem-se a descrição de relações entre tempo e dinheiro (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2020).

Vale destacar que inicialmente é feita uma análise dos fluxos de caixa, para a partir desse ponto ser feita uma avaliação dos possíveis resultados dos projetos de investimentos (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2020).

2.6.1 Fluxo de caixa

Ao realizar a aplicação do fluxo de caixa em um projeto, são inseridos dados do tempo de operação em três formas: dias, meses ou anos, através de uma escala horizontal, que restarão demonstradas as movimentações financeiras, assim dizendo, o fluxo de caixa (CARVALHO, 2011).

Tem-se por conceito de fluxo de caixa uma série de movimentações financeiras que acontecem ao longo do tempo que são representadas através de gráficos. Dessa forma, é possível constatar todos os problemas que envolvem tempo e dinheiro por meio de uma visualização gráfica simplificada (CARVALHO, 2011).

2.6.2 Taxa mínima atrativa

A taxa mínima atrativa (TMA) representa o ganho mínimo previsto em um projeto, ou seja, é a partir dela que se verifica como será o retorno financeiro durante o investimento em um projeto. É através dela, também, que será percebida a viabilidade econômica do projeto aos olhos do investidor (consumidor) (SILVA,2018).

Desse modo, pode-se perceber que, a taxa mínima atrativa demonstrará qual é a taxa mínima (lucro) que se espera com os rendimentos obtidos no investimento de um projeto (SILVA,2018).

2.7 Métodos de análise de viabilidade econômica de projetos

Dentre alguns métodos utilizados para analisar a viabilidade econômica dos projetos, existe o método *Payback*. Sendo ele dividido em dois tipos: *Payback* Simples e *Payback* Descontado (SILVA, 2018). Somente o *Payback* Descontado será apresentado detalhadamente nos tópicos seguintes, porém, para inicial compreensão, vale frisar que este método representa qual será o prazo máximo que o capital investido terá para se recuperar considerando o valor do dinheiro no tempo (SILVA, 2018).

Outro método a ser apresentado é Valor Presente Líquido (VPL), sendo um dos mais conhecidos para as análises de viabilidade nos projetos de investimento.

E, por último, o método da Taxa Interna de Retorno (TIR), cujo cálculo se dará através de uma taxa de desconto que reduz a zero o VPL de um determinado projeto, levando em consideração alguns valores obtidos nas equações que serão demonstradas (SILVA, 2018).

2.7.1 *Payback* Descontado

Segundo Silva (2018), o *Payback* Descontado leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, isto é, a aplicação de juros compostos através de uma fórmula, que possibilita a visualização de valores futuros e atualizados, trazendo como vantagem a inclusão dos fluxos de caixa a longo prazo, já que esses valores futuros terão como base a data zero na TMA.

A Equação 16 demonstra a maneira que deve ser realizada para o cálculo do *Payback* Descontado (SILVA, 2018):

$$FCC_{(t)} = \sum \frac{(R_j - C_j)}{(1 + i)^j} - I_0 \quad \dots (16)$$

Onde:

- $FCC_{(t)}$ - Fluxo de caixa descontado ao valor presente acumulado no período t;
- I_0 - Investimento inicial;
- R_j - Receita no período j;
- C_j - Custo no período j;

- i - Taxa mínima atrativa (TMA);
- t - Período analisado.

O cálculo do *Payback* Descontado é o valor do dinheiro no tempo, com suas devidas correções. A vantagem desse método é a inclusão de fluxos de caixas longínquos, considerando valores futuros que são atualizados para a data inicial com na TMA (LEMES JÚNIOR; CHEROBIM; RIGO, 2010).

Quanto menor o período de *Payback*, menos risco terá o projeto, ou seja, para ser aceito esse método o período de *Payback* deve ser menor que o período estipulado para recuperação do investimento (BRIGHAM, 2001).

2.7.2 Valor Presente Líquido

Como já exposto, o Valor Presente Líquido (VPL) é um dos métodos mais conhecidos para a realização de análise da viabilidade econômica de um projeto de investimento. Ao contrário do *Payback* Descontado que insere o valor total atualizados (juros compostos), com o VPL é possível visualizar o verdadeiro valor do dinheiro no tempo, para isso serão necessários alguns ajustes, sem levar em consideração as taxas de juros (CARVALHO, 2011).

Conforme entendimento de Carvalho (2011), com esse método é possível calcular o ganho real do investimento, já que ele leva em consideração a valorização do capital no decurso do tempo, e não apenas uma simples comparação com o retorno que se espera.

Para chegar ao valor real do investimento, o cálculo utilizado consiste em utilizar a TMA para trazê-las à data zero, isso será feito através do desconto de todas as parcelas de recebimentos e pagamentos existentes no fluxo de caixa do investimento, em outras palavras, é realizar o cálculo do valor presente de todas as entradas e saídas do fluxo de caixa somando ao valor presente do investimento inicial (CARVALHO, 2011).

O VPL é calculado conforme Equação 17:

$$\text{VPL} = \sum_{t=1}^n \frac{(\text{FC}_t)}{(1 + \text{TMA})^t} - \text{I}_0 \quad \dots (17)$$

Onde:

- FC_t - Fluxo de caixa de cada período t ;
- TMA - Taxa mínima de atratividade.

Para saber da viabilidade econômica do investimento, é necessário verificar três situações: Se o VPL for positivo, o investimento será economicamente viável, caso o VPL seja negativo, o investimento será economicamente inviável. No caso do VPL calculado for igual a zero, não haverá lucros nem perdas no projeto, portanto, é indiferente que se faça o investimento (CARVALHO, 2011).

2.7.3 Taxa interna de retorno

Por fim, pelo método de análise de viabilidade de projetos de investimentos Taxa Interna de Retorno (TIR), será possível visualizar a taxa de retorno obtida em um ano, após receber as entradas de caixa que são inseridas no início do investimento. Para calcular a TIR, é necessário encontrar a taxa de desconto que reduz à zero o VPL de um projeto de investimento, já que o valor presente das entradas de caixa será igualado ao investimento inicial (GITMAN, 2010). Conforme a Equação 18, ao igualar VPL a zero, é obtido o TIR.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{\text{FC}_t}{(1 + \text{TIR})^t} - \text{I}_0 \quad \dots (18)$$

Onde:

- FC_t - Fluxo de caixa de cada período t ;
- TIR - Taxa Interna de Retorno;
- t = Período atual analisado;
- n : Período de horizonte do projeto;
- I_0 : Investimento inicial do projeto.

Em questão de aprovação, ou não, de um projeto, é preciso levar em conta a seguinte questão: a TIR, ao seu comparada com a TMA, se for maior, o projeto é atrativo e viável. Caso a TIR seja menor que a TMA, indica que o projeto pode não ser interessante. Já em situações cujo cálculo seja da TIR igual ao resultado da TMA, a viabilidade do projeto se torna indiferente (GITMAN,2010).

3 METODOLOGIA

Neste tópico constam os procedimentos metodológicos aplicados nas análises técnica e econômica de um sistema fotovoltaico, para ser instalado na região oeste do Rio Grande do Sul, considerando a demanda de uma unidade consumidora em área rural e com banco de baterias.

3.1 Caracterização da pesquisa

Para desenvolvimento da pesquisa foi realizado um estudo bibliográfico e exploratório, para encontrar os primeiros pontos de partida e desenvolvimento do trabalho. Como explorado por Fonseca (2002), na avaliação e seleção de projetos de investimento, a engenharia econômica analisa os aspectos financeiros utilizando critérios quantitativos. Dessa forma, essa pesquisa é caracterizada como quantitativa, assim, ressaltando a objetividade e realidade, durante a análise dos dados.

3.2 Etapas da pesquisa

Essa pesquisa foi realizada considerando, conforme Buarque (1984), a participação da engenharia em todas as decisões, por meio de duas provas para comprovação: a primeira que engloba a viabilidade técnica do projeto e a segunda prova, que considera a análise de viabilidade econômica do projeto fotovoltaico.

3.2.1 Necessidade do mercado

Pela necessidade do mercado de redução nos valores para implementação de sistemas fotovoltaicos, o desenvolvimento de novas tecnologias faz com que os valores de módulos e células fotovoltaicas diminuam, além da diminuição do valor dos inversores com o decorrer dos anos.

Com a alta no preço da energia elétrica, novas alternativas para redução nos gastos do consumidor são necessárias para que, mesmo com a mudança das bandeiras tarifárias, apresentadas na seção 2.4 deste trabalho, seja possível utilizar de toda a potência necessária para a residência, sem alto custo, assim, com a

implementação de sistema fotovoltaico o gasto mensal pode ser equilibrado durante o ano.

Como muitas residências ficam em áreas rurais afastadas de centros urbanos, elas sofrem com problemas de manutenção corretiva da rede elétrica, que podem ser causadas por temporais ou ventanias, entre outras possíveis causas naturais. Com a demora da correção dos problemas, o SFV pode suprir a necessidade de energia, mesmo com demora na manutenção (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 2 representa uma residência em área isolada no Acre.

Figura 2 – Comunidade extrativista Dois Irmãos, Acre



Fonte: Eletrobras (2010, não paginado)

Com base na Figura 2 pode-se dizer que, locais afastados sofrem também com uma maior instabilidade da rede, pela grande distância dos centros urbanos, pois existem impactos dos diversos problemas em redes de distribuição, podendo, assim, ficarem por grandes períodos sem energia elétrica. Com um SFV suprimindo a necessidade de energia, nesses períodos, a qualidade de vida poderá ser melhor, por sofrer menos com os impactos da rede.

3.2.2 Solução proposta

A solução proposta leva em conta um projeto de sistema fotovoltaico isolado para uma área rural, com banco de baterias, considerando a demanda de um consumidor. A proposta busca saber quão atrativa econômica e tecnicamente se torna o projeto, examinando todas as condições dispostas nas próximas duas seções.

3.2.3 Primeira Prova: Viabilidade Técnica

Para determinar se o projeto é viável, a primeira prova comprova se é factível a realização em termos técnicos, nas quais envolvem os cálculos para dimensionamento de um projeto fotovoltaico com banco de baterias. Como citado no capítulo 2, os passos seguidos para a determinação da viabilidade técnica foram:

- **Localização** – determinou-se o local da instalação dos SFV e, assim, obteve-se os dados de latitude e longitude e o tipo de telhado;
- **Média de consumo mensal** – a partir de um modelo de fatura de energia verificou-se o histórico dos últimos meses de consumo e o tipo de fornecimento, obtendo-se a média de consumo mensal, utilizando a Equação 2;
- **Média de irradiação solar** – Utilizando a ferramenta *SunData*, no site do CRESESB, foi obtido a irradiação média mensal, considerando a latitude da localidade;
- **Média de HSP** – utilizou-se a Equação 1 para obter a média de horas de sol pleno para cada localidade;
- **Energia** - A energia ativa do sistema foi calculada utilizando a Equação 4
- **PFV** - utilizou-se a Equação 5 para obter a potência necessária.
- **Número de módulos** – Para considerar o número de módulos de potência utilizou-se a Equação 6, considerando a potência de pico sobre os mesmos;
- **Kit Fotovoltaico** – Após determinação dos parâmetros citados, buscou-se um kit fotovoltaico composto por módulos, inversor, banco de baterias e controlador de carga. Para definir o número de módulos fotovoltaicos foi utilizada a equação 8, para o controlador de carga foi utilizada a equação 15, assim, determinando o inversor a ser utilizado. A seção 2.5.4 foi utilizada para definir o banco de baterias a ser utilizado, além de considerar a opção comercial mais viável junto à uma empresa prestadora de serviços da área fotovoltaica.

A viabilidade do projeto foi comprovada determinando a energia gerada mensalmente por 1 módulo fotovoltaico e o valor da energia, foi multiplicado pelo

número total de módulos do sistema fotovoltaico, para determinar a energia total do sistema.

3.2.4. Segunda prova: Viabilidade Econômica

Para determinar se o projeto é viável, além da análise de viabilidade técnica, foi necessária a análise de viabilidade econômica do projeto. Para tal determinação foi utilizado o *software Excel* para apresentar valores de consumo e geração, de custos de energia, bem como os demais cálculos para análise de viabilidade econômica. Para isso, foram considerados os seguintes parâmetros da concessionária:

- **Tarifa Convencional** – foi considerado os valores atuais da TE e TUSD sem impostos;
- **Tributos** – considerou-se os tributos que compõe a tarifa de energia (PIS, COFINS e ICMS);
- **Bandeira Tarifária** – considerou-se uma projeção de bandeira tarifária e aplicou-se ao longo dos 25 anos (tempo definido pela literatura como ideal para projeção de viabilidade);
- **Reajuste Tarifário Anual** – Considerando o reajuste médio dos últimos 5 anos, foi definido o reajuste anual futuro, aplicado a TE e TUSD, a partir do segundo ano de análise;
- **Reajuste das Bandeiras Tarifárias** – Considerando a média da inflação dos últimos 10 anos, foi determinado o reajuste das bandeiras tarifárias fundamentado em *Inflation (2021)*
- **Projeção das Cores das Bandeiras Tarifárias** – Foi feita uma projeção a partir das bandeiras vigentes nos últimos 5 anos no país.

A equação (19) apresenta a média da energia de compensação diária para uma residência com baixa tensão.

$$ECD = \frac{C_{mm} - Disp}{30} \dots (19)$$

Onde:

- ECD - Energia de Compensação diária;

- C_{mm} - Consumo médio mensal
- Disp - Disponibilidade

Para o cálculo do faturamento foram definidos três pontos principais, TUSD, TE e a bandeira tarifária. Dentro do valor dessas tarifas estão incluídos os seguintes impostos: PIS, CONFINS e ICMS, sendo que todos esses valores podem ser conferidos nas tarifas mensais.

Onde:

- **TUSD** – Custo por consumo de energia elétrica referente a tarifa de uso do sistema de distribuição incluindo os impostos;
- **TE** – Custo por consumo de energia elétrica referente a tarifa de energia incluindo os impostos;
- **PIS** – Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público –PIS/PASEP) instituído pela Lei Complementar 07/1970.
- **CONFINS** – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social, instituída pela Lei Complementar 70 de 30/12/1991;
- **ICMS** – Imposto sobre a circulação de mercadorias e serviços.
- **Bandeira tarifária** – Custo por consumo de energia elétrica da bandeira tarifária vigente incluindo os impostos.

O cálculo para definição do valor de TUSD, TE e da bandeira tarifária, estão apresentados nas equações (19, 20 e 21).

$$TUSD_{cons}(R\$ / KWh) = \frac{TUSD_{(homol.)}}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad \dots (19)$$

$$TE_{cons}(R\$ / KWh) = \frac{TE_{(homol.)}}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad \dots (20)$$

$$Bandeira(R\$ / KWh) = \frac{Bandeira_{vig.}}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad \dots (21)$$

O valor final da fatura do consumidor será o resultado da equação (24).

$$Fatura_{cons} = TUSD_{cons} + TE_{cons} + Bandeira \quad \dots(24)$$

Anualmente o valor das tarifas de energia elétrica (TE e TUSD) é corrigido, pela soma do impacto médio de cinco categorias, energia, transmissão, distribuição, encargos e outros valores não detalhados pela ANEEL. O reajuste para o ano de 2022 e 2021, utilizando como base os valores de impacto médio do ano anterior, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Impacto médio das cinco categorias

	2021	2020
Energia	0,15%	1,89%
Transmissão	1,08%	1,22%
Distribuição	8,09%	1,98%
Encargos	5,09%	0,13%
Outros	-5,32%	0,00%
Reajuste médio	9,09%	5,22%

Fonte: Adaptado de ANEEL 2022

A inflação foi utilizada para determinar a correção do valor anual de manutenção do sistema e o valor do inversor a ser trocado após 15 anos. Para definir o valor da inflação foi utilizada a média inflacionária no Brasil, nos últimos 10 anos, a inflação média foi de 6,07% os dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Inflação média anual no Brasil nos últimos 10 anos.

Ano	Inflação
IPC Brasil 2021	10,06%
IPC Brasil 2020	4,52%
IPC Brasil 2019	4,31%
IPC Brasil 2018	3,75%
IPC Brasil 2017	2,95%
IPC Brasil 2016	6,29%
IPC Brasil 2015	10,67%
IPC Brasil 2014	6,41%
IPC Brasil 2013	5,91%
IPC Brasil 2012	5,84%
Média	6,07%

Fonte: Adaptado Inflation (2022)

A Figura 3 mostra as bandeiras tarifárias vigentes nos últimos 7 anos no país, nas quais foram utilizadas como referência nos cálculos dos custos das tarifas de energia.

Figura 3 – Bandeiras tarifárias vigentes nos últimos 7 anos no país

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Janeiro	Vermelha I	Vermelha I	Verde	Verde	Verde	Amarela	Amarela
Fevereiro	Vermelha I	Vermelha I	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarela
Março	Vermelha II	Amarela	Amarela	Verde	Verde	Verde	Amarela
Abril	Vermelha II	Verde	Vermelha I	Verde	Verde	Verde	Amarela
Mai	Vermelha II	Verde	Vermelha I	Amarela	Amarela	Verde	Vermelha I
Junho	Vermelha II	Verde	Verde	Vermelha II	Verde	Verde	Vermelha II
Julho	Vermelha II	Verde	Amarela	Vermelha II	Amarela	Verde	Vermelha II
Agosto	Vermelha II	Verde	Vermelha I	Vermelha II	Vermelha I	Verde	Vermelha II
Setembro	Vermelha II	Verde	Amarela	Vermelha II	Vermelha I	Verde	Escassez Hídrica
Outubro	Vermelha II	Verde	Vermelha II	Vermelha II	Amarela	Verde	Escassez Hídrica
Novembro	Vermelha II	Amarela	Vermelha II	Amarela	Vermelha I	Verde	Escassez Hídrica
Dezembro	Vermelha II	Verde	Vermelha I	Verde	Amarela	Vermelha II	Escassez Hídrica

→ Bandeira verde em função da Conta Covid -19

Fonte: Solstício Energia

Com base na Figura 3 foi possível projetar a bandeira tarifária para o ano de 2022 utilizando os critérios abaixo:

- Bandeira tarifária que mais repetiu-se nos últimos 4 anos;
- A bandeira verde, durante o período da Covid-19 obteve menos peso no desempate;
- O nível de escassez histórica foi considerado como Vermelha 2 para desempate.

A Tabela 4 representa a projeção das bandeiras para o ano de 2022.

Tabela 4 – Projeção das bandeiras tarifárias para 2022

Mês	2022
jan	Amarela
fev	Verde
mar	Verde
abr	Verde
mai	Amarela
jun	Amarela
jul	Vermelha 2
ago	Vermelha 2
set	Vermelha 2
out	Vermelha 2
nov	Amarela
dez	Vermelha 2

Fonte: O autor

Cabe dizer que, no delineamento do fluxo de caixa, foram consideradas como entradas de caixa os valores que não serão mais pagos para a concessionária fornecedora de energia elétrica, visto que, com a instalação do SFV, o consumidor

diminuirá seus pagamentos de energia elétrica para a concessionária local. Além disso, levou-se em conta os seguintes parâmetros de saída de caixa:

- **Investimento Inicial** – Custo do projeto e instalação do sistema com seus equipamentos;
- **Manutenção Anual** – Custo referente a manutenção anual, estimado em 1% do valor do investimento inicial (EPE, 2012);
- **Substituição do Inversor** – Por EPE (2015) é necessária a substituição do inversor a cada 15 anos, considerando o modo correto de utilização e dimensionamento;

Foi considerado o fluxo de caixa do projeto para um período de 25 anos, aplicando-se os seguintes métodos de análise de viabilidade econômica:

- **Payback Descontado** – Através da Equação 16;
- **VPL** – Valor presente líquido, através da Equação 17;
- **TIR** – Taxa interna de retorno, através da Equação 18;

Cabe destacar que os cálculos foram efetuados com auxílio do Excel, no qual já contém as funções financeiras de VPL e TIR considerando as equações supracitadas. No caso do cálculo do *Payback* Descontado foi feita a inserção da equação pelo autor deste trabalho na planilha Excel.

3.2.5 Critérios de Avaliação da Viabilidade Econômica

Os critérios de avaliação de viabilidade foram apresentados na seção 2.6 deste trabalho, os mesmos, estão detalhados de forma simplificada na Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios de avaliação de viabilidade.

Método	Economicamente viável	Economicamente inviável	Indiferente investir
TIR	$TIR > VPL$	$TIR < TMA$	$TIR = TMA$
VPL	$VPL > 0$	$VPL < 0$	$TIR = 0$

Fonte: O autor

Também foi aplicado o método de *Payback* Descontado para estimar o tempo necessário para retorno do fluxo de caixa inicial, ou seja, o período necessário para

recuperar o capital investido. Neste caso, com base em Brigham (2001), entende-se que, quanto menor o valor encontrado, mais rápido será o retorno do investimento inicial, ou seja, mais rápido o capital investido será recuperado.

Cabe destacar que a proposta de investimento pode ser comparada a um ativo financeiro, neste caso, a proposta deverá render, no mínimo a TMA, explicitada na seção 2.6.2, e foi definida por 5%.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção constam os resultados obtidos para um SFV, buscando entender quão atrativa tecnicamente e economicamente é a proposta, considerando todas as condições citadas nas seções anteriores.

4.1 Análise da viabilidade técnica do sistema fotovoltaico sem o banco de baterias

A proposta técnica contemplou um projeto fotovoltaico ligado ao banco de baterias, na cidade Alegrete - RS, que é atendida pela concessionária Rio Grande Energia (RGE). O perfil de consumidor é residencial, classe B1 - Monofásico 220V.

4.1.1 Localização

Para melhor eficiência dos painéis fotovoltaicos é necessário que os raios solares incidam perpendicularmente na superfície dos módulos, assim, a latitude orientada para o norte geográfico da localização da instalação é de grande importância (PINHO; GALDINO, 2014). A latitude da cidade de Alegrete é 29°.

Para a instalação dos módulos fotovoltaicos desse projeto foi considerada instalação em campo aberto com plano horizontal em 0° e inclinação igual a latitude da cidade de Alegrete 29°.

4.1.2 Potencial solar

Através do portal CRESCESB foram encontrados os dados de irradiação média solar para a localidade, considerando os dados de projeto citados na seção 4.1.1.

A Tabela 6 apresenta a média de irradiação solar diária para a cidade de Alegrete para o ano de 2021.

Tabela 6 – média de irradiação solar diária para a cidade de Alegrete para o ano de 2021.

Mês	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m2.dia]
jan	6,46
fev	5,96
mar	4,97
abr	3,89
mai	2,81
jun	2,33
jul	2,56
ago	3,32
set	3,77
out	4,93
nov	6,28
dez	6,81
Média	4,51

Fonte: Adaptado de CRESESB (2018)

Pelos dados da Tabela 6 foi calculado o valor da média diária anual de sol pico (HSP), sendo utilizada a Equação (1) e obtendo-se os resultados seguintes:

$$HSP = \frac{4,51}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,51 \text{ h/dia}$$

4.1.3 Perfil do consumidor

Para esse trabalho foi considerado que o consumidor tem um perfil residencial, classe B1 - Monofásico 220V, e o histórico de consumidor dos últimos 12 meses está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Histórico dos últimos 12 meses do consumidor.

Mês/Ano	Geração kWh	Mês/Ano	Geração kWh
jan	875	jul	450
fev	700	ago	550
mar	700	set	605
abr	570	out	730
mai	500	nov	820
jun	420	dez	875
		Média	649,5

Fonte: Elaborado pelo autor

A média de consumo mensal da residência é de 600 kWh. Para suprir a demanda da unidade residencial foi aplicada a Equação (19) demonstrando a necessidade diária que o gerador fotovoltaico deve gerar.

Segundo a ANEEL (2015), a disponibilidade para consumidor com perfil do presente trabalho é de 30kWh. Assim a energia de compensação diária para suprir a demanda do consumidor é de 19kWh.

$$ECD = \frac{600 - 30}{30} = 19\text{kWh}$$

4.1.4 Dimensionamento do sistema

Com os dados de HSP e de ECD foi possível iniciar o dimensionamento do projeto fotovoltaico, como de forma geral, a eficiência de um projeto fotovoltaico é de 80% considerando todas as perdas do sistema.

Foi utilizada a Equação (3) para saber a potência máxima do projeto, como segue:

$$P_m = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{19}{4,51 * 0,80} \right) = 3,57 \text{ kWp}$$

Os resultados indicam que o gerador comercial mais próximo do valor de potência máxima é de 3,57kWp.

Considerando as necessidades comerciais, foi visto junto com a uma empresa, prestadora de serviços fotovoltaicos, que o módulo fotovoltaico de 5,52 kWp é o que melhor atende as necessidades do sistema, visando a diminuição dos valores do projeto e suprimindo toda a demanda do sistema proposto.

Na comparação com módulos de potências menores como 2,82 kWp ou potências maiores como de 10,10 kWp o módulo de 5,52 kWp tem um rendimento melhor para o projeto proposto.

Na sequência foi feito o cálculo para o número de módulos fotovoltaicos para o projeto, considerando os valores de 5,52 kWp para o sistema, visando a diminuição de valores.

$$\text{N}^\circ \text{ módulo_série} = \frac{5,52 * 1000}{460} = 12 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

A Tabela 8 mostra a quantidade de equipamentos dentro do kit fotovoltaico, considerando módulos fotovoltaicos de 460 Wp e inversores de 5 kW.

Os dados do módulo escolhido, estão apresentados abaixo:

- Potência no ponto máximo de potência - 460W,
- Tensão no ponto máximo de potência - 34,20V;
- Corrente no ponto máximo de potência - 13,45A;
- Corrente de Curto Circuito - 14,01A;
- Eficiência = 21,32%;
- Tensão Máxima do Sistema 1500V;
- Formato 1903 mm × 1134 mm × 30 mm (incluindo a estrutura);
- Peso 24,2 kg ± 5 %.

Tabela 8 – Equipamentos dentro do kit fotovoltaico.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Potência dos módulos	460 Wp
Quantidade de módulos	12
Potência do inversor	5 kW
Quantidade de inversores	1

Fonte: Autor

Com base na quantidade de equipamentos citados na Tabela 8 foi possível determinar o custo total dos equipamentos, que é de R\$ 24.521,44.

A Tabela 9 apresenta o primeiro ano de geração, considerando o consumo do ano 2021 como base. Obtendo a média de consumo e a média de geração do sistema é possível entender que o sistema fotovoltaico proposto atende todas as necessidades da unidade consumidora.

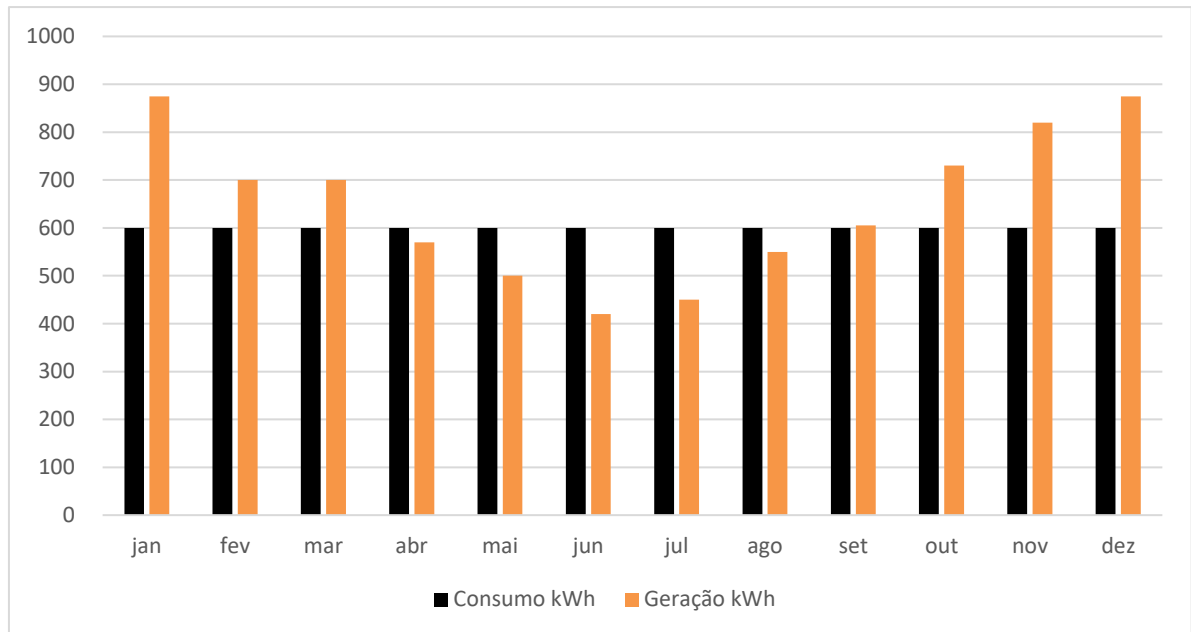
Tabela 9 – Média de consumo e geração do consumidor nos últimos 12 meses.

Mês/Ano	Consumo kWh	Geração kWh
Jan	978	985
Fev	608	727
Mar	613	729
Abr	548	549
Mai	486	481
Jun	323	397
Jul	469	452
Ago	540	532
Set	583	601
Out	622	765
Nov	684	814
Dez	747	762
Média	600	649,5

Fonte: O autor

O Gráfico 1 apresenta a comparação entre geração e consumo do projeto fotovoltaico.

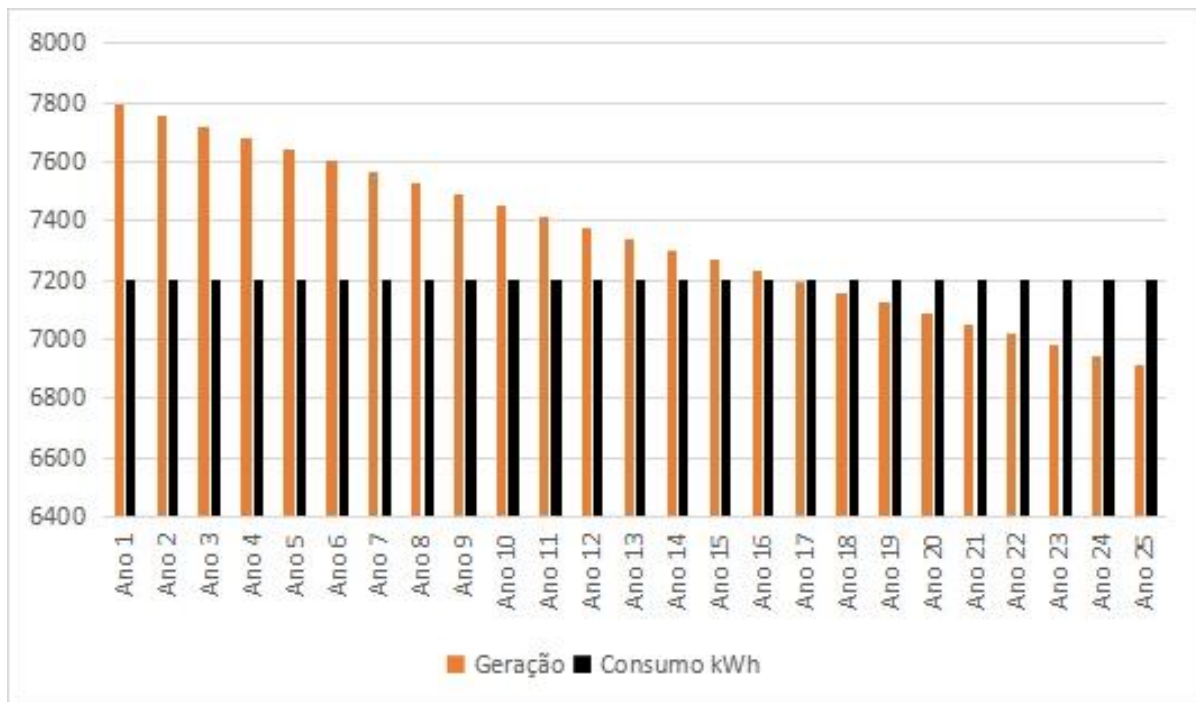
Gráfico 1 – Geração *versus* consumo mensal (sem banco de bateria)



Fonte: O autor

É possível observar que a geração nos meses entre abril e agosto são menores do que o consumo necessário, isso acontece pela menor irradiação do sol nessa época do ano, porém, existe uma grande compensação nos outros meses do ano, assim, o sistema se torna mais sustentável e viável.

O Gráfico 2 apresenta a geração e o consumo estimado para os próximos 25 anos, utilizando como base os dados da Tabela 8 para o ano 1 e considerando 0,50% de perda anualmente pela degradação gradual do sistema fotovoltaico.

Gráfico 2 – Geração *versus* consumo anual (sem banco de bateria)

Fonte: O autor

Pelo Gráfico 2 é possível analisar que a geração de energia será suficiente o ano 17, superando as necessidades totais da residência foi considerado o mesmo valor para todos os anos, pois é dessa forma que o mercado utiliza os dados para desenvolvimento do sistema fotovoltaico.

No entanto, será apresentado que o sistema não suprirá toda a demanda da casa através do banco de baterias, tendo em vista que a partir do ano 17 os valores são menores que as necessidades totais da residência em questão. Tendo em vista que o objetivo principal é a melhora na qualidade de vida dos residentes, apenas alguns equipamentos serão utilizados no sistema do banco de baterias.

O projeto pode ser considerado tecnicamente viável após a compreensão dos dados apresentados nesta seção.

4.2 Análise de viabilidade técnica com o banco de baterias

Nesta seção constam os resultados obtidos na proposta com a implementação do banco de baterias, buscando entender quão atrativa tecnicamente e economicamente é a proposta, considerando a implementação do banco de baterias.

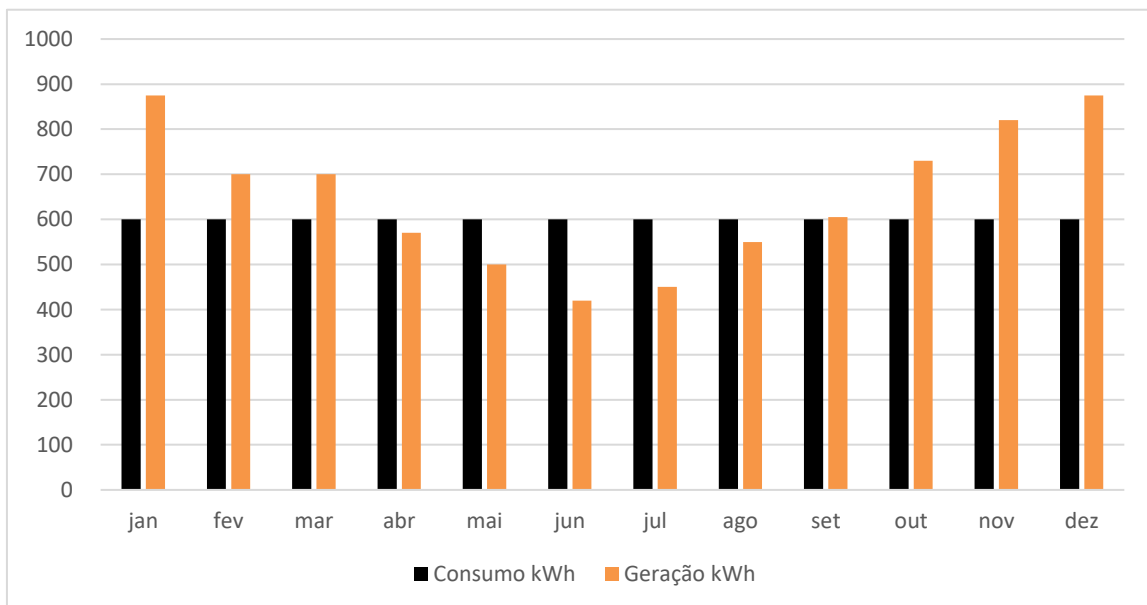
4.2.1 Características do banco de baterias

O banco de baterias é composto pelos itens descritos abaixo:

- 1 Inversor solar Growatt off grid;
- 2 Baterias solar de lítio Grawatt Hope 4.8L-C1 48V3 48V Lítio 4.8 kWh energia solar 3000 ciclos;
- 2 Suporte para bateria lítio kit_bracket hope 4.8L-C1 48V3 48V Lítio 4.8 kWh;
- 2 Cabox de conexão bateria hope 4.8 solar lítio;
- A autonomia do sistema é alta, mas suas condições dependem do grau de utilização.

O Gráfico 3 apresenta os dados de geração x consumo, além de demonstrar as linhas médias da geração do sistema e do consumo estimado, considerando a média do ano de 2021.

Gráfico 3 – Geração *versus* consumo mensal (com banco de bateria)



Fonte: O autor

Apesar da menor irradiação nessa época do ano, a compensação explicada anteriormente para os outros meses, pode ser considerada da mesma forma para o banco de baterias.

Como o objetivo do banco de baterias é aumentar a qualidade de vida do consumidor, aumentando o tempo de utilização de energia durante quedas de energia de grande tempo, pode ser considerado que o banco atende a todas as necessidades do sistema para todo o período apresentado mesmo com a geração sendo menor que o consumo no período entre abril e agosto, a utilização do equipamento será feita com sucesso, pela necessidade atual.

4.2.2 Aplicação do banco de baterias

Vale dizer que um banco de baterias pode ter várias capacidades. Para o projeto mencionado foi considerado um com capacidade de 5,52kWP, uma geração mensal estimada de 292kWh, sendo assim, o uso diário máximo seria de aproximadamente 9,74kWh. Todos os valores são considerados para uma descarga de 80% da bateria.

A Tabela 10 contém uma sugestão de utilização do banco de baterias considerando a capacidade mencionada.

Tabela 10 – Sugestão de utilização do banco de baterias considerando a capacidade mencionada

Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Horas/dia
Refrigerador	90	1	12
Freezer	50	2	5
Ventilador	9	5	2
Lâmpada de led	15	2	4
Carregador de celular	100	1	4
Televisão	60	3	8
Notebook	750	1	3
Ar condicionado	1100	1	4

Fonte: O autor

É possível observar, na Tabela 10, que o banco de baterias tem uma capacidade que possibilita uma condição de vida melhor para os moradores da residência, pois, com o refrigerador e *freezer* aguentando uma quantidade relativa de tempo, a comida será conservada. Caso menos equipamentos sejam utilizados, a duração da bateria será maior, assim, podendo se adequar as necessidades dos residentes.

4.3 Análise de viabilidade econômica do sistema proposto

Nesta etapa constam apresentados os resultados da análise de viabilidade econômica do projeto, na residência localizada na cidade de Alegrete - RS. Foi considerada uma ligação na rede, com banco de baterias para um hipotético momento em que não se tem energia elétrica, por até 12 horas, podendo esse tempo alterar, de acordo com as cargas ligadas ao banco de baterias. O cálculo do faturamento serve tanto para o sistema considerando com e sem bateria.

4.3.1 Cálculo do faturamento

Utilizando a Equação 20, foram calculados a TUSD, e os demais impostos incidentes na realização do projeto. Os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Impostos no cálculo do faturamento

Modelo	TUSD	TE
Custo Disp (kWh)	0,52	0,39
ICMS	14%	14%
PIS	1,65%	1,65%
COFINS	7,60%	7,60%

Fonte: Autor

A Tabela 12 traz os valores projetados para 25 anos, considerando o valor projetado para 2022 como base para os cálculos.

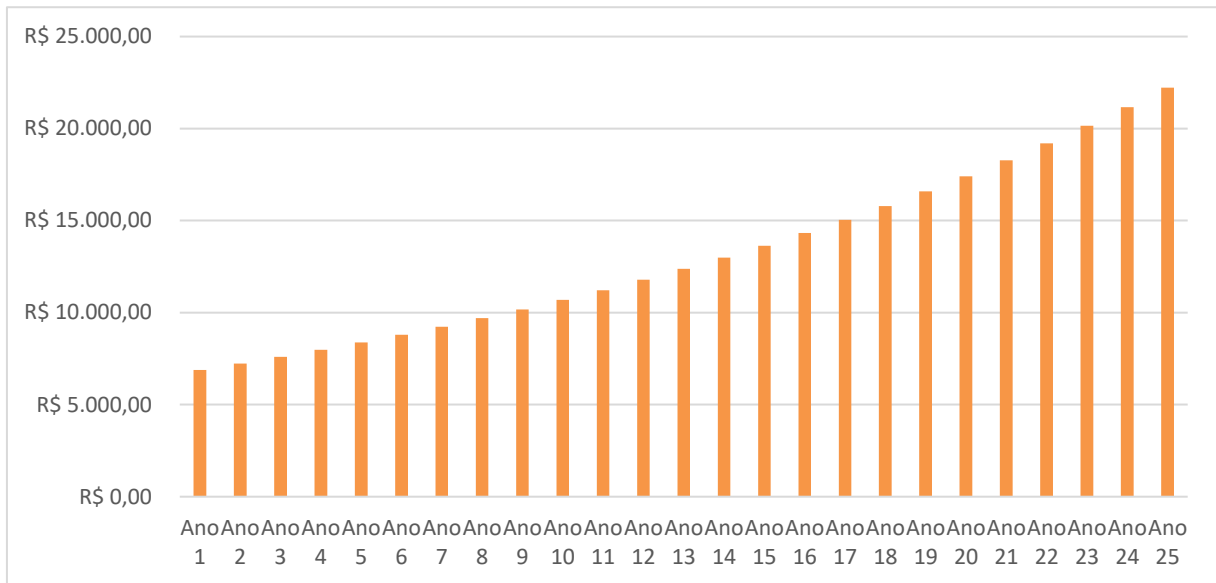
Tabela 12 – Valores projetados para os próximos 25 anos

Gastos por ano	Custo	Gastos por ano	Custo	Gastos por ano	Custo
Ano 1	R\$ 6.889,67	Ano 11	R\$ 11.222,55	Ano 21	R\$ 18.280,36
Ano 2	R\$ 7.234,16	Ano 12	R\$ 11.783,68	Ano 22	R\$ 19.194,37
Ano 3	R\$ 7.595,87	Ano 13	R\$ 12.372,87	Ano 23	R\$ 20.154,09
Ano 4	R\$ 7.975,66	Ano 14	R\$ 12.991,51	Ano 24	R\$ 21.161,80
Ano 5	R\$ 8.374,44	Ano 15	R\$ 13.641,08	Ano 25	R\$ 22.219,89
Ano 6	R\$ 8.793,16	Ano 16	R\$ 14.323,14		
Ano 7	R\$ 9.232,82	Ano 17	R\$ 15.039,29		
Ano 8	R\$ 9.694,46	Ano 18	R\$ 15.791,26		
Ano 9	R\$ 10.179,19	Ano 19	R\$ 16.580,82		
Ano 10	R\$ 10.688,15	Ano 20	R\$ 17.409,86		

Fonte: O autor

O Gráfico 4 apresenta os gastos anuais, pelos próximos 25 anos.

Gráfico 4 – Previsão gastos com energia próximos 25 anos



Fonte: O autor

4.3.2 Fluxo de caixa do projeto sem o banco de baterias

Para o fluxo de caixa do projeto foram considerados os gastos iniciais para realização do projeto. Como apresentado na Tabela 8, os gastos iniciais incluíram:

- 12 módulos fotovoltaicos de 460Wp;
- 1 inversor de 5 kW;
- 5 conectores;
- 130 metros de cabo.

Para definir o caixa inicial foram considerados os seguintes valores iniciais:

- Investimento inicial: valor de R\$ 24.521,44 referente ao kit fotovoltaico, projeto e instalação;
- Manutenção anual do sistema, para esse valor é considerado 1% do valor inicial do investimento e corrigido pela inflação após o segundo ano;
- Substituição do inversor no ano 15: com Valor Presente de R\$ 3.000,00 e atualizado para o Valor Futuro com a média da inflação (5,72%);

A partir do momento da implementação do banco de baterias o fluxo de caixa, foi alterado para se adequar ao acréscimo de valores que serão gerados através da implementação do banco de baterias no sistema.

4.3.3 Fluxo de caixa do projeto com o banco de baterias

Considerando os dados da Tabela 11 e a média da inflação, foram feitos os cálculos para conferir a viabilidade econômica do projeto. Cabe ressaltar que, para definir o fluxo de caixa, foram considerados os seguintes valores iniciais:

- Custo banco de baterias R\$ 33.573,44.
- Investimento inicial: valor de R\$ 46.201,46 referente ao kit fotovoltaico com o banco de baterias, projeto e instalação;
- Manutenção anual do sistema, para esse valor é considerado 1% do valor inicial do investimento e corrigido pela inflação;
- Substituição do inversor no ano 15: Valor Presente de R\$ 3.000,00 e atualizado para o Valor Futuro com a média da inflação (5,72%);

A partir dos dados apresentados foram calculados o VPL e a TIR, que serão os parâmetros utilizados para definição de viabilidade do projeto, além disso, foi utilizado o *Payback* Descontado para definir o período de retorno do valor investido.

4.3.4 Resultados com a aplicação das ferramentas de Engenharia Econômica

Para calcular o tempo de *Payback* Descontado foi utilizada a Equação 16, inserida em planilha Excel. Foram realizados dois cálculos, um considerando sem a implementação do banco de baterias e o segundo cálculo considerando o banco de baterias. Nesse segundo cálculo foram considerados os parâmetros para conferir a viabilidade econômica do projeto.

Os resultados dos cálculos estão apresentados nas Tabela 13 e 14, respectivamente.

Tabela 13 – Payback sem banco de baterias

Item	Quantitativo
Geração média mensal:	650 kWh/mês
Geração estimada por ano:	7794 kWh/ano
Relação geração/consumo:	108,24%
Valor projeto	R\$ 24.521,44
Payback descontado	6 anos

Fonte: O autor

Tabela 14 – Payback com banco de baterias.

Item	Quantitativo
Geração média mensal	650 kWh/mês
Geração estimada por ano	7794 kWh/ano
Relação geração/consumo	108,24%
Valor projeto com banco de baterias	R\$ 46.201,46
Payback descontado	10 anos

Fonte: O autor

Analisando as Tabelas 13 e 14 é possível observar que o *Payback* Descontado com a inclusão do banco de baterias é de 10 anos, ou seja, 4 anos a mais que o projeto sem bateria. É de se considerar que no ano 15 existe a necessidade de troca do inversor, assim, diminuindo o retorno econômico nesse ano, porém, é fácil observar que o projeto tem um retorno relativamente rápido, além de melhorar a qualidade de vida dos usuários do sistema com a implementação do banco de baterias, já relatada anteriormente nesse trabalho.

A Tabela 15 apresenta a economia na conta de luz da residência anualmente, considerando os gastos a partir do ano 1, para calcular o valor dos gastos com projeto fotovoltaico, foi considerado o valor de 30kWh de tarifa de conexão, valor para um projeto monofásico. E foi acrescentado um valor de R\$ 5,00 (cinco reais) para a conta de luz pública, informações oriundas de empresa especializada no tema. A partir do ano 17, onde não é possível suprir todo o consumo da energia com a geração do projeto fotovoltaico, foi incluído no cálculo as diferenças de valores que serão utilizados das concessionárias de energia. No ano 15, foi inserido o valor do indutor que será substituído como citado anteriormente.

Os pontos de taxaço considerados foram o TUE e o TUSD, pois foi estabelecida a isenção do ICMS na TUSD para projetos fotovoltaicos desde julho de 2022.

Tabela 15 – Economia na conta de luz da residência anualmente.

ANO	Gasto anual	Gasto anual com FV	Economia
1	R\$ 6.889,67	R\$ 384,00	R\$ 6.505,67
2	R\$ 7.234,16	R\$ 422,40	R\$ 6.811,76
3	R\$ 7.595,87	R\$ 464,64	R\$ 7.131,23
4	R\$ 7.975,66	R\$ 511,10	R\$ 7.464,56
5	R\$ 8.374,44	R\$ 562,21	R\$ 7.812,23
6	R\$ 8.793,16	R\$ 618,44	R\$ 8.174,73
7	R\$ 9.232,82	R\$ 680,28	R\$ 8.552,54
8	R\$ 9.694,46	R\$ 748,31	R\$ 8.946,16
9	R\$ 10.179,19	R\$ 823,14	R\$ 9.356,05
10	R\$ 10.688,15	R\$ 905,45	R\$ 9.782,69
11	R\$ 11.222,55	R\$ 996,00	R\$ 10.226,56
12	R\$ 11.783,68	R\$ 1.095,60	R\$ 10.688,08
13	R\$ 12.372,87	R\$ 1.205,16	R\$ 11.167,71
14	R\$ 12.991,51	R\$ 1.325,67	R\$ 11.665,84
15	R\$ 13.641,08	R\$ 1.458,24	R\$ 12.182,84
16	R\$ 14.323,14	R\$ 1.604,06	R\$ 12.719,07
17	R\$ 15.039,29	R\$ 1.762,47	R\$ 13.276,83
18	R\$ 15.791,26	R\$ 1.933,72	R\$ 13.857,54
19	R\$ 16.580,82	R\$ 2.118,29	R\$ 14.462,53
20	R\$ 17.409,86	R\$ 2.326,62	R\$ 15.083,25
21	R\$ 18.280,36	R\$ 2.558,08	R\$ 15.722,28
22	R\$ 19.194,37	R\$ 2.823,19	R\$ 16.371,19
23	R\$ 20.154,09	R\$ 3.122,71	R\$ 17.031,39
24	R\$ 21.161,80	R\$ 3.457,78	R\$ 17.704,02
25	R\$ 22.219,89	R\$ 3.838,95	R\$ 18.380,93

Fonte: O autor

Utilizando os valores da Tabela 15, foram determinados os valores de VPL e a TIR, para verificar se o investimento é viável economicamente ou não, sendo que o critério para a tomada de decisão já foi apresentado na Tabela 5.

A Tabela 16 demonstra os valores de VPL e TIR para o projeto.

Tabela 16 – Valores de VPL e TIR para o projeto incluindo o banco de baterias.

VPL	TIR	TMA
R\$78.483,23	17,19%	5%

Fonte: O autor

Considerando o projeto sem o banco de baterias os valores de VPL e TIR para o mesmo TMA estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores de VPL e TIR para o projeto sem o banco de baterias.

VPL	TIR	TMA
R\$100.163,25	30,74%	5%

Fonte: O autor

Os resultados da Tabela 16 e 17 demonstram que o investimento é economicamente viável e atrativo, pois apresenta um VPL > 0 e uma TIR > TMA. Considerando todos os valores apresentados de VPL, TIR e *Payback* descontado, considera-se o projeto economicamente viável.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentou o estudo de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico, com perfil de consumidor classe B1, monofásico 22V. O estudo teve como principal objetivo, realizar as análises de viabilidades técnica e econômica de sistema fotovoltaico isolado para uma área rural, com sistema de banco de baterias, para uma residência na cidade de Alegrete-RS.

A análise técnica foi demonstrada a partir das equações da metodologia, utilizando a literatura pesquisada. Os resultados do projeto foram considerados tecnicamente viáveis.

Após a análise técnica foi realizada a análise econômica do projeto, demonstrada por meio dos cálculos apresentados na metodologia, e chegou-se aos valores econômicos do projeto, todos apresentados neste trabalho. O projeto foi considerado viável pelo ponto de vista econômico, com VPL maior que zero, com TIR maior que a TMA e com a inclusão do banco de baterias apresentando um retorno do investimento em 10 anos, ou seja, com 4 anos a mais do que o projeto sem o banco de baterias.

Os resultados foram apresentados e chegou-se na conclusão que o sistema é técnica e economicamente viável, mesmo com o aumento do custo por conta do banco de baterias. Utilizando a sugestão, de utilizar o banco de baterias para sanar necessidades dos consumidores, o valor geral do projeto ficou dentro dos parâmetros esperados para implementação e viável dentro dos padrões estabelecidos para a realização de um projeto dentro dos critérios de tomada de decisão, considerando as análises técnica e econômica.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se a realização de um projeto que compare os resultados econômicos com diferentes tipos de baterias, incluindo novas tecnologias de armazenamento.

REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa, 482/2012.**

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 687: Altera a Resolução Normativa nº 482/2012.** Brasília: ANEEL, 2015.

PEREIRA, Enio Bueno; et al. **Atlas brasileiro de energia solar** / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; André Rodrigues Gonçalves; Rodrigo Santos Costa; Francisco J. Lopes de Lima; Ricardo Rüther; Samuel Luna de Abreu; Gerson Máximo Tiepolo; Sílvia Vitorino Pereira; Jefferson Gonçalves de Souza. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

BRIGHAM, E. F.; GAPENSKI, L. C.; EHRHARDT, M. C. **Administração financeira: teoria e prática.** São Paulo: Atlas, 2001.

CARVALHO, E. A. **Análise de investimentos: livro didático.** Palhoça: UnisulVirtual, 2011.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: manual para solução de problemas e tomadas de decisão.** São Paulo: Atlas, 2020.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Energia solar: princípios e aplicações.** CRESESB, Rio de Janeiro, 2006.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf. Acesso em 5 ago. 2022.

FONSECA, J. J. S. **Apostila de Metodologia da Pesquisa Científica.** UECE, Fortaleza – CE. 2002.

FREITAS, B.M. de R; HOLLANDA, L. **Micro e Minigeração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor.** [S.l.]: FGV Energia, 2015.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

ANEEL. **Índices de reajuste das tarifas residenciais.** Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/luz-na-tarifa>. Acesso em 5 ago. 2022.

INFLATION. **Inflação Histórica Brasil – IPC. 2022.** Disponível em: <https://www.inflation.eu/pt/taxas-de-inflacao/brasil/inflacao-historica/ipc-inflacao-brasil.aspx>. Acesso em 5 ago. 2022.

LEMES JÚNIOR, A.B.; RIGO, C.M.; CHEROBIM, A.P.M. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2ed. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014.

SILVA, F. P. **Análise de investimentos e fontes de financiamento**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

SOLSTICIO ENERGIA. **O histórico de bandeiras tarifárias**. Disponível em: [https://www.solsticioenergia.com/saiba-mais/bandeiras-tarifarias/#:~:text=Reajuste%20das%20bandeiras%20tarif%C3%A1rias%202022%2D2023&text=S%C3%A3o%20os%20seguintes%3A,consumidos%20\(%2B%2063%2C7%25\)%3B](https://www.solsticioenergia.com/saiba-mais/bandeiras-tarifarias/#:~:text=Reajuste%20das%20bandeiras%20tarif%C3%A1rias%202022%2D2023&text=S%C3%A3o%20os%20seguintes%3A,consumidos%20(%2B%2063%2C7%25)%3B). Acesso em 5 ago. 2022.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

APÊNDICE A – Dados para projeto com banco de baterias

CONSUMO	
Consumo Anual	460 Wp
Consumo mensal médio	600 kWh/mês
Custo com energia elétrica nos últimos 12 meses	R\$ 6.263,34
Custo mensal com energia elétrica	R\$ 522,02
Previsão de custo com energia elétrica no próximo ano	R\$ 6.889,67
CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Potência dos módulos	460 Wp
Quantidade de módulos	12
Potência do inversor	5 kW
Quantidade de inversores	1
CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS	
Área de ocupação dos painéis	29,04 m ²
Peso aproximado	19 kh/m ²
Orientação do Sistema	indefinido
Modelo de estrutura	telhado fibrocimentado
GERAÇÃO	
Geração média mensal	650 kWh/mês
Geração estimada por ano	7794 kWh/ano
Relação geração/consumo	108,24%
Payback	10 anos
ESTIMATIVA DE CUSTO	
Produto	Quantidade
Módulo de 460 Wp	12
Inversor de 5 Kw	1
Estrutura para fixação dos módulos	1
Materiais Elétricos	-
String Box e Proteções do Sistema	1
Projeto elétrico executivo	1
Tramitação junto à Concessionária	1
Instalação	1
Comissionamento do sistema	1
Total	R\$ 46.201,46

APÊNDICE B – Utilização dos equipamentos durante banco de baterias

Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Horas/dia
Refrigerador	90	1	12
Freezer	50	2	5
Ventilador	9	5	2
Lâmpada de led	15	2	4
Carregador de celular	100	1	4
Televisão	60	3	8
Notebook	750	1	3
Ar condicionado	1100	1	4

APÊNDICE C – Cálculo do projeto com banco de baterias

PAYBACK COM BANCO DE BATERIAS	
Geração média mensal	650 kWh/mês
Geração estimada por ano	7794 kWh/ano
Relação geração/consumo	108,24%
Valor projeto com banco de baterias	R\$ 46.201,46
Payback	10 anos

APÊNDICE D – Fluxo de caixa para 25 anos

Gastos por ano	Custo	Geração	Consumo kWh
Ano 1	R\$ 6.889,67	7795	7201
Ano 2	R\$ 7.234,16	7756	6823
Ano 3	R\$ 7.595,87	7717	6215
Ano 4	R\$ 7.975,66	7679	5602
Ano 5	R\$ 8.374,44	7640	5054
Ano 6	R\$ 8.793,16	7602	5443
Ano 7	R\$ 9.232,82	7564	5820
Ano 8	R\$ 9.694,46	7526	6051
Ano 9	R\$ 10.179,19	7489	6081
Ano 10	R\$ 10.688,15	7451	5998
Ano 11	R\$ 11.222,55	7414	5796
Ano 12	R\$ 11.783,68	7377	5562
Ano 13	R\$ 12.372,87	7340	5365
Ano 14	R\$ 12.991,51	7303	5370
Ano 15	R\$ 13.641,08	7267	6100
Ano 16	R\$ 14.323,14	7230	6920
Ano 17	R\$ 15.039,29	7194	7795
Ano 18	R\$ 15.791,26	7158	7570
Ano 19	R\$ 16.580,82	7122	6870
Ano 20	R\$ 17.409,86	7087	6170
Ano 21	R\$ 18.280,36	7051	5600
Ano 22	R\$ 19.194,37	7016	5100
Ano 23	R\$ 20.154,09	6981	4680
Ano 24	R\$ 21.161,80	6946	4230
Ano 25	R\$ 22.219,89	6911	3680
Mês/Ano	Consumo kWh	Geração kWh	Valor (R\$)
jan	978	985	R\$ 850,77
fev	608	727	R\$ 528,90
mar	613	729	R\$ 533,25
abr	548	549	R\$ 476,71
mai	486	481	R\$ 422,78
jun	323	397	R\$ 280,98
jul	469	452	R\$ 407,99
ago	540	532	R\$ 469,75
set	583	601	R\$ 507,16
out	622	765	R\$ 541,08
nov	684	814	R\$ 595,02
dez	747	762	R\$ 649,82
Média	600	649,5	R\$ 522,02

APÊNDICE E – Projeto fotovoltaico sem banco de baterias

ESTIMATIVA DE CUSTO	
Produto	Quantidade
Módulo de 460 Wp	12
Inversor de 5 Kw	1
Estrutura para fixação dos módulos	1
Materiais Elétricos	-
String Box e Proteções do Sistema	1
Projeto elétrico executivo	1
Tramitação junto à Concessionária	1
Instalação	1
Comissionamento do sistema	1
Total	R\$ 24.521,44
GERAÇÃO	
Geração média mensal:	650 kWh/mês
Geração estimada por ano:	7794 kWh/ano
Relação geração/consumo:	108,24%
Payback:	6 anos

APÊNDICE F – Consumo anual

Mês/Ano	Consumo kWh	Geração kWh
jan	600	875
fev	600	700
mar	600	700
abr	600	570
mai	600	500
jun	600	420
jul	600	450
ago	600	550
set	600	605
out	600	730
nov	600	820
dez	600	875

APÊNDICE G – Fluxo de caixa para 25 anos

ANO	Gasto anual	Gasto anual com FV	Economia
1	R\$ 6.889,67	R\$ 384,00	R\$ 6.505,67
2	R\$ 7.234,16	R\$ 422,40	R\$ 6.811,76
3	R\$ 7.595,87	R\$ 464,64	R\$ 7.131,23
4	R\$ 7.975,66	R\$ 511,10	R\$ 7.464,56
5	R\$ 8.374,44	R\$ 562,21	R\$ 7.812,23
6	R\$ 8.793,16	R\$ 618,44	R\$ 8.174,73
7	R\$ 9.232,82	R\$ 680,28	R\$ 8.552,54
8	R\$ 9.694,46	R\$ 748,31	R\$ 8.946,16
9	R\$ 10.179,19	R\$ 823,14	R\$ 9.356,05
10	R\$ 10.688,15	R\$ 905,45	R\$ 9.782,69
11	R\$ 11.222,55	R\$ 996,00	R\$ 10.226,56
12	R\$ 11.783,68	R\$ 1.095,60	R\$ 10.688,08
13	R\$ 12.372,87	R\$ 1.205,16	R\$ 11.167,71
14	R\$ 12.991,51	R\$ 1.325,67	R\$ 11.665,84
15	R\$ 13.641,08	R\$ 1.458,24	R\$ 12.182,84
16	R\$ 14.323,14	R\$ 1.604,06	R\$ 12.719,07
17	R\$ 15.039,29	R\$ 1.770,47	R\$ 13.268,83
18	R\$ 15.791,26	R\$ 1.955,72	R\$ 13.835,54
19	R\$ 16.580,82	R\$ 2.169,29	R\$ 14.411,53
20	R\$ 17.409,86	R\$ 2.410,62	R\$ 15.000,25
21	R\$ 18.280,36	R\$ 2.680,08	R\$ 15.600,28
22	R\$ 19.194,37	R\$ 3.081,19	R\$ 16.113,19
23	R\$ 20.154,09	R\$ 3.614,71	R\$ 16.539,39
24	R\$ 21.161,80	R\$ 4.291,78	R\$ 16.870,02
25	R\$ 22.219,89	R\$ 5.114,95	R\$ 17.104,93

APÊNDICE H – Cálculo de viabilidade do projeto com banco de baterias

TMA	5%
Anos	Fluxo de caixa
0	-R\$46.201,46
1	R\$ 6.505,67
2	R\$ 6.811,76
3	R\$ 7.131,23
4	R\$ 7.464,56
5	R\$ 7.812,23
6	R\$ 8.174,73
7	R\$ 8.552,54
8	R\$ 8.946,16
9	R\$ 9.356,05
10	R\$ 9.782,69
11	R\$ 10.226,56
12	R\$ 10.688,08
13	R\$ 11.167,71
14	R\$ 11.665,84
15	R\$ 9.182,84
16	R\$ 9.419,07
17	R\$ 9.636,83
18	R\$ 9.795,54
19	R\$ 9.887,53
20	R\$ 9.905,25
21	R\$ 9.839,28
22	R\$ 9.679,19
23	R\$ 9.413,39
24	R\$ 9.030,02
25	R\$ 8.514,93

APÊNDICE I – Cálculo de viabilidade do projeto sem banco de baterias

TMA	5%
Anos	Fluxo de caixa
0	-R\$24.521,44
1	R\$ 6.505,67
2	R\$ 6.811,76
3	R\$ 7.131,23
4	R\$ 7.464,56
5	R\$ 7.812,23
6	R\$ 8.174,73
7	R\$ 8.552,54
8	R\$ 8.946,16
9	R\$ 9.356,05
10	R\$ 9.782,69
11	R\$ 10.226,56
12	R\$ 10.688,08
13	R\$ 11.167,71
14	R\$ 11.665,84
15	R\$ 9.182,84
16	R\$ 9.419,07
17	R\$ 9.636,83
18	R\$ 9.795,54
19	R\$ 9.887,53
20	R\$ 9.905,25
21	R\$ 9.839,28
22	R\$ 9.679,19
23	R\$ 9.413,39
24	R\$ 9.030,02
25	R\$ 8.514,93

APÊNDICE J – Resultados cálculos de viabilidade para projeto com banco de baterias

VPL	TIR	TMA
R\$78.483,23	17,19%	5%

APÊNDICE K – Resultados cálculos de viabilidade para projeto sem banco de baterias

VPL	TIR	TMA
R\$100.163,25	30,74%	5%