

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO DE GRADUAÇÃO ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO HENRIQUE BERGAMIN

**ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS, TERMOSSOLARES E HÍBRIDOS PV/T**

Vitória
2022

PEDRO HENRIQUE BERGAMIN

**ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS, TERMOSSOLARES E HÍBRIDOS PV/T**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica do
Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória,
como requisito parcial para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Rodrigues Muniz.

Vitória
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Nilo Peçanha do Instituto Federal do Espírito Santo)

B493e Bergamin, Pedro Henrique.
Estudo comparativo técnico-econômico de sistemas fotovoltaicos,
termossolares e híbridos PV/T / Pedro Henrique Bergamin – 2022.
97 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Pablo Rodrigues Muniz.

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo,
Coordenadoria de Engenharia Elétrica, Curso Superior de Engenharia
Elétrica, 2022.

1. Energia solar. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Energia -
Fontes alternativas. 4. Sistemas dinâmicos híbridos. 5. Aquecedores
solares de água - Análise. 6. Engenharia Elétrica. I. Muniz, Pablo
Rodrigues. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 21 – 621.47

Elaborada por Ronald Aguiar Nascimento – CRB-6/ES – 3.116



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
VIT - COORDENADORIA DO CURSO TECNICO EM ELETROTECNICA



FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC Nº 5/2022 - VIT-CCTE (11.02.35.01.09.02.19)

Nº do Protocolo: 23148.002881/2022-48

Vitória-ES, 04 de maio de 2022.

PEDRO HENRIQUE BERGAMIN

**ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS,
TERMOSSOLARES E HÍBRIDOS PV/T**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria de Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em 11 de março de 2022

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr: Pablo Rodrigues Muniz
Instituto Federal do Espírito Santo Campus Vitória

Prof. Dr: Arthur Eduardo Alves Amorim
Instituto Federal do Espírito Santo Campus São Mateus

Me. Vinicius Cypriano Doelinger Assad
On Energy Engenharia Elétrica

(Assinado digitalmente em 04/05/2022 14:08)
ARTHUR EDUARDO ALVES AMORIM
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
SMT-CCTE (11.02.31.01.05.02.05)
Matrícula: 1332786

(Assinado digitalmente em 04/05/2022 14:04)
PABLO RODRIGUES MUNIZ
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
VIT-CCTE (11.02.35.01.09.02.19)
Matrícula: 1361496

(Assinado digitalmente em 04/05/2022 16:03)
VINICIUS CYPRIANO DOELINGER ASSAD
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ***.000.177-**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida que me foi concedido, pela saúde, sabedoria e inteligência.

Aos meus pais, Pedro Bergamin e Ida Schaeffer Bergamin, por todo amor, carinho, dedicação, ensinamentos e cobranças.

Ao meu irmão, Ernane Schaeffer Bergamin, por todo apoio e ajuda.

Ao corpo docente do Curso de Engenharia Elétrica, principalmente ao orientador Prof. Dr. Pablo Rodrigues Muniz, por incontáveis colaborações que auxiliaram minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu amigo Hugo que muito me ajudou.

Aos meus amigos e colegas da turma 2017/1.

RESUMO

O Sol é uma fonte abundante de energia e é responsável por manter o equilíbrio da vida na Terra. Dentre as diversas fontes primárias de energia conhecidas pela humanidade, destaca-se a energia solar por ser uma fonte renovável e limpa. Sistemas como Gerador Fotovoltaico, Aquecedor Termossolar e Sistemas Híbridos Fotovoltaicos-Térmicos (PV/T) são utilizados para aproveitar a energia proveniente do Sol. Entretanto, não é trivial saber por qual desses sistemas deve-se optar para determinada situação. Assim, neste trabalho, é realizada análise comparativa técnica-econômica de investimento nesses três sistemas para diferentes condições de edificações residenciais, com a finalidade de se obter um parecer técnico-econômico de viabilidade de instalação do sistema mais adequado para cada cenário residencial.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Híbridos PV/T, Energia Térmica, Gerador Fotovoltaico, Aquecedor Termossolar.

ABSTRACT

The sun is an abundant source of energy, and it is responsible for maintaining the balance of life on Earth. Among the various primary sources of energy known by mankind, solar energy stands out for being a renewable and clean source. Systems such as Photovoltaic Generator, Thermosolar Heater and Photovoltaic-Thermal Hybrid Systems (PV/T) are used to harness energy from the sun. However, it is not trivial to know which of these systems to choose for a given situation. Thus, in this work, a technical-economic comparative analysis of investment in these three systems for different conditions of residential buildings will be carried out, in order to obtain a technical-economic opinion of the most suitable system for each residential scenario.

Keywords: Solar Energy, Hybrid Systems PV/T, Thermal Energy, Photovoltaic Generator, Thermosolar Heater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Órbita da Terra em torno do Sol	19
Figura 2 – Painel solar térmico.....	20
Figura 3 - Componentes e camadas do módulo fotovoltaico.	22
Figura 4 - Seção transversal de um coletor PV/T simples.....	26
Figura 5 – Irradiância do local	32
Figura 6 – Irradiância edificações-modelo.....	44

Lista de Quadros

Quadro 1 – Dados técnicos sistema fotovoltaico edificação-modelo 1.....	46
Quadro 2 – Dados técnicos equipamentos termossolares edificação-modelo 1	53
Quadro 3 – Dados técnicos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1	57
Quadro 4 – Dados técnicos equipamentos do sistema fotovoltaico edificação-modelo 2	63
Quadro 5 – Dados técnicos equipamentos termossolares edificação-modelo 2	69
Quadro 6 – Dados técnicos equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2	73
Quadro 7 – Dados técnicos equipamentos do sistema fotovoltaico edificação-modelo 3	79
Quadro 8 – Dados técnicos equipamentos termossolares edificação-modelo 3	84
Quadro 9 – Dados técnicos equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características edificação-modelo 1.....	41
Tabela 2 – Características edificação-modelo 2.....	42
Tabela 3 - Características edificação-modelo 3	43
Tabela 4 – Entradas do sistema edificação-modelo 1	45
Tabela 5 - Geração média mensal de energia elétrica edificação-modelo 1	46
Tabela 6 – Fatura com e sem sistema fotovoltaico	47
Tabela 7 – Custos sistema fotovoltaico edificação-modelo 1	48
Tabela 8 - Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 1	48
Tabela 9 – Valor Presente Líquido sistema fotovoltaico edificação-modelo 1	49
Tabela 10 – Métricas e análises sistema fotovoltaico edificação-modelo 1	50
Tabela 11 – Temperatura média mensal da água em Vitória.....	51
Tabela 12 – Dados do sistema termossolar edificação-modelo 1	52
Tabela 13 – Custos sistema termossolar edificação-modelo 1	53
Tabela	
14 - Fluxo de Caixa sistema termossolar edificação-modelo 1	53
Tabela 15 – Valor Presente Líquido sistema termossolar edificação-modelo 1	54
Tabela 16 – Métricas e análises sistema termossolar edificação-modelo 1	55
Tabela 17 – Energia térmica gerada e variação de temperatura da água edificação-modelo 1.....	57
Tabela 18 - Geração de energia elétrica PV/T– sistema fotovoltaico edificação-modelo 1	58
Tabela 19 – Economia média mensal de energia elétrica – sistema PV/T edificação-modelo 1.....	58
Tabela 20 – Fatura com sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1	59
Tabela 21 – Custos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1	59
Tabela 22 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1	60
Tabela 23 – Valor Presente Líquido sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1	60
Tabela 24 – Métricas e análises sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1.....	62
Tabela 25 – Entradas do sistema edificação-modelo 2.....	62
Tabela 26 – Geração média mensal de energia elétrica fotovoltaica edificação-modelo 2	64

Tabela 27 – Economia de energia elétrica sistema fotovoltaico edificação-modelo 2	64
Tabela 28 – Custos sistema fotovoltaico edificação-modelo 2	65
Tabela 29 – Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 2	65
Tabela 30 – Valor Presente Líquido sistema fotovoltaico edificação-modelo 2.....	66
Tabela 31 – Métricas e análises sistema fotovoltaico edificação-modelo 2	67
Tabela 32 – Dados do sistema termossolar edificação-modelo 2	68
Tabela 33 – Custos sistema termossolar edificação-modelo 2	69
Tabela 34 – Fluxo de Caixa termossolar edificação-modelo 2 (Continua)	69
Tabela 35 – Valor Presente Líquido termossolar edificação-modelo 2	70
Tabela 36 - Métricas e análises sistema termossolar edificação-modelo 2.....	71
Tabela 37 - Energia termossolar gerada pelo sistema e variação de temperatura da água em °C edificação-modelo 2	73
Tabela 38 – Geração de energia elétrica fotovoltaico sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2.....	74
Tabela 39 – Economia média mensal de energia elétrica – sistema PV/T edificação-modelo 2.....	74
Tabela 40 – Custos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2	75
Tabela 41 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2	75
Tabela 42 – Valor Presente Líquido sistema PV/T edificação-modelo 2.....	76
Tabela 43 – Métricas e análises sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2.....	77
Tabela 44 – Entradas do sistema edificação-modelo 3.....	78
Tabela 45 – Geração média mensal de energia elétrica fotovoltaica edificação-modelo 3	79
Tabela 46 – Economia de energia elétrica sistema fotovoltaico edificação-modelo 3	80
Tabela 47 – Custos sistema fotovoltaico edificação-modelo 3	80
Tabela 48 – Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 3	81
Tabela 49 – Valor Presente Líquido sistema fotovoltaico edificação-modelo 3.....	82
Tabela 50 – Métricas e análises sistema fotovoltaico edificação-modelo 3	83
Tabela 51 – Dados do sistema termossolar edificação-modelo 3	83
Tabela 52 – Custos sistema termossolar edificação-modelo 3	84
Tabela 53 – Fluxo de Caixa termossolar edificação-modelo 3.....	85
Tabela 54 – Valor Presente Líquido termossolar edificação-modelo 3	86

Tabela 55 - Métricas e análises sistema termosssolar edificação-modelo 3.....	87
Tabela 56 - Energia termosolar gerada pelo sistema e variação de temperatura da água em °C edificação-modelo 3	88
Tabela 57 – Geração de energia elétrica fotovoltaico sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3.....	89
Tabela 58 – Economia média mensal de energia elétrica – sistema PV/T edificação-modelo 3.....	89
Tabela 59 – Custos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3	90
Tabela 60 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2	90
Tabela 61 – Valor Presente Líquido sistema PV/T edificação-modelo 2.....	91
Tabela 62 – Métricas e análises sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – consumo médio residencial mensal por Estado.....	38
Gráfico 2 – Distribuição dos domicílios por classe econômica	39
Gráfico 3 - Consumo médio mensal por classe econômica	39
Gráfico 4 - Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema fotovoltaico edificação-modelo 1.....	50
Gráfico 5 – Comparativo de dias chuvosos mensais na cidade de Vitória/ES	51
Gráfico 6- Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema termossolar edificação-modelo 1.....	55
Gráfico 7 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1.....	61
Gráfico 8 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	67
Gráfico 9 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema termossolar edificação-modelo 2.....	71
Gráfico 10 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2.....	77
Gráfico 11 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado edificação-modelo 3	82
Gráfico 12 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema termossolar edificação-modelo 3.....	86
Gráfico 13 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3.....	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.2	ESTRUTURA	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	RADIAÇÃO SOLAR.....	19
2.2	ENERGIA SOLAR TÉRMICA.....	20
2.3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	20
2.4	SISTEMAS HÍBRIDOS PVT	23
2.4.1	FUNCIONAMENTO.....	25
2.4.2	Configurações mais usuais do sistema híbrido PV/T	26
2.4.3	No Brasil	26
2.5	ENGENHARIA ECONÔMICA.....	27
2.5.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	27
2.5.2	Valor Presente Líquido (VPL)	28
2.5.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	28
2.5.4	Payback Simples (PBS)	29
2.5.5	Payback Descontado (PBD)	30
2.6	ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS	30
3	MÉTODO	31
3.1	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	31
3.2	IRRADIÂNCIA DO LOCAL	31
3.3	DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO	32
3.3.1	Cálculo da potência requerida	32
3.3.2	Equipamentos	32
3.4	DIMENSIONAMENTO TERMOSSOLAR	34
3.4.1	Equipamentos	33

3.5	DIMENSIONAMENTO SISTEMA HÍBRIDO PV/T	35
3.5.1	Equipamentos	36
3.6	ANÁLISE ECONÔMICA	36
4	Estudo de Edificações	37
4.1	EDIFICAÇÕES-MODELO REPRESENTATIVAS.....	40
4.1.1	Edificação-modelo 1	40
4.1.2	Edificação-modelo 2	41
4.1.3	Edificação-modelo 3	42
5	Aplicação do método para edificações-modelo	44
5.1	LOCAL DE INSTALAÇÃO	44
5.1.2	Irradiância do Local	44
5.2	CUSTO DE OPORTUNIDADE E REAJUSTE ENERGÉTICO	44
5.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA EDIFICAÇÃO-MODELO 1.....	45
5.3.1	Dimensionamento sistema fotovoltaico edificação-modelo 1	45
5.3.1.1	Equipamentos sistema fotovoltaico	45
5.3.1.2	Geração média mensal de energia elétrica sistema fotovoltaico.....	46
5.3.1.3	Economia com e sem geração distribuída fotovoltaica.....	46
5.3.1.4	Despesas de capital e despesas operacionais.....	48
5.3.1.5	Indicativos econômicos e fluxo de caixa.....	48
5.3.2	Dimensionamento termossolar edificação-modelo 1	50
5.3.2.1	Equipamentos sistema termossolar edificação-modelo 1.....	52
5.3.2.2	Despesas de capital e operacionais sistema termossolar	53
5.3.2.3	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - termossolar edificação-modelo 1	53
5.3.3	Dimensionamento sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1	55
5.3.3.1	Equipamentos sistema híbrido edificação-modelo 1	56
5.3.3.2	Geração de energia sistema PV/T edificação-modelo 1.....	57

5.3.3.3	Despesas de capital e operacionais - PV/T edificação-modelo 1.....	59
5.3.3.4	Indicativos econômicos e fluxo de caixa.....	60
5.3.4	Parecer de viabilidade econômica edificação-modelo 1.....	62
5.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA EDIFICAÇÃO-MODELO 2.....	62
5.4.1	Dimensionamento fotovoltaico edificação-modelo 2.....	62
5.4.1.1	Equipamentos sistema fotovoltaico edificação-modelo 2	63
5.4.1.2	Geração média mensal energia elétrica - fotovoltaico edificação-modelo 2	63
5.4.1.3	Despesas de capital e operacionais - fotovoltaico edificação-modelo 2...65	
5.4.1.4	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - fotovoltaico edificação-modelo 2	65
5.4.2	Dimensionamento termossolar edificação-modelo 2.....	67
5.4.2.1	Equipamentos sistema termossolar edificação-modelo 2.....	68
5.4.2.2	Despesas de capital e operacionais - termossolar edificação-modelo 2 ..69	
5.4.2.3	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - termossolar edificação-modelo 2	69
5.4.3	Dimensionamento híbrido PV/T edificação-modelo 2.....	72
5.4.3.1	Equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2	72
5.4.3.2	Geração de energia elétrica - híbrido PV/T edificação-modelo 2	73
5.4.3.3	Despesas de capital e operacionais - PV/T edificação-modelo 2.....	75
5.4.3.4	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - PV/T edificação-modelo 2	75
5.4.4	Parecer de viabilidade econômica edificação-modelo 2.....	77
5.5.1	Dimensionamento fotovoltaico edificação-modelo 3.....	78
5.5.1.1	Equipamentos sistema fotovoltaico edificação-modelo 3	78
5.5.1.2	Geração média mensal energia elétrica - fotovoltaico edificação-modelo 3	79
5.5.1.3	Despesas de capital e operacionais - fotovoltaico edificação-modelo 3...80	

5.5.1.4	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - fotovoltaico edificação-modelo 3	81
5.5.2	Dimensionamento termossolar edificação-modelo 3	83
5.5.2.1	Equipamentos sistema termossolar edificação-modelo 3	84
5.5.2.2	Despesas de capital e operacionais - termossolar edificação-modelo 3	84
5.5.2.3	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - termossolar edificação-modelo 3	85
5.5.3	Dimensionamento híbrido PV/T edificação-modelo 3	87
5.5.3.1	Equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3	87
5.5.3.2	Geração de energia elétrica sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3	88
5.5.3.3	Despesas de capital e operacionais - PV/T edificação-modelo 3	90
5.5.3.4	Indicativos econômicos e fluxo de caixa - PV/T edificação-modelo 3	90
5.5.4	Parecer de viabilidade econômica edificação-modelo 3	92
6	CONCLUSÃO	93
6.1	RELATÓRIO DE PARECER TÉCNICO-ECONÔMICO	93
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	93
	REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

Preocupações com sustentabilidade e futuro, visando a preservação ambiental, são fatores predominantes para que os seres humanos busquem fontes de energias alternativas, limpas, renováveis e sustentáveis. Por ser uma fonte de energia abundante, e que pode ser utilizada de diversas formas, a energia proveniente do Sol destacou-se em relação às demais. Atualmente as principais formas de conversão para uso final dessa fonte primária de energia são através de geradores fotovoltaicos responsáveis por gerar energia elétrica e placas coletoras de calor que atuam na geração de energia térmica (RIBEIRO, 2016).

A energia elétrica produzida a partir luz proveniente do Sol é denominada de energia solar fotovoltaica. De modo geral, a conversão da radiação solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, que ocorre nas células solares, é uma forma direta de aproveitamento da energia solar (LOPEZ, 2012).

Outra maneira eficiente de aproveitar a energia solar é a utilização de calor para aquecimento de fluidos, usualmente água ou ar, através de coletores solares que absorvem a radiação proveniente do Sol que incide sobre os painéis, convertendo-a em energia térmica e assim, aquecendo o fluido. Este poderá ser armazenado em um reservatório térmico, para ser utilizado quando necessário (CRESESB, 2006).

Em meados da década de 1970, iniciou-se o desenvolvimento da tecnologia híbrida solar fotovoltaica e térmica, também conhecida como PV/T. Essa tecnologia consiste na união daquelas duas formas de aproveitamento de energia, permitindo a transformação da radiação solar em energia elétrica e também utilizar o calor das células solares para aquecimento de fluidos de forma simultânea (CHOW, 2010).

Além de agregar dois equipamentos em um único sistema, o sistema híbrido PV/T possui como vantagem necessitar de uma área de instalação menor quando comparado aos sistemas independentes e também reduz a quantidade de matéria prima utilizada, uma vez que para produzir energia elétrica e para aquecer o fluido é instalado o trocador de calor sob o módulo fotovoltaico (RIBEIRO, 2016).

Entretanto, ao optar pela utilização da energia solar, surgem dúvidas como qual tipo de sistema deve ser empregado para determinada situação, visando viabilidade técnica e econômica de investimento, para que o projeto seja considerado viável e haja retorno do capital investido.

Portanto, para responder essas questões, neste trabalho são selecionados diferentes cenários para análise comparativa técnico-econômica de investimento a longo prazo ao se optar pelo aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica e aquecimento de água, em aplicações residenciais.

Os cenários de avaliação consideram, além das características da edificação residencial, os custos de instalação, operação e manutenção; características nominais de desempenho para diferentes modelos de geradores fotovoltaicos; consumo e gastos de energia elétrica e de água quente; poder de aquisição do consumidor; área disponível para instalação; parâmetros de avaliação econômica tais como tempo de retorno do investimento e taxa interna de retorno; o intuito para a qual o sistema será utilizado; entre outras variáveis.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo um estudo técnico e econômico entre os sistemas Gerador Fotovoltaico, Aquecedor Termossolar e Sistema Híbrido Fotovoltaico-Térmico (PV/T) para aplicações residenciais. Para isso, serão considerados parâmetros como área de cobertura disponível para instalação dos sistemas, atratividade e viabilidade econômica de cada equipamento e projeto, demanda de energia elétrica e de água aquecida, e por fim, o poder aquisitivo do morador. Portanto, será necessário realizar as seguintes etapas:

- avaliar aspectos como demanda de energia elétrica e de água aquecida, área de cobertura disponível para instalação e poder aquisitivo de moradores, para edificações uni e multifamiliares, com a finalidade de definir edificações-modelo para representarem as edificações do estudo comparativo;
- realizar levantamento de equipamentos Fotovoltaicos, Térmicos e PV/T disponíveis no mercado e coletar dados de características técnicas, custo de aquisição, de instalação e de operação e manutenção;

- fazer análise de viabilidade técnica e econômica de investimento para instalação dos sistemas e dos equipamentos para cada edificação-modelo definida;
- emitir um parecer técnico-econômico que recomende o tipo mais adequado de equipamento para cada edificação-modelo.

1.2 ESTRUTURA

Este capítulo 01 aborda a introdução ao tema do trabalho e cita os objetivos específicos que serão realizados ao decorrer da elaboração do projeto. Além disso, cita a estrutura para elaboração deste trabalho.

O capítulo 02 aborda fundamentos teóricos e principais conceitos sobre sistema Gerador Fotovoltaico, Aquecedores Termossolares e Sistemas Híbridos PV/T, para melhor compreensão deste trabalho. Nesse mesmo capítulo, também são citados de forma sucinta algumas pesquisas realizadas no mundo e no Brasil que cooperaram para o desenvolvimento dessa tecnologia.

O capítulo 03 apresenta de forma analítica a metodologia empregada para realização do dimensionamento fotovoltaico, termossolar e Híbrido PV/T em edificações-modelos, de forma que possa ser praticada por diferentes grupos de consumidores, sejam eles de baixa ou alta tensão.

O capítulo 04 discorre de forma indutiva sobre as características das edificações brasileiras, tais como área e consumo médio de energia elétrica.

O capítulo 05 demonstra, de forma analítica, a aplicação do método apresentado no Capítulo 03 para duas diferentes edificações-modelo e por fim tem o objetivo analisar a viabilidade econômica para cada situação aplicada.

O capítulo 06 apresenta a conclusão do trabalho e aponta possíveis ideias para futuros trabalhos baseados neste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

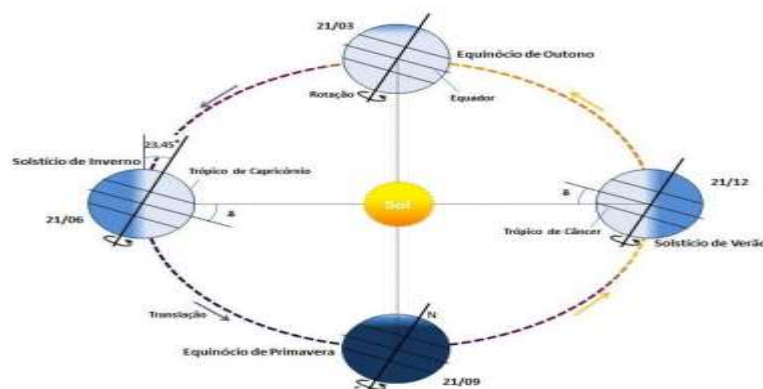
2.1 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol é a estrela-mãe do sistema solar, e todos os outros corpos presentes nesse sistema giram em torno dele. Possui massa de $1,99 \times 10^{30}$ kg e volume 1.300.000 vezes maior que o planeta Terra (CASALS, 2006).

Além de ser responsável pela manutenção da vida em nosso planeta, é também considerado uma fonte de energia inesgotável, possuindo potencial inimaginável de utilização através de sistemas de captação e conversão de energia (CASALS, 2006). A radiação solar é uma radiação eletromagnética que se propaga à velocidade de 300.000 km/s e ocupa uma faixa espectral de 0,1 μm a 5 μm , onde pode-se observar aspectos ondulatórios e corpusculares (CRESESB, 2006).

O planeta Terra percorre uma trajetória elíptica em seu movimento de translação, e tem seu plano equatorial inclinado em aproximadamente $23,5^\circ$ em relação à trajetória elíptica, conforme ilustra a Figura 1. Devido a essa inclinação, ao longo do ano há uma variação na elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, surgindo assim, as estações do ano. Portanto, a energia proveniente da radiação solar que determinado local da Terra recebe oscila devido às diferentes estações, dias e noites, climas de chuva ou dias nublados. Além disso, é válido dizer que se a superfície que recebe os raios solares estiver inclinada horizontalmente, parte da radiação poderá ser refletida pelo ambiente. Assim, para se aproveitar o máximo da radiação incidente, os painéis são instalados com ângulo igual ao da latitude da zona onde se encontram (CRESESB, 2006).

Figura 1 - Órbita da Terra em torno do Sol



Fonte: Pinho (2014)

2.2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar térmica consiste na utilização da energia proveniente do sol, em forma de calor, sendo captada através de painéis solares térmicos, representados pela Figura 2, conhecidos também como coletores, e utilizada para aquecimento de fluidos, geralmente água, óleo ou ar, dependendo do tipo de painel e da finalidade de uso. Esse fluido poderá ser armazenado em um reservatório térmico e utilizado posteriormente. Usualmente, em aplicações prediais essa energia é utilizada para aquecimento de água para chuveiros e piscinas, aquecimento de ambientes, entre outros (RIBEIRO, 2016).

Figura 2 – Painel solar térmico



Fonte: *SunEnergy* (2020)

Para dimensionar o volume do reservatório térmico e da área necessária dos painéis solares térmicos é essencial que alguns aspectos sejam considerados, como por exemplo o número de pessoas que utilizarão o sistema de aquecimento, a demanda de água aquecida, vazão dos equipamentos como chuveiro elétrico, temperatura ambiente, entre outros (RIBEIRO, 2016).

2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em meados do século XIX o cientista francês Edmond Becquerel descobriu a existência da diferença de potencial entre as extremidades de uma estrutura de materiais semicondutores quando expostos a luz. Assim então, foi verificado pela primeira vez a conversão de energia solar em energia elétrica. Em 1876 foi montado o primeiro aparato fotovoltaico, entretanto, somente em 1956 foi iniciado o processo de produção industrial (CRESESB, 2006).

Inicialmente as células fotovoltaicas foram utilizadas em programas espaciais, acarretando assim em avanços na tecnologia fotovoltaica, uma vez que estudos e pesquisas eram realizados com intuito de aprimorar a eficiência das células e também o seu processo de fabricação (CRESESB, 2006).

Por volta de 1970 o mundo encontrava-se em uma grande crise mundial, conhecida como crise do petróleo, e a partir desse momento novas formas de produção de energia foram buscadas para solucionar tal problema. Através da intensificação de pesquisas, foi incitada a utilização das células fotovoltaicas não mais apenas de modo restrito para programas espaciais, mas também na utilização no meio terrestre, para gerar energia elétrica. Assim, o custo de produção das células fotovoltaicas vem reduzindo ao longo dos anos, devido à ampliação do mercado e inserção de várias empresas na área (CRESESB, 2006; ONUDI, 2013).

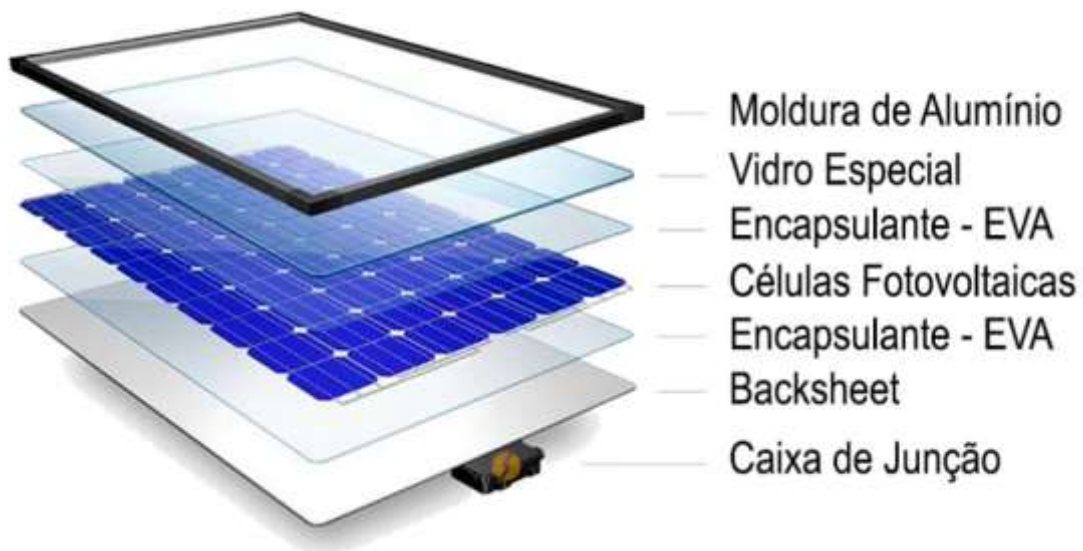
Atualmente, utiliza-se o silício como material base das células fotovoltaicas, devido ele ser um semicondutor que forma redes cristalinas, uma vez que possui em seu átomo quatro elétrons que se ligam aos átomos vizinhos. Ao serem expostos a fótons, ocorrerá a geração de pares elétrons-lacunas nas células, que proporcionam a geração de corrente elétrica através da junção. Assim, se conectadas duas extremidades da célula através de um fio, haverá circulação de elétrons (CRESESB, 2006).

Existem inúmeros tipos de células que convertem a energia solar em energia elétrica. Entretanto, as mais usuais e comercializadas na atualidade são as de silício monocristalino e de silício policristalino. É válido dizer que, o processo de preparação das células policristalinas é menos rígido comparado às de silício monocristalino, sendo conseqüentemente mais baratas, porém com eficiência reduzida. Um módulo fotovoltaico pode ser concebido pela associação em série dessas células, e a quantidade de células utilizadas varia de acordo com os parâmetros desejados, como por exemplo a potência elétrica da placa, e também de fabricante para fabricante (CRESESB, 2006).

Para que o módulo fotovoltaico tenha sua vida útil aumentada, é necessário que ele resista a exposições climáticas intensas. Portanto, como pode-se observar na Figura

3, os módulos fotovoltaicos são compostos por uma moldura de alumínio, com objetivo de dar rigidez ao módulo e possibilitar sua fixação. Além disso, também são constituídos por uma camada de vidro temperado que deve ser transparente para permitir a passagem da luz, porém, encoberto por uma camada anti-refletora que proporciona maior eficiência térmica. Vale ressaltar que o vidro também possui o papel de proteger as células de eventuais impactos, como por exemplo chuvas de granizo e contato com animais. Após o vidro, tem-se uma camada de Etileno-Vinil-Acetato (EVA), que é um material de plástico que tem a finalidade de proteger a camada de células fotovoltaicas que vêm logo em seguida. Além disso, há outra camada de EVA sob a camada de silício. Por fim, há uma camada de *backsheet*, também conhecida como tampo inferior, normalmente fabricadas com placas de alumínio e Tedlar – polietileno tereftalato, que atua como barreira de umidade, e tem por finalidade isolar a placa e dar-lhe rigidez. A Figura 3 representa estes componentes e camadas do módulo PV (ARCURI; REDA; DE SIMONE, 2014).

Figura 3 - Componentes e camadas do módulo fotovoltaico.



Fonte: Portal Solar (2018)

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL N°482/2012, os sistemas fotovoltaicos possuem dois tipos de classificação, sendo eles os sistemas isolados, também conhecidos como *OFF GRID*, e os sistemas integrados à rede, denominados como *ON GRID* ou *GRID-TIE*. Os sistemas isolados geralmente utilizam baterias para armazenamento da energia gerada. Já para os sistemas integrados à rede, não há a

necessidade de baterias, uma vez que o excedente de energia elétrica produzido pode ser transmitido para a rede (ANEEL, 2012). Neste estudo, será utilizado o sistema *ON GRID*.

É possível afirmar que os sistemas fotovoltaicos convencionais da atualidade não são perfeitos, portanto parte da radiação incidente sobre os painéis solares é convertida em eletricidade, já outra fração é responsável por gerar calor, o que acarreta na elevação da temperatura das células fotovoltaicas e, por sua vez, na diminuição da eficiência do sistema (CRESESB, 2006).

De acordo com Villalva (2015) é possível calcular a energia produzida pelo módulo fotovoltaico a partir da Equação 1.

$$E_{MÓDULO} = E_S \times A_M \times n_M \quad (1)$$

Onde:

$E_{MÓDULO}$ = energia produzida pelo módulo diariamente, Wh;

E_S = insolação diária, Wh/m²/dia;

A_M = área da superfície do módulo, m²;

n_M = eficiência do módulo.

2.4 SISTEMAS HÍBRIDOS PVT

Um módulo fotovoltaico comum converte aproximadamente de 4 a 17% da radiação solar incidente sobre ele em eletricidade, ou seja, mais de 80% da energia solar é convertida em calor (CHOW, 2010).

Devido a isso, ocorrem consequências indesejadas, como por exemplo elevação da temperatura das células, que propicia perda de eficiência, geralmente de 0,4% por aumento de 1°C acima de sua temperatura de referência de operação. Essa elevação de temperatura, em casos extremos, também pode ocasionar dano estrutural permanente do módulo (CHOW, 2010).

Portanto, ao resfriar as células fotovoltaicas a partir da utilização de fluidos como ar ou água, pode-se melhorar o rendimento da conversão fotovoltaica através da transferência de calor entre o módulo fotovoltaico e o fluido. Além disso, é possível reutilizar a energia térmica extraída pelo refrigerante, proporcionando elevação do rendimento energético por unidade de área (CHOW, 2010).

A principal vantagem do sistema híbrido PV/T está relacionada com a possibilidade de cogeração de energia, não necessitando assim da instalação de dois sistemas separados, o que resultaria em uma área necessária maior para a produção de energia elétrica e aquecimento de um fluido (OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

Em meados da década de 1970, estudos teóricos e experimentais da tecnologia PV/T foram documentados, onde pesquisadores como Lobo, Floreschuetz, Kern e Russel, citados por Chow em seus trabalhos, apresentaram a ideia do uso de água ou ar como fluido de refrigeração de módulos fotovoltaicos (CHOW, 2010).

Nas décadas de 1980 e 1990, Garg e seus companheiros de trabalho realizaram estudos analíticos e experimentais detalhados em sistemas híbridos PV/T com ar e com outros diversos fluidos. Através dessas pesquisas, concluíram que, em termos de desempenho geral de energia, a configuração de coletores de vidro duplo de isolamento é melhor que a configuração de vidro único, embora seu custo seja mais elevado (BHARGAVA; GARG; AGARWAL, 1991; CHOW, 2010).

Em 1995, foi proposto por Bergene e Lovvik um modelo detalhado de um sistema híbrido PV/T com água como fluido refrigerante. Através desse estudo, foi possível observar que o tamanho do tanque de armazenamento e a quantidade de água armazenada influenciam na temperatura final da água, já que em tanques muito grandes e cheios, a água não atingia temperaturas tão elevadas em relação a tanques menores (BERGENE; LØVVIK, 1995; CHOW, 2010).

Além disso, no final da década de 1990, foram realizados testes experimentais do sistema PV/T em Ryadh, capital da Arábia Saudita. Nesses experimentos, foi constatado que as altas temperaturas no verão podem ocasionar perdas de até 30% em eficiência elétrica em sistemas híbridos PV/T, embora seja elevada a eficiência

térmica (HARBI; EUGENIO; ZAHRANI, 1998; CHOW, 2010).

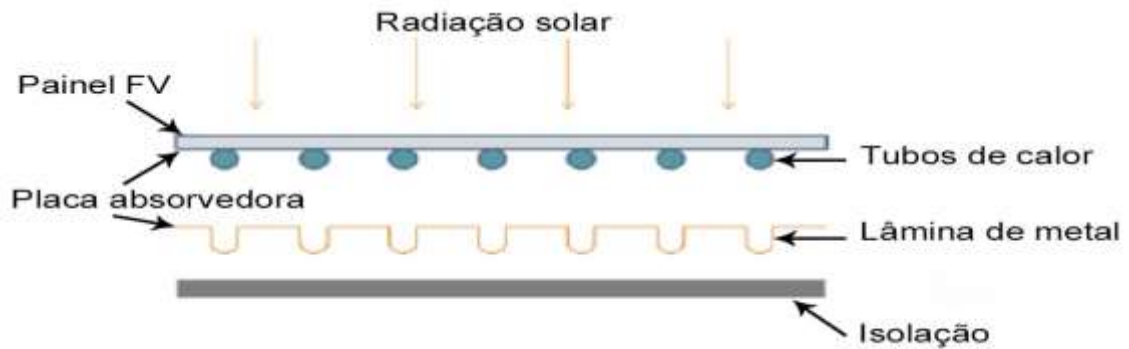
Em 2009, Ibrahim *et al*, estudou e simulou o desempenho de coletores com sete diferentes configurações de tubulação. O objetivo da pesquisa foi descobrir em qual configuração de canos haveria maior eficiência térmica, e assim, após a realização dos estudos, concluiu-se que quanto mais próximos os canos estiverem um dos outros e também da placa, melhor será a transferência de calor entre eles. Assim, a configuração espiral foi a que obteve melhores resultados, com a eficiência térmica de 50,12% e a melhor eficiência elétrica foi de aproximadamente 12% (IBRAHIM *et al.*, 2009).

2.4.1 Funcionamento

O sistema híbrido PV/T basicamente consiste em um módulo fotovoltaico fixado com uma placa absorvedora de calor em sua parte traseira, a qual é responsável por refrigerar o sistema fotovoltaico, diminuindo sua temperatura, e conseqüentemente, melhorando sua eficiência elétrica. Além disso, um fluido, geralmente água, circula por tubos fixados na placa absorvedora, captando a energia térmica do sistema, que antes seria perdida em forma de calor, e agora será coletada e aproveitada de acordo com a finalidade à qual foi destinado o coletor híbrido PV/T. Vale ressaltar que esse fluido pode ser armazenado em reservatórios térmicos para usos posteriores, como por exemplo, banhos quentes e aquecimentos de ambientes (OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

A Figura 4 representa um corte transversal de um coletor PV/T simples, onde uma placa absorvedora e um módulo fotovoltaico estão acoplados. Uma fina lâmina de metal é fixada entre esses dois componentes, e é responsável por proporcionar um melhor contato térmico entre o módulo fotovoltaico e os tubos de calor, logo, contribuindo para uma melhora na transferência de calor entre o módulo fotovoltaico e o fluido (OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

Figura 4 - Seção transversal de um coletor PV/T simples.



Fonte: Adaptado de Hongbing *et al* (2015, p.295)

2.4.2 Configurações mais usuais do sistema híbrido PV/T

Ao longo dos anos, os coletores solares híbridos PV/T passaram por diversas mudanças e adaptações, com intuito de entender seus princípios de funcionamento de forma mais clara e obter melhorias em sua eficiência. Assim sendo, é comum encontrar diferentes configurações dessa tecnologia. Os principais tipos de sistemas híbridos PV/T estudados e analisados ao longo do tempo são os coletores com fluido de trabalho água, ar ou ambos, conhecidos como coletores solares PV/T água, coletores solares PV/T ar e coletores solares PV/T água e ar (CHARALAMBOUS *et al.*, 2007; OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

Nos coletores PV/T do tipo água, a recuperação do rendimento na produção de energia elétrica varia de 30% a 50% (LOPEZ, 2012). Devido ao ar possuir maior resistividade térmica e uma reduzida transferência de calor, os coletores PV/T água apresentam um desempenho melhor quando comparados com os PV/T ar (OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

Neste trabalho, para realização dos estudos e análises de casos, será utilizado o sistema híbrido PV/T água, uma vez que em aplicações residenciais se usa muita energia para aquecimento de água para banho, sendo o aquecimento de ar menos usual.

2.4.3 No Brasil

O Brasil recebe elevados índices de radiação solar e possui regiões com altas temperaturas, tendo potencial de se tornar referência no aproveitamento de energia

solar. Assim, pesquisadores brasileiros estudam sobre os coletores híbridos PV/T, com o intuito de inserir essa vertente entre as formas alternativas de produção de energia elétrica (OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

Em 2014, foi construído um protótipo com uma placa absorvedora e tubos internos, com circulação natural de água, células fotovoltaicas policristalinas e um reservatório térmico. O intuito do experimento foi de analisar o comportamento diário do sistema PV/T, e se deu ao longo de quatro dias consecutivos. Foi obtido como resultado eficiência térmica média do coletor de 33,1%, eficiência elétrica em torno de 13%. Além disso, quando comparado com um gerador fotovoltaico convencional disponível no mercado, com características semelhantes ao sistema utilizado no estudo e para um período determinado de horas de radiação solar, a energia elétrica gerada pelo coletor PV/T foi de 8,3% superior em relação ao gerador fotovoltaico. Através desses dados, foi possível para Viana (2014) constatar a viabilidade técnica e econômica do sistema para aplicações residenciais, permitindo assim observar que o aproveitamento da área e o retorno de investimento desse sistema, quando comparado aos sistemas convencionais fotovoltaicos e termossolares separados, se sobressaem (VIANA, 2014; OLIVEIRA; GUERRA; VIEIRA, 2019).

2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA

A base para métodos utilizados em engenharia econômica é o conhecimento em matemática financeira, ou seja, a ciência exata que relaciona tempo e dinheiro. A engenharia econômica permite avaliar aspectos econômicos para possíveis soluções de problemas apresentados. Para isso, existem ferramentas que permitem tomar decisões com maiores probabilidades de acerto em relação à economia. Tais ferramentas são Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* Simples (PBS), *Payback* Descontado (PBD) entre outras (HIRSCHFELD, 2000).

2.5.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Com a intenção de obter lucro em um investimento, espera-se receber uma quantidade maior de dinheiro do que o capital investido, ou seja, espera-se um retorno sobre o que foi aplicado. A TMA é um critério utilizado para aprovação de um investimento seguro, isto é, um baixo risco de investimento, e que deve possuir um

valor mais alto que uma taxa esperada em um investimento alternativo. Portanto, para que a proposta de aplicação seja considerada segura, ela deve apresentar valores maiores ou iguais à TMA (BLANK; TARKIN, 2008).

2.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é um indicador que mostra a viabilidade de um projeto de investimento. Para isso, ele traz o fluxo de caixa para a data de início e soma ao capital inicial usando a TMA como taxa de desconto. Portanto, o VPL é um dos métodos mais efetivos de avaliação de viabilidade econômica de um projeto em longo prazo (ROSS; WESTERFIELD; JORDAN, 2010).

De acordo com Thuesen e Fabrycky (2001), o VPL é um valor absoluto na unidade monetária considerada, independente de qual seja ela, e é calculado através da Equação 2.

$$VPL(i) = \sum_{t=0}^n \frac{F(t)}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Onde:

i representa a taxa de desconto;

t representa o período que está sendo avaliado;

$F(t)$ representa o fluxo genérico para $t = (0... n)$ que pode ser positivo ou negativo;

$VPL(i)$ representa o valor presente líquido descontado de uma taxa i ;

n representa o número de períodos.

Quanto mais positivo for o valor de VPL, mais atrativo economicamente é o projeto (TORRES, 2014).

2.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de juros em que as entradas são iguais às saídas de caixa, produzindo VPL nulo. Ardível (2015) sugere que seja calculada a taxa que zere o VPL. Para que o projeto seja considerado economicamente viável, a TIR deve ser um valor superior à TMA. Portanto, a atratividade de um investimento está diretamente relacionada com o valor da TIR

(ARDÍVEL, 2015).

De acordo com Thuesen e Fabrycky (2001) a TIR é um índice que mensura a eficiência do investimento em relação ao tempo e é calculada pela Equação 3.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{F(t)}{(1+i)^t} = 0 \quad (3)$$

Onde:

i é a taxa de retorno, ou TIR;

t representa o período que está sendo avaliado;

$F(t)$ é o fluxo de caixa genérico para cada período t ;

n representa o número de períodos.

2.5.4 Payback Simples (PBS)

O período de tempo que é necessário para recuperar o capital inicial investido em determinado projeto é denominado de *Payback*. Utiliza-se essa ferramenta para avaliar a atratividade econômica de um investimento e mensurar em qual período de tempo o investidor liquida seus investimentos e começa a gerar lucros com o projeto (THUESEN; FABRYCKY, 2001).

O método do *Payback* Simples consiste na capitalização do investimento de maneira que as taxas de juros são desconsideradas, ou seja, nulas. Portanto, essa análise não condiz com a realidade uma vez que o dinheiro investido não tem o mesmo valor ao longo do período de avaliação, devido à taxa de desconto (HIRSCHFELD, 2000).

De acordo com Thuesen e Fabrycky (2001) *Payback* simples é o menor valor de número de períodos avaliados que satisfaça a Equação 4.

$$\sum_{t=0}^n F(t) \geq 0 \quad (4)$$

Onde:

$F(t)$ é o valor do fluxo de caixa para cada período t ;

n é o número total de períodos avaliados.

Portanto, para que o PBS seja considerado viável, o tempo necessário para o *payback* deve ser menor ou igual ao tempo fixado pelo investidor para ter seu investimento compensado (THUESEN; FABRYCKY, 2001).

2.5.5 Payback Descontado (PBD)

Para o cálculo do *Payback* Descontado utiliza-se a taxa de desconto para estipular o tempo necessário para recuperar o capital investido em determinado projeto. Portanto, o PBD leva em consideração parâmetros reais e é considerado mais confiável para análise de investimento quando comparado ao método do PBS (VILELA et al., 2013).

De acordo com Thuesen e Fabrycky (2001) o *Payback* Descontado é calculado a partir da Equação 5.

$$\sum_{t=0}^n \frac{F(t)}{(1+i)^t} \geq 0 \quad (5)$$

Onde:

i é taxa de juros utilizada;

t é o período que está sendo avaliado;

$F(t)$ é o fluxo de caixa para cada período t ;

n é o número total de períodos.

2.6 ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS

A análise técnica-econômica de investimento é utilizada para identificar qual alocação financeira é mais adequada para diferentes alternativas existentes de investimento. Através de métodos de indicadores financeiros como *Payback*, VPL e TIR, é possível enxergar se há ou não rentabilidade no projeto. Dessa forma, ao se considerar a realização de uma aplicação, é indispensável efetuar uma análise técnica-econômica com a finalidade de orientar a decisão do investidor (MARCHIORO; DAHMER; SOUZA, 2018).

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta de forma analítica a metodologia empregada para realização do dimensionamento fotovoltaico, termossolar e híbrido PV/T em edificações-modelo, de forma que possa ser praticada por diferentes grupos de consumidores.

3.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O cálculo para o dimensionamento do sistema híbrido PV/T se inicia a partir da análise e levantamento do consumo de energia elétrica e do gasto médio de energia por meio do chuveiro elétrico, em quilowatt-hora nos últimos 12 meses. A geração de energia térmica do sistema PV/T será responsável por reduzir o consumo de energia elétrica por chuveiro elétrico, assim consequentemente a demanda de energia requerida por meio do sistema fotovoltaico será menor.

De acordo com a Resolução Normativa N°414 de 9 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o custo de disponibilidade é a quantia cobrada pela distribuidora de energia, sendo o seu pagamento necessário para que a energia elétrica seja oferecida ao consumidor. Essa taxa é responsável por cobrir o custo da infraestrutura que possibilita o fornecimento de energia elétrica para a população. Assim, mesmo que não haja consumo de energia elétrica por uma unidade consumidora do grupo B - baixa tensão, será cobrada a taxa devido a disponibilidade, sendo de 30 kWh para consumidores monofásicos, 50 kWh para bifásicos e 100 kWh para consumidores trifásicos (ANEEL, 2010).

3.2 IRRADIÂNCIA DO LOCAL

Após a análise do consumo médio mensal de energia elétrica, é essencial calcular a potência necessária para gerar a energia requerida e para isso é preciso obter os dados de irradiância do local e a inclinação e orientação azimutal que se deseja instalar os módulos, sejam eles fotovoltaicos, termossolares ou híbridos PV/T.

Através do *Software SunData* disponibilizado pelo Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - Cresesb, é possível obter os valores de irradiância para inclinação igual ao plano horizontal ou igual à latitude do local. A Figura 5 exemplifica a irradiância de um determinado local situado na cidade de Aracruz – Espírito Santo.

Figura 5 – Irradiância do local

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
0° N	6,31	6,60	5,45	4,68	3,96	3,64	3,75	4,49	4,97	5,16	5,25	6,05	5,03
20° N	5,73	6,30	5,58	5,19	4,73	4,52	4,58	5,16	5,24	5,03	4,86	5,44	5,20

Fonte: Cresesb (2022)

3.3 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

3.3.1 Cálculo da potência requerida

De acordo com Ferreira (2014) através da Equação 6 é possível calcular a potência requerida em quilowatt-pico para gerar a energia elétrica necessária em quilowatt-hora:

$$E \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \right] = P[\text{kWp}] \cdot HSP \left[\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right] \cdot d \left[\frac{\text{dias}}{\text{mês}} \right] \cdot (1 - p) \quad (6)$$

Sendo:

E = energia elétrica gerada $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \right]$;

P = potência requerida [kWp];

HSP = horas de sol pleno $\left[\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right]$;

d = número de dias do mês;

p = perdas do sistema.

Para fins de cálculo, adota-se como premissa um percentual de possíveis perdas de potência do *kit* gerador fotovoltaico. Perdas essas que podem ser ocasionadas por sujeira, fator de temperatura, perdas por cabeamento de corrente contínua e corrente alternada, *mismatch*, degradação dos módulos ao longo dos anos, entre outros (IKKI, 2001)

3.3.2 Equipamentos

Ao fim da realização do cálculo da potência requerida pelo sistema, inicia-se a busca pelos equipamentos, principalmente inversores e módulos fotovoltaicos.

Após selecionar a potência dos módulos fotovoltaicos, é possível encontrar a quantidade necessária de módulos dividindo a potência do módulo pela potência requerida do sistema, calculada através da Equação 6. Dessa forma, conhecendo as dimensões do módulo, obtidas através da ficha técnica de dados, será possível analisar a área necessária para instalação do *kit* gerador fotovoltaico.

De posse do cálculo dos módulos fotovoltaicos, pode-se determinar a potência adequada do inversor. Há disponível no mercado diversas marcas e modelos e através das suas respectivas fichas técnicas de dados é possível encontrar as características técnicas, como potência máxima de entrada admitida, tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, entre outras.

3.4 DIMENSIONAMENTO TERMOSSOLAR

Além dos dados de consumo de energia elétrica e da irradiância do local, para realização do dimensionamento termossolar é necessário obter dados da demanda média mensal de água aquecida, seja para banho, ou outras finalidades.

Além disso, é necessário dimensionar o volume do reservatório térmico baseado na demanda diária de água aquecida e na quantidade de dias sobressalentes para situações de climas sem ou com pouco sol, ou seja, nublados ou chuvosos.

A partir da Equação 7 é possível estabelecer o consumo mensal de energia elétrica com a utilização do chuveiro elétrico:

$$CE = \frac{Pc \cdot M \cdot B \cdot T \cdot d}{60} \quad (7)$$

Sendo,

CE = consumo do chuveiro elétrico $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \right]$;

Pc = potência do chuveiro [kW];

M = número de moradores;

B = número de banhos por dia por morador;

T = tempo médio gasto por banho [min];

d = número de dias do mês.

Além disso, a energia produzida pelo sistema termossolar pode ser calculada através da Equação 8:

$$E = IR \cdot d \cdot A \cdot Ef \quad (8)$$

Sendo,

E = energia [kWh];

IR = irradiância média mensal $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{dia} \cdot \text{m}^2} \right]$;

d = número de dias do mês;

A = área de módulos [m^2];

Ef = eficiência do sistema.

Após selecionar o tamanho do reservatório térmico baseado na demanda diária de água quente e calcular a energia produzida pelo sistema termossolar, é possível através da Equação Fundamental da Calorimetria calcular a variação de temperatura da água (BORGNAKKE *et al*, 2018). Sabe-se, de acordo com GHISI (2015), que a temperatura ideal da água para banho é de aproximadamente 36°C devido ser equiparada à temperatura média do corpo do ser humano. Assim, é possível relacionar a temperatura média da água para determinado mês e a sua respectiva variação de temperatura devido à energia térmica produzida pelo sistema termossolar e verificar se a água atingirá a temperatura ideal para banho, minimizando assim a necessidade da utilização do chuveiro elétrico como apoio energético.

3.4.1 Equipamentos

Após realizar o dimensionamento do consumo mensal de energia elétrica do chuveiro elétrico, é possível calcular a área de módulos termossolares necessária para atingir a energia térmica requerida pelo sistema, de acordo com a Equação 8.

Além disso, também é possível selecionar o volume dos reservatórios térmicos de água baseado na demanda diária de água aquecida e na quantidade de dias sobressalentes desejados.

3.5 DIMENSIONAMENTO SISTEMA HÍBRIDO PV/T

Para iniciar o cálculo do dimensionamento do sistema híbrido PV/T, é necessário adotar que a eficiência térmica dos coletores PV/T é menor que dos coletores térmicos, uma vez que para atingir o mesmo desempenho do sistema solar térmico clássico, é necessário que a área de superfície do PV/T seja o dobro da área do coletor solar (Brottier and Bennacer, 2020).

Dessa forma, baseado nos dados de consumo de energia elétrica e demanda de água aquecida para banho, dimensiona-se o sistema para que não haja excesso de geração de energia, não ocorrendo assim sobredimensionamento. Para tal, utiliza-se do método de tentativa e erro, combinando a Equação 6, Equação 7 e Equação 8, com a finalidade de encontrar a energia elétrica consumida através da utilização do chuveiro elétrico, a energia elétrica requerida gerada pelos módulos fotovoltaicas, levando em consideração não apenas o histórico de consumo de energia mas também a energia elétrica que seria consumida pelo chuveiro elétrico e que será abatida pela energia térmica produzida pelo sistema térmico, e por fim, a área dos módulos termossolares. Além disso, é necessário selecionar o volume do reservatório térmico baseado na demanda diária de água aquecida e na quantidade de dias sobressalentes para situações de climas com pouca incidência de irradiação solar, ou seja, nublados ou chuvosos.

Após encontrar a área necessária para o sistema termossolar e dimensionar o volume do reservatório térmico, utiliza-se da Equação Fundamental da Calorimetria para calcular a variação da temperatura da água, tornando-se possível analisar se a energia térmica gerada pelo sistema é suficiente para aquecer a água até a temperatura ideal de banho, minimizando necessidade de complementar com chuveiro elétrico. Assim, é pode-se verificar a potência requerida pela parte fotovoltaica do sistema híbrido, através Equação 6.

Depois de definir a potência e área necessária para gerar a energia requerida, define-se o inversor a ser utilizado baseado na folha de dados técnicos.

3.5.1 Equipamentos

Após realizar o dimensionamento do sistema híbrido PV/T, é possível selecionar a quantidade de coletores termossolares baseando-se em sua área para atingir a energia térmica requerida pelo sistema, de acordo com a Equação 8, e na potência elétrica requerida pelo sistema de através da Equação 6. Por fim, define-se o inversor a ser utilizado baseado na folha de dados técnicos.

3.6 ANÁLISE ECONÔMICA

Analisar demonstrações financeiras nada mais é do que avaliar a eficiência prática de um projeto e ter a compreensão de sua viabilidade econômica. Dessa forma, o primeiro passo a ser dado após o dimensionamento do sistema é averiguar a o fornecimento de energia elétrica e a economia monetária ocasionados pela utilização da geração distribuída. Dessa forma, é possível examinar se haverá excedente de energia gerada pelo sistema proporcionando créditos que poderão ser utilizados nos meses seguintes que forem necessários.

Todavia, é válido dizer que para sistemas fotovoltaicos, de acordo com a Resolução Normativa ANEEL N° 482 de 17 de abril de 2012, toda energia elétrica produzida pelo sistema é primeiramente abatida do consumo mensal para somente depois ser acrescido a taxa mínima de disponibilidade da rede na fatura (ANEEL, 2012).

Após realização da análise econômica energética anual gerada pelo sistema e tendo conhecimento do preço da energia elétrica cobrada pela concessionária, é possível encontrar a economia anual.

Por fim, a partir do custo dos equipamentos, mão de obra e custos de operação e manutenção é possível calcular o fluxo de caixa do projeto e conseqüentemente os indicadores econômicos. Além disso, é válido adotar uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e um reajuste energético anual, resultando em um projeto mais fidedigno à realidade.

4 ESTUDO DE EDIFICAÇÕES

Este capítulo discorre de forma indutiva sobre as características das edificações brasileiras, tais como área, quantidade de habitantes, consumo de água quente e consumo médio de energia elétrica.

A partir de dados disponibilizados pelos relatórios de levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros realizado pelo do Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações – CB3E é possível traçar um perfil das unidades habitacionais (UHs) e da organização do *layout* das residências, sendo cerca de 90% dos casos com área inferior a 90 m² e possuem de dois a três dormitórios (CB3E, 2015).

Nesses relatórios foram analisadas 346 unidades habitacionais, espalhadas pelas cinco regiões geopolíticas do Brasil. Os resultados das análises das áreas das edificações mostraram a tendência do mercado de fornecer plantas entre 35 m² e 80m² (CB3E, 2015).

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio Contínua (PNAD) realizada pelo IBGE em 2019, existem 72,4 milhões de domicílios no Brasil. Destes, 85,6% são casas, 14,2% apartamentos e 0,2% habitações como cômodos ou cortiços. Além disso, em cada domicílio moram, em média, 2,9 pessoas. A maior média regional é na Região Norte, com 3,3 pessoas por habitação. Também de acordo com dados obtidos pelo IBGE, o brasileiro gasta em média de cinco a dez minutos por banho e toma em média de oito a doze banhos semanais (PNAD, 2019).

Além disso, a partir do Gráfico 1, disponibilizado pela ARSP – Agência de Regulação de Serviços Públicos e pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica, é possível visualizar que no ano de 2020 o consumo médio mensal residencial de energia elétrica no Brasil foi de 164,8 kWh/mês.

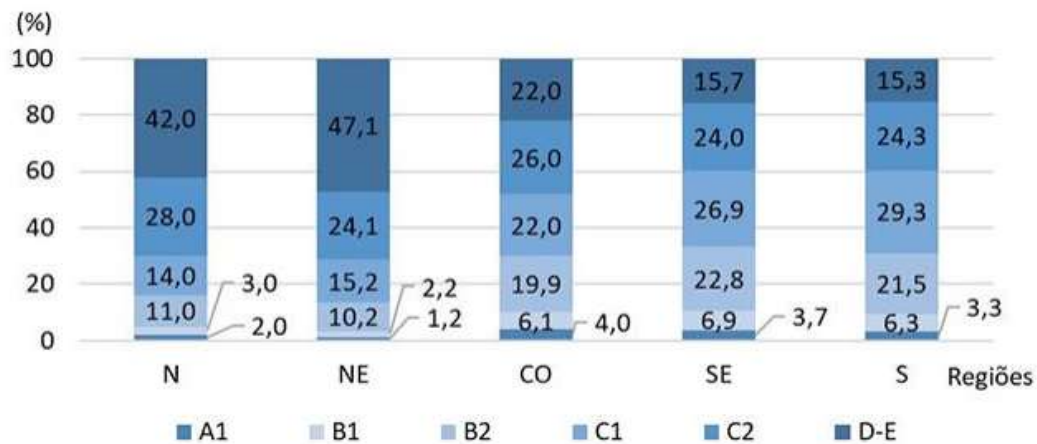
Gráfico 1 – consumo médio residencial mensal por Estado



Fonte: Agência de Regulação de Serviços Públicos e Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2019)

Através de medições históricas de consumo de energia elétrica em uma amostragem de domicílios, como por exemplo realizado por Silvia *et al* (2014) e de aplicações de questionários e entrevistas, como por exemplo as pesquisas de Posse de Eletrodomésticos e Hábito de Uso (PPH) realizadas pela Eletrobras, foi possível obter dados de distribuição dos domicílios entrevistados na pesquisa PPH 2018-2019 por classe econômica para cada região do Brasil, representada no Gráfico 2. Segundo a ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisas, o Critério de Classificação Econômica Brasil (CCEB) é uma ferramenta de segmentação econômica que utiliza PPHs para diferenciar a população. O critério adiciona pontos relacionados a cada característica domiciliar e realiza a soma total destes pontos, correspondendo então nos estratos de classificação econômica, definidos por A1, A2, B1, B2, C1, C2, D e E. Através dos dados contidos no Gráfico 2 é possível visualizar que para as regiões Norte e Nordeste, respectivamente 42,0% e 47,1% dos domicílios enquadram-se nas classes D-E. Já para as demais regiões geopolíticas, as classes B2, C1 e C2 são predominantes.

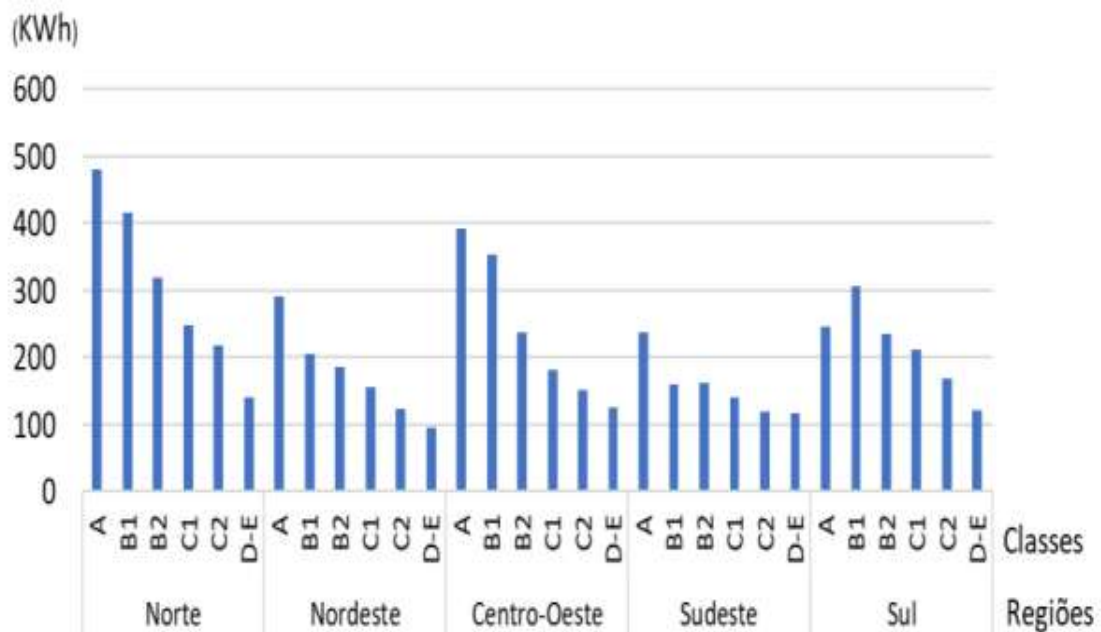
Gráfico 2 – Distribuição dos domicílios por classe econômica



Fonte: Eletrobras (2019)

Além disso, foi possível verificar o consumo médio mensal de energia elétrica dos domicílios entrevistados na PPH 2018-2019 por classe econômica para cada região do Brasil, e é possível visualizar através dos dados representado no Gráfico 3, que a maioria das classes econômicas apresentou consumo médio de energia elétrica menor que 300 kWh/mês.

Gráfico 3 - Consumo médio mensal por classe econômica



Fonte: Eletrobras (2019)

4.1 EDIFICAÇÕES-MODELO REPRESENTATIVAS

Nesta seção são selecionadas três edificações-modelo para representarem características gerais das edificações brasileiras apresentadas nas seções anteriores. Características essas tais como, consumo médio mensal de energia elétrica e demanda de água aquecida, área para instalação dos equipamentos, número de moradores, entre outras.

4.1.1 Edificação-modelo 1

Como a primeira edificação foi selecionado de forma hipotética o modelo de residência monofásica do grupo B – Baixa Tensão 127/220V, cujo as premissas são de consumo médio mensal de energia elétrica de 184 kWh/mês, três moradores e área de 50m² para instalação dos equipamentos. Além disso, foram consideradas como premissa para efeito de cálculo um total de 180 banhos mensais com gasto médio de 7 minutos por banho, potência do chuveiro de 5,4 kW e vazão média de 6 L/min. Através da Equação 9 é possível calcular a demanda de água quente.

$$DAQ = M \cdot B \cdot T \cdot Q \quad (9)$$

Sendo,

DAQ = demanda de água aquecida [L/dia]

M = número de moradores;

B = número de banhos por dia por morador;

T = tempo médio gasto por banho [min];

Q = vazão [$\frac{L}{min}$];

Assim, temos:

$$DAQ = 250 L$$

Além disso, através da Equação 7 é possível estimar o consumo médio de energia elétrica devido a utilização do chuveiro elétrico.

$$CE = 113 kWh/mês$$

Na Tabela 1 estão representados os dados característicos da edificação-modelo 1.

Tabela 1 – Características edificação-modelo 1

Características	
Consumo médio de energia elétrica (kWh/mês)	184
Potência do chuveiro elétrico (kW)	5,4
Quantidades de moradores	3
Quantidade de banhos por dia / morador	2
Tempo estimado para cada banho (min)	7
Média de dias por mês	30
Consumo do chuveiro elétrico (kWh/mês)	113
Vazão média do chuveiro (L/min)	6
Demanda de água quente (L/dia)	250

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.1.2 Edificação-modelo 2

Como segunda edificação-modelo foi selecionado de forma hipotética o modelo de residência bifásico do grupo B – Baixa Tensão 127/220V, cujo as premissas são de consumo médio mensal de energia elétrica de 350 kWh/mês e área de 80m² para instalação dos equipamentos. Além disso, foram consideradas como premissa total de duzentos e vinte e quatro banhos mensais para 4 moradores, com gasto médio de 7 minutos por banho, potência do chuveiro de 5,4 kW e vazão média de 6 L/min. Assim, através da Equação 9 é possível calcular a demanda de água quente.

$$DAQ = 336 \text{ L/dia}$$

Além disso, através da Equação 7 é possível estimar o consumo médio de energia elétrica devido a utilização do chuveiro elétrico.

$$CE = 151,2 \text{ kWh/mês}$$

Na Tabela 2 estão representados os dados característicos da edificação-modelo 2.

Tabela 2 – Características edificação-modelo 2

Características	
Consumo médio de energia elétrica (kWh/mês)	350
Potência do chuveiro elétrico (kW)	5,4
Quantidades de moradores	5
Quantidade de banhos por dia / morador	2
Tempo estimado para cada banho (min)	7
Média de dias por mês	30
Consumo do chuveiro elétrico (kWh/mês)	151,2
Vazão média do chuveiro (L/min)	6
Demanda de água quente (L/dia)	336

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.1.3 Edificação-modelo 3

Como terceira edificação-modelo foi selecionado de forma hipotética o modelo de residência trifásica do grupo B – Baixa Tensão 127/220V, cujo as premissas são de consumo médio mensal de energia elétrica de aproximadamente 570 kWh/mês e área de 100m² para instalação dos equipamentos. Além disso, foram consideradas como premissa total de trezentos e trinta e seis banhos mensais para 4 moradores, com gasto médio de 7 minutos por banho, potência do chuveiro de 5,4 kW e vazão média de 6 L/min. Assim, através da Equação 9 é possível calcular a demanda de água quente.

$$DAQ = 500 \text{ L/dia}$$

Além disso, através da Equação 7 é possível estimar o consumo médio de energia elétrica devido a utilização do chuveiro elétrico.

$$CE = 227 \text{ kWh/mês}$$

Na Tabela 3 estão representados os dados característicos da edificação-modelo 2.

Tabela 3 - Características edificação-modelo 3

Características	
Consumo médio de energia elétrica (kWh/mês)	570
Potência do chuveiro elétrico (kW)	5,4
Quantidades de moradores	4
Quantidade de banhos por dia / morador	3
Tempo estimado para cada banho (min)	7
Média de dias por mês	30
Consumo do chuveiro elétrico (kWh/mês)	227
Vazão média do chuveiro (L/min)	6
Demanda de água quente (L/dia)	500

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA EDIFICAÇÕES-MODELO

Este capítulo demonstra a aplicação do método apresentado no Capítulo 3 para as edificações-modelo selecionadas e por fim tem o objetivo analisar a viabilidade econômica para cada situação aplicada.

5.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO

Os sistemas dimensionados representam edificações-modelo situadas na cidade de Vitória – Espírito Santo. Os valores aproximados de latitude e longitude que foram utilizados como padrão são respectivamente $-20,297725757966493^{\circ}$, $-40,296445907808966^{\circ}$.

5.1.2 Irradiância do Local

Através do *software Sundata*, é possível obter os valores de irradiância do local. A Figura 6 relaciona a irradiância e os meses do ano e é possível visualizar que para o ângulo igual à latitude tem-se 6,30 e 4,52 kWh/(m².dia) como o maior e o menor índice de irradiação solar para os meses de fevereiro e junho, respectivamente.

Figura 6 – Irradiância edificações-modelo

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
0° N	6,31	6,60	5,45	4,68	3,96	3,64	3,75	4,49	4,97	5,16	5,25	6,05	5,03
20° N	5,73	6,30	5,58	5,19	4,73	4,52	4,58	5,16	5,24	5,03	4,86	5,44	5,20

Fonte: Cresesb (2022)

5.2 CUSTO DE OPORTUNIDADE E REAJUSTE ENERGÉTICO

Para realização das análises de viabilidade econômica, foram consideradas as premissas de custo de oportunidade de 10% baseado na taxa básica de juros da economia brasileira, taxa Selic, de dezembro de 2021 e reajuste anual da tarifa de energia baseado com o reajuste para consumidores de baixa tensão no ano de 2021 de aproximadamente 10,5% (ANEEL, 2021).

5.3 EDIFICAÇÃO-MODELO 1

5.3.1 Dimensionamento sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

Segundo a Resolução Normativa 414 de 2010 da ANEEL para o grupo B monofásico há a taxa de disponibilidade da rede de 30 kWh/mês. Devido à essa taxa mínima, deseja-se obter geração média de energia elétrica de aproximadamente 154 kWh/mês através do *kit* fotovoltaico.

Na Tabela 4 estão representados os dados de entrada do projeto.

Tabela 4 – Entradas do sistema edificação-modelo 1

ENTRADAS	
Consumo médio (kWh)	184
Disponibilidade (kWh)	30
Geração desejada (kWh)	154
Horas de sol pleno (h/dia)	5,2
Média de dias por mês	30
Fator de correção para perdas de potência utilizado	0,2

Referência: Elaborado pelo autor (2022)

Através da Equação 6 é possível calcular potência em kWp.

$$P = \frac{154}{(1 - 0,2) \times 5,2 \times 30}$$

$$P = 1,23 \text{ kWp}$$

Portanto, é necessário um *kit* gerador fotovoltaico de aproximadamente 1,23 kWp.

5.3.1.1 Equipamentos sistema fotovoltaico

Para composição do gerador fotovoltaico, foram selecionados três módulos Jinko 400 Wp de potência com dimensões de 2182x1029x35mm e um inversor monofásico Goodwe 1,5 kW de potência, totalizando o sistema de 1,2 kWp. Desta forma, a área necessária para instalação dos módulos fotovoltaicos é de aproximadamente 6,8 m². No Quadro 1 estão representados os dados técnicos do projeto.

Quadro 1 – Dados técnicos sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

DADOS TÉCNICOS	
Equipamentos	Fortlev Solar
Módulos	3 módulos monocristalinos 400W Dimensões: 2182x1029x35mm Ref: Jinko Solar ou similar
Inversores	1 inversor 1,5 kWp Ref: Goodwe ou similar

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.1.2 Geração média mensal de energia elétrica sistema fotovoltaico

Através da Equação 6 é possível calcular a geração média de energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico para cada mês do ano, representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Geração média mensal de energia elétrica edificação-modelo 1

Mês	Dias	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m ² x dia)	Consumo mensal de energia elétrica (kWh)	Geração de energia elétrica (kWh)
Janeiro	31	5,73	204	171
Fevereiro	28	6,30	195	169
Março	31	5,58	200	166
Abril	30	5,19	186	149
Mai	31	4,73	189	141
Junho	30	4,52	190	130
Julho	31	4,58	182	136
Agosto	31	5,16	192	154
Setembro	30	5,24	181	151
Outubro	31	5,03	161	150
Novembro	30	4,86	158	140
Dezembro	31	5,44	164	162

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Dessa maneira, como em nenhum mês houve geração de energia elétrica sobressalente, o sistema não resultará excedente de energia elétrica.

5.3.1.3 Economia com e sem geração distribuída fotovoltaica

Tomando por base dados disponibilizados no mês de agosto de 2021 pela concessionária EDP Espírito Santo, para os grupos residenciais de baixa tensão – B1,

a Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e as Tarifas de Energia (TE) foram de 0,33125 e 0,27926 R\$/kWh, respectivamente. Além disso, de acordo com a EPE – Empresa de Pesquisa Energética, os impostos PIS, COFINS e ICMS para 2021 foram de 1,34%, 6,16% e 25% respectivamente.

Através da Equação 10 é possível calcular a tarifa de consumo por kWh de energia elétrica:

$$TC = \frac{TUSD + TE}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad (10)$$

Onde:

TC = tarifa de consumo;

Assim, temos:

$TC = 0,9045$ R\$/kWh.

Na Tabela 6 estão representados os dados do gasto mensal com e sem a presença do sistema fotovoltaico.

Tabela 6 – Fatura com e sem sistema fotovoltaico

Mês	Valor da fatura sem sistema fotovoltaico		Valor da fatura com sistema fotovoltaico	
Janeiro	R\$	194,17	R\$	39,94
Fevereiro	R\$	186,03	R\$	36,79
Março	R\$	190,55	R\$	40,36
Abril	R\$	177,89	R\$	42,70
Maio	R\$	180,60	R\$	53,29
Junho	R\$	181,51	R\$	63,77
Julho	R\$	174,27	R\$	50,99
Agosto	R\$	183,32	R\$	44,43
Setembro	R\$	173,37	R\$	36,87
Outubro	R\$	155,28	R\$	36,79
Novembro	R\$	152,56	R\$	36,79
Dezembro	R\$	157,99	R\$	36,79
Total	R\$	2.107,54	R\$	519,51

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Portanto, a economia anual através da utilização do sistema fotovoltaico é de R\$ 1.588,00.

5.3.1.4 Despesas de capital e despesas operacionais

Através da realização de pesquisas de preços, foi encontrado o *kit* fotovoltaico utilizado para dimensionamento deste sistema pelo valor de R\$ 5.830,51 à vista e valor de mão de obra de R\$ 2.332,20. Além disso, como premissa, foi adotado um valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total do *kit* gerador fotovoltaico já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Custos sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

Custos		
<i>Kit</i> fotovoltaico	-R\$	5.830,51
Mão de obra	-R\$	2.332,20
O&M anual	-R\$	326,51

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.1.5 Indicativos econômicos e fluxo de caixa

Através das Equações de indicadores econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5, é possível calcular o Fluxo de caixa representado pela Tabela 8, VPL representado pela Tabela 9 e o *Payback* Descontado.

Tabela 8 - Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

(Continua)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 8.162,71	-R\$ -	-R\$ 8.162,71
1	R\$ 1.588,02	-R\$ 326,51	R\$ 1.261,52
2	R\$ 1.754,77	-R\$ 360,79	R\$ 1.393,98
3	R\$ 1.939,02	-R\$ 398,67	R\$ 1.540,34
4	R\$ 2.142,62	-R\$ 440,54	R\$ 1.702,08
5	R\$ 2.367,59	-R\$ 486,79	R\$ 1.880,80
6	R\$ 2.616,19	-R\$ 537,91	R\$ 2.078,28
7	R\$ 2.890,89	-R\$ 594,39	R\$ 2.296,50
8	R\$ 3.194,43	-R\$ 656,80	R\$ 2.537,63
9	R\$ 3.529,84	-R\$ 725,76	R\$ 2.804,09
10	R\$ 3.900,48	-R\$ 801,96	R\$ 3.098,51
11	R\$ 4.310,03	-R\$ 886,17	R\$ 3.423,86

Tabela 8 - Fluxo de Caixa Sistema fotovoltaico edificação-modelo 1
(Conclusão)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
12	R\$ 4.762,58	-R\$ 979,22	R\$ 3.783,36
13	R\$ 5.262,65	-R\$ 1.082,04	R\$ 4.180,62
14	R\$ 5.815,23	-R\$ 1.195,65	R\$ 4.619,58
15	R\$ 6.425,83	-R\$ 1.321,19	R\$ 5.104,64
16	R\$ 7.100,54	-R\$ 1.459,92	R\$ 5.640,62
17	R\$ 7.846,10	-R\$ 1.613,21	R\$ 6.232,89
18	R\$ 8.669,94	-R\$ 1.782,60	R\$ 6.887,34
19	R\$ 9.580,28	-R\$ 1.969,77	R\$ 7.610,51
20	R\$ 10.586,21	-R\$ 2.176,60	R\$ 8.409,62
21	R\$ 11.697,76	-R\$ 2.405,14	R\$ 9.292,63
22	R\$ 12.926,03	-R\$ 2.657,68	R\$ 10.268,35
23	R\$ 14.283,26	-R\$ 2.936,73	R\$ 11.346,53
24	R\$ 15.783,01	-R\$ 3.245,09	R\$ 12.537,92
25	R\$ 17.440,22	-R\$ 3.585,82	R\$ 13.854,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 9 – Valor Presente Líquido sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 7.015,88	14	R\$ 8,376,06
2	-R\$ 5.863,83	15	R\$ 9.598,07
3	-R\$ 4.706,55	16	R\$ 10.825,63
4	-R\$ 3.544,00	17	R\$ 12.058,78
5	-R\$ 2.376,18	18	R\$ 13.297,53
6	-R\$ 1.203,04	19	R\$ 14.541,91
7	-R\$ 24,57	20	R\$ 15.791,94
8	R\$ 1.159,25	21	R\$ 17.047,66
9	R\$ 2.348,46	22	R\$ 18.309,09
10	R\$ 3.543,07	23	R\$ 19.576,25
11	R\$ 4.743,11	24	R\$ 20.849,17
12	R\$ 5.948,61	25	R\$ 22.127,87
13	R\$ 7.159,58	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O Gráfico 4 permite visualizar que o *Payback* Descontado ocorrerá em 7 anos e 1 mês e o Fluxo de Caixa Descontado Acumulado será de aproximadamente R\$ 22.127,87 reais para o tempo de 25 anos.

Gráfico 4 - Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema fotovoltaico edificação-modelo 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A Tabela 10 representa o resumo do investimento para um período de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VLP foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 10 – Métricas e análises sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 8.162,71
O&M	R\$ 326,51
Economia Anual	R\$ 1.588,02
TIR	25,29%
TMA	10,00%
Viabilidade econômica?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.2 Dimensionamento termossolar edificação-modelo 1

No Gráfico 5, produzido pelo INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, estão representadas as médias de dias chuvosos no em Vitória – Espírito Santo no ano de 2020.

Gráfico 5 – Comparativo de dias chuvosos mensais na cidade de Vitória/ES



Fonte: Incaper (2020)

Devido isso, para evitar ao máximo o gasto de energia elétrica com chuveiro, foi adotado a premissa de armazenar água aquecida em reservatório térmico com capacidade três vezes superior à necessidade de consumo diário. Assim, haverá estoque para até dois dias chuvosos consecutivos.

A Tabela 11 representa a temperatura ambiente média mensal em Vitória, coletada pelo *Climate Data* e será utilizada para calcular como estimativa da temperatura média da água na caixa d'água para cada respectivo mês, uma vez que através da troca térmica de calor as temperaturas tendem a se equilibrarem (ClimateData, 2021).

Tabela 11 – Temperatura média mensal da água em Vitória

Meses	Temperatura Média °C
Janeiro	25,6
Fevereiro	25,9
Março	25,6
Abril	24,5
Maio	23,7
Junho	23,0
Julho	22,1
Agosto	22,5
Setembro	22,3
Outubro	23,2
Novembro	23,2
Dezembro	24,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através da Equação 8 é possível calcular a energia térmica produzida pelo sistema térmico em kWh. Através do método de tentativa e erro, foi possível obter uma área ideal de módulos termossolares igual a 2,2 m² para atender este modelo. Além disso, sabe-se que 1 kWh equivale à 3.600.000 joules e é possível por meio da Equação Fundamental da Calorimetria, calcular a variação de temperatura da água, sendo a massa do sistema de 500 Kg referentes a um reservatórios térmicos de 500 L.

Na Tabela 12 estão representados os valores de energia produzida pelos painéis termossolares, calculados através da Equação 8, e a variação de temperatura da água para cada mês, considerando como premissa o rendimento do sistema de 70%.

Tabela 12 – Dados do sistema termossolar edificação-modelo 1

MÊS	DIAS	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m² x dia)	Geração (kWh)	Variação de temperatura (°C)
Janeiro	31	5,7	273,6	15,2
Fevereiro	28	6,3	271,7	16,7
Março	31	5,6	266,4	14,8
Abril	30	5,2	239,8	13,7
Mai	31	4,7	225,8	12,5
Junho	30	4,5	208,8	12,0
Julho	31	4,6	218,6	12,1
Agosto	31	5,2	246,3	13,7
Setembro	30	5,2	242,1	13,9
Outubro	31	5,0	240,1	13,3
Novembro	30	4,9	224,5	12,9
Dezembro	31	5,4	259,7	14,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A temperatura ideal da água para banho é de aproximadamente 36°C devido ser equiparada à temperatura média do corpo do ser humano. Ao relacionar a Tabela 11 e a Tabela 12 é possível notar que para este sistema em todos os meses será possível atingir temperaturas próximas de 36 °C. Desta forma, a economia média mensal de energia elétrica será de 113 kWh, equivalente a R\$ 1.230,79 por ano.

5.3.2.1 Equipamentos sistema termossolar edificação-modelo 1

Após a análise de dimensionamento e de realizar pesquisas de equipamentos fornecidos pelo mercado, foram selecionados equipamentos termossolares, no valor

de R\$ 4.000,00, compostos por um módulo de área igual a 2,2 m² e um reservatório térmico de 500 L de água, totalizando 3,7 m² de área ocupada pelo sistema, conforme representados na Quadro 2.

Quadro 2 – Dados técnicos equipamentos termossolares edificação-modelo 1

Dados técnicos - Equipamentos	
Equipamentos	Soletrol ou similar
Módulos + Reservatório	módulo termossolar de 2,2 m ²
	reservatório de 500 L e 1,5 m ² de área
	3,7 m ²

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.2.2 Despesas de capital e operacionais sistema termossolar edificação-modelo 1
 Como premissa, foi adotado valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total dos equipamentos já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 – Custos sistema termossolar edificação-modelo 1

Custos	
Materiais	-R\$ 4.000,00
Mão-de-obra	-R\$ 1.600,00
O&M anual	-R\$ 224,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.2.3 Indicativos econômicos e fluxo de caixa - termossolar edificação-modelo 1
 Através das Equações de indicativos econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa representado pela Tabela 14, o VPL representado pela Tabela 15 e o *Payback* Descontado.

Tabela 14 - Fluxo de Caixa sistema termossolar edificação-modelo 1

(Continua)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 5.600,00	R\$ -	-R\$ 5.600,00
1	R\$ 1.230,79	-R\$ 224,00	R\$ 1.006,79
2	R\$ 1.360,02	-R\$ 247,52	R\$ 1.112,50

Tabela 14 – Fluxo de Caixa sistema termossolar edificação-modelo 1
(Conclusão)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
3	R\$ 1.502,82	-R\$ 273,51	R\$ 1.229,31
4	R\$ 1.660,62	-R\$ 302,23	R\$ 1.358,39
5	R\$ 1.834,98	-R\$ 333,96	R\$ 1.501,02
6	R\$ 2.027,66	-R\$ 369,03	R\$ 1.658,63
7	R\$ 2.240,56	-R\$ 407,78	R\$ 1.832,79
8	R\$ 2.475,82	-R\$ 450,59	R\$ 2.025,23
9	R\$ 2.735,78	-R\$ 497,90	R\$ 2.237,88
10	R\$ 3.023,04	-R\$ 550,18	R\$ 2.472,85
11	R\$ 3.340,46	-R\$ 607,95	R\$ 2.732,50
12	R\$ 3.691,21	-R\$ 671,79	R\$ 3.019,42
13	R\$ 4.078,78	-R\$ 742,33	R\$ 3.336,46
14	R\$ 4.507,06	-R\$ 820,27	R\$ 3.686,78
15	R\$ 4.980,30	-R\$ 906,40	R\$ 4.073,90
16	R\$ 5.503,23	-R\$ 1.001,57	R\$ 4.501,66
17	R\$ 6.081,07	-R\$ 1.106,74	R\$ 4.974,33
18	R\$ 6.719,58	-R\$ 1.222,94	R\$ 5.496,63
19	R\$ 7.425,13	-R\$ 1.351,35	R\$ 6.073,78
20	R\$ 8.204,77	-R\$ 1.493,25	R\$ 6.711,53
21	R\$ 9.066,27	-R\$ 1.650,04	R\$ 7.416,24
22	R\$ 10.018,23	-R\$ 1.823,29	R\$ 8.194,94
23	R\$ 11.070,15	-R\$ 2.014,74	R\$ 9.055,41
24	R\$ 12.232,51	-R\$ 2.226,28	R\$ 10.006,23
25	R\$ 13.516,93	-R\$ 2.460,04	R\$ 11.056,88

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

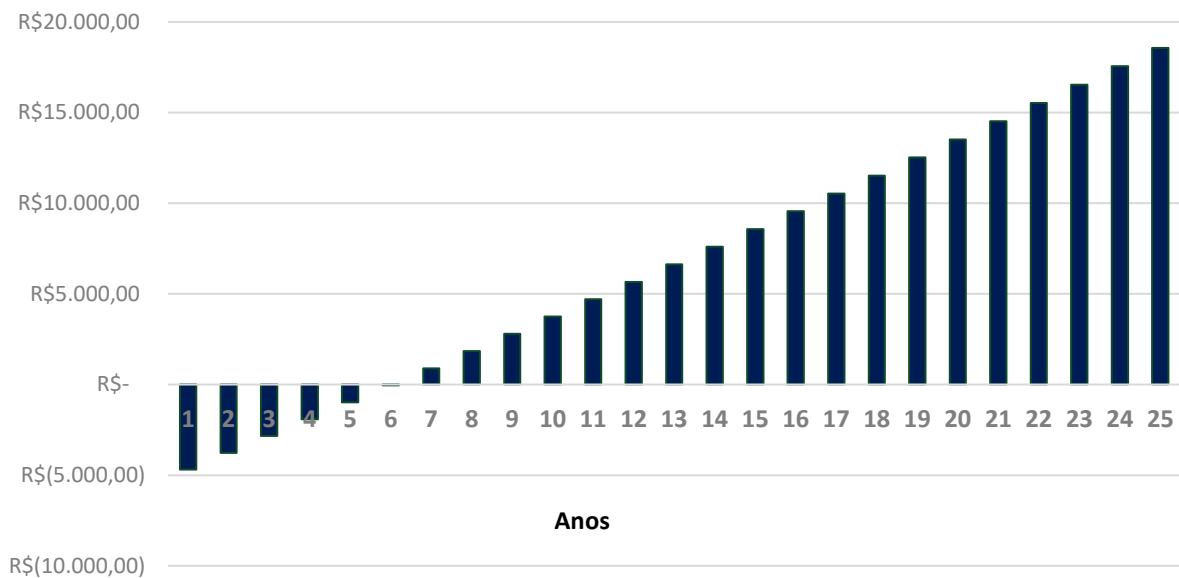
Tabela 15 – Valor Presente Líquido sistema termossolar edificação-modelo 1

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 4.684,74	14	R\$ 7.599,22
2	-R\$ 3.765,32	15	R\$ 8.574,48
3	-R\$ 2.841,71	16	R\$ 9.554,17
4	-R\$ 1.913,91	17	R\$ 10.538,32
5	-R\$ 981,90	18	R\$ 11.526,94
6	-R\$ 45,64	19	R\$ 12.520,05
7	R\$ 894,86	20	R\$ 13.517,67
8	R\$ 1.839,65	21	R\$ 14.519,83
9	R\$ 2.788,73	22	R\$ 15.526,55
10	R\$ 3.742,12	23	R\$ 16.537,84
11	R\$ 4.699,85	24	R\$ 17.553,73
12	R\$ 5.661,93	25	R\$ 18.574,24
13	R\$ 6.628,38	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através dos dados representados no Gráfico 6 é possível visualizar o *Payback* Descontado de 6 anos e 1 mês e o Fluxo de Caixa Acumulado de aproximadamente R\$ 18.574,24 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 6- Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema termossolar edificação-modelo 1



Fluxo de Caixa Descontado Acumulado

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, na Tabela 16 estão representados os dados que resumem o investimento para o período de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VPL foi positivo a TIR foi superior a TMA.

Tabela 16 – Métricas e análises sistema termossolar edificação-modelo 1

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 5.600,00
O&M	R\$ 224,00
Economia Anual	R\$ 1.230,79
TIR	28,03%
TMA	10,00%
Viabilidade econômica?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.3 Dimensionamento sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1

De acordo com Brottier *et al* (2020) a eficiência térmica dos coletores PV/T é menor que dos coletores térmicos, uma vez que para atingir o mesmo desempenho do

sistema solar térmico clássico, é necessário que a área de superfície do PV/T seja o dobro da área do coletor solar.

Para iniciar o dimensionamento híbrido PV/T, utilizou-se do método de tentativa e erro relacionando a Equação 6, Equação 7 e Equação 8, com a finalidade de encontrar a energia elétrica gasta pelo chuveiro elétrico, a energia elétrica requerida gerada pelos módulos fotovoltaicas, levando em consideração não apenas o histórico de consumo médio mensal de energia elétrica mas também a energia elétrica que seria consumida pelo chuveiro elétrico e que será abatida pela energia térmica produzida pelo sistema térmico, e por fim, a área necessária dos módulos termossolares. Além disso, o volume do reservatório térmico foi dimensionado baseado na demanda diária de água aquecida e na quantidade de dias sobressalentes para situações de climas sem ou com pouco sol, ou seja, nublados ou chuvosos. Nessa situação, foi considerado para o sistema híbrido PV/T reservatório térmico suficiente para um dia sobressalente, ou seja, 500 L já que o sistema híbrido também terá apoio de geração de energia elétrica fotovoltaica. Assim, foi dimensionado para o sistema termossolar, como premissa, máxima economia possível do consumo de energia elétrica do chuveiro elétrico, totalizando 113 kWh/mês e através da Equação 7 foi possível dimensionar a área necessária de 4,4 m² utilizando rendimento de 35% devido ao menor rendimento do sistema térmico híbrido em relação ao termossolar convencional. Já para o sistema fotovoltaico foi dimensionado geração média de energia elétrica de aproximadamente 50 kWh/mês, que representa o consumo mensal reduzido da taxa de disponibilidade e do consumo de energia elétrica por meio da utilização do chuveiro elétrico. Assim, através da Equação 6 foi possível obter a potência do módulo fotovoltaico de 400 Wp, considerando um fator de perdas de potência de 20%.

Além disso, adotou-se a premissa de que o valor em reais do módulo PV/T é igual a soma dos valores dos módulos fotovoltaicos e termossolares.

5.3.3.1 Equipamentos sistema híbrido edificação-modelo 1

A partir dos dados encontrados na seção anterior, foi possível selecionar os equipamentos de acordo com suas características técnicas e disponibilidade no mercado. Assim, foi utilizado um módulo termossolar e em conjunto com um módulo fotovoltaico de 400 Wp, totalizando uma área ocupada de 6,4 m², e um microinversor

Apsystems YC600. Além disso, foi utilizado reservatório térmico de 500 L de água. No Quadro 3 estão representados os dados técnicos do projeto.

Quadro 3 – Dados técnicos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1

DADOS TÉCNICOS	
Módulos + Reservatório	Módulo fotovoltaico Jinko 400 Wp Ref: Jinko Solar ou similar
	Módulo Termossolar Soletrol Reservatório térmico 500 L
Microinversores	1 Microinversor YC600 Ref: Apsystems

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.3.2 Geração de energia sistema PV/T edificação-modelo 1

Através da Equação 6 e da Equação Fundamental da Calorimetria é possível calcular a energia térmica em quilowatt-hora gerada pelo sistema termossolar e a variação da temperatura da água. Estes dados estão representados na Tabela 17.

Tabela 17 – Energia térmica gerada e variação de temperatura da água edificação-modelo 1

MÊS	DIAS	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m²/dia)	Geração (kWh)	Elevação de temperatura (°C)
Janeiro	31	5,7	273,6	15,2
Fevereiro	28	6,3	271,7	16,7
Março	31	5,6	266,4	14,8
Abril	30	5,2	239,8	13,7
Mai	31	4,7	225,8	12,5
Junho	30	4,5	208,8	12,0
Julho	31	4,6	218,6	12,1
Agosto	31	5,2	246,3	13,7
Setembro	30	5,2	242,1	13,9
Outubro	31	5,0	240,1	13,3
Novembro	30	4,9	224,5	12,9
Dezembro	31	5,4	259,7	14,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao relacionar a Tabela 11 e a Tabela 17, é possível notar que para todos os meses será possível atingir próximo a temperatura ideal da água para banho. Dessa forma,

a economia média mensal de energia elétrica através do sistema termossolar será de 113 kWh, equivalente a R\$ 1.230,79 por ano.

Além disso, através da Equação 6 é possível calcular a geração média de energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico para cada mês do ano. Tais dados estão representados na Tabela 18.

Tabela 18 - Geração de energia elétrica PV/T– sistema fotovoltaico edificação-modelo 1

Meses	Geração de energia elétrica (kWh) - fotovoltaico
Jan	57
Fev	56
Mar	55
Abr	50
Mai	47
Jun	43
Jul	45
Ago	51
Set	50
Out	50
Nov	47
Dez	54

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Tabela 19 estão representados os dados da economia média de energia elétrica através do sistema gerador híbrido PV/T.

Tabela 19 – Economia média mensal de energia elétrica – sistema PV/T edificação-modelo 1

Meses	Consumo de energia elétrica (kWh)	Geração média mensal de energias térmica e elétrica (kWh) - PV/T
Jan	204	170
Fev	195	170
Mar	200	169
Abr	186	163
Mai	189	160
Jun	190	157
Jul	182	158
Ago	192	165
Set	181	164
Out	161	163
Nov	158	160
Dez	164	167

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Tabela 20 estão representados os dados de valores em reais economizados na fatura de cada mês.

Tabela 20 – Fatura com sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1

Meses	Economia com sistema PV/T (R\$)	
Jan	R\$	153,98
Fev	R\$	149,24
Mar	R\$	152,63
Abr	R\$	141,10
Mai	R\$	143,81
Jun	R\$	141,81
Jul	R\$	137,48
Ago	R\$	146,52
Set	R\$	136,57
Out	R\$	118,48
Nov	R\$	115,77
Dez	R\$	121,20
Total	R\$	1.658,59

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Desta forma, a economia anual de energia elétrica com a utilização do sistema Híbrido PV/T é de R\$ 1.658,59.

5.3.3.3 Despesas de capital e operacionais - PV/T edificação-modelo 1

Como premissa, foi adotado valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total dos equipamentos já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 21.

Tabela 21 – Custos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1

	Custos	
Materiais	-R\$	8.882,37
Mão de obra	-R\$	3.552,95
O&M anual	-R\$	497,41

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.3.4 Indicativos econômicos e fluxo de caixa

Através das Equações de indicadores econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa representado pela Tabela 22, o VPL representado pela Tabela 23 e o *Payback* Descontado.

Tabela 22 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 12.435,32	-R\$ -	-R\$ 12.435,32
1	R\$ 1.658,59	-R\$ 497,41	R\$ 1.161,17
2	R\$ 1.832,74	-R\$ 549,64	R\$ 1.283,10
3	R\$ 2.025,17	-R\$ 607,35	R\$ 1.417,82
4	R\$ 2.237,82	-R\$ 671,13	R\$ 1.566,69
5	R\$ 2.472,79	-R\$ 741,59	R\$ 1.731,20
6	R\$ 2.732,43	-R\$ 819,46	R\$ 1.912,97
7	R\$ 3.019,34	-R\$ 905,50	R\$ 2.113,83
8	R\$ 3.336,37	-R\$ 1.000,58	R\$ 2.335,79
9	R\$ 3.686,69	-R\$ 1.105,64	R\$ 2.581,04
10	R\$ 4.073,79	-R\$ 1.221,74	R\$ 2.852,05
11	R\$ 4.501,54	-R\$ 1.350,02	R\$ 3.151,52
12	R\$ 4.974,20	-R\$ 1.491,77	R\$ 3.482,43
13	R\$ 5.496,49	-R\$ 1.648,41	R\$ 3.848,08
14	R\$ 6.073,62	-R\$ 1.821,49	R\$ 4.252,13
15	R\$ 6.711,35	-R\$ 2.012,75	R\$ 4.698,60
16	R\$ 7.416,04	-R\$ 2.224,08	R\$ 5.191,96
17	R\$ 8.194,73	-R\$ 2.457,61	R\$ 5.737,11
18	R\$ 9.055,17	-R\$ 2.715,66	R\$ 6.339,51
19	R\$ 10.005,96	-R\$ 3.000,81	R\$ 7.005,16
20	R\$ 11.056,59	-R\$ 3.315,89	R\$ 7.740,70
21	R\$ 12.217,53	-R\$ 3.664,06	R\$ 8.553,47
22	R\$ 13.500,37	-R\$ 4.048,79	R\$ 9.451,59
23	R\$ 14.917,91	-R\$ 4.473,91	R\$ 10.444,01
24	R\$ 16.484,29	-R\$ 4.943,67	R\$ 11.540,63
25	R\$ 18.215,14	-R\$ 5.462,75	R\$ 12.752,39

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 23 – Valor Presente Líquido sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1
(Continua)

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 11.379,71	14	R\$ 2.787,93
2	-R\$ 10.319,30	15	R\$ 3.912,74
3	-R\$ 9.254,07	16	R\$ 5.042,66

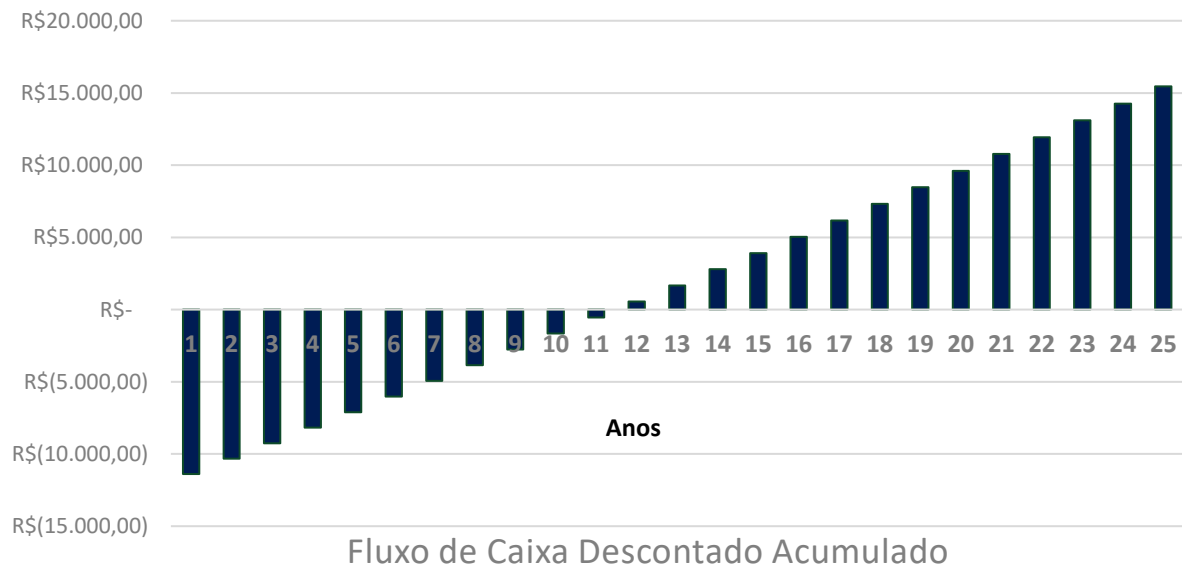
Tabela 23 – Valor Presente Líquido sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1
(Conclusão)

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
4	-R\$ 8.183,99	17	R\$ 6.177,71
5	-R\$ 7.109,06	18	R\$ 7.317,93
6	-R\$ 6.029,24	19	R\$ 8.463,33
7	-R\$ 4.944,50	20	R\$ 9.613,94
8	-R\$ 3.854,84	21	R\$ 10.769,77
9	-R\$ 2.760,23	22	R\$ 11.930,86
10	-R\$ 1.660,64	23	R\$ 13.097,23
11	-R\$ 556,05	24	R\$ 14.268,90
12	R\$ 553,56	25	R\$ 15.445,89
13	R\$ 1.668,21	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, através dos dados representados no Gráfico 7 é possível visualizar o *Payback* Descontado de 11 anos e 5 meses e o Fluxo de Caixa Acumulado de aproximadamente R\$ 15.445,89 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 7 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, a Tabela 24 representa o resumo do investimento para um período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VPL foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 24 – Métricas e análises sistema híbrido PV/T edificação-modelo 1

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 12.435,32
O&M	R\$ 497,41
Economia Anual	R\$ 1.658,59
TIR	18,05%
TMA	10,00%
Economicamente viável?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.3.4 Parecer de viabilidade econômica edificação-modelo 1

Através dos dados obtidos na análise da edificação-modelo 1 foi possível verificar que os três sistemas, fotovoltaico, termossolar e híbrido PV/T, apresentaram viabilidade econômica, sendo a TIR de 25,29%, 28,03% e 18,03% respectivamente. Assim, o investimento adequado e com maiores vantagens para esse cenário seria o sistema termossolar por possuir a maior TIR para o período de 25 anos de análise, além do menor investimento inicial de R\$ 5.600 e *Payback* de 6 anos e 1 mês. Para esse grupo de edificações é possível notar que o chuveiro elétrico é a principal fonte de consumo de energia elétrica.

5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA EDIFICAÇÃO-MODELO 2

5.4.1 Dimensionamento fotovoltaico edificação-modelo 2

Segundo a Resolução Normativa 414 de 2010 da ANEEL para o grupo B bifásico há a taxa de disponibilidade da rede de 50 kWh/mês. Devido à essa taxa mínima, deseja-se obter geração média de energia elétrica de aproximadamente 300 kWh/mês através do *kit* fotovoltaico.

Na Tabela 25 estão representados os dados de entrada do projeto.

Tabela 25 – Entradas do sistema edificação-modelo 2

Entradas	
Consumo médio (kWh)	350
Disponibilidade (kWh)	50
Geração desejada (kWh)	300
Irradiação Média Local (kWh/m ² x dia)	5,2
Média de Dias por Mês	30
Fator de correção por perdas de potência	0,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através da Equação 6 é possível calcular potência em quilowatt pico.

$$P = \frac{300}{0,8 \times 5,2 \times 30}$$

$$P = 2,40 \text{ kWp}$$

Portanto, é necessário um *kit* gerador fotovoltaico de aproximadamente 2,40 kWp.

5.4.1.1 Equipamentos sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

Para composição do gerador fotovoltaico, foram selecionados cinco módulos Jinko 460 Wp de potência nominal com dimensões de 2182×1029×35mm e um inversor Growatt 2,5 kW de potência, totalizando o sistema de 2,30 kWp. Desta forma, a área necessária para instalação dos módulos fotovoltaicos é de aproximadamente 11,2 m². No Quadro 4 estão representados os dados técnicos do projeto.

Quadro 4 – Dados técnicos equipamentos do sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

Dados técnicos	
Equipamentos	Fortlev Solar
Módulos	5 módulos monocristalinos 460W Dimensões: 2182×1029×35mm Referência: Jinko Solar ou similar
Inversores	1 inversor 2,5 kWp Ref: Growatt ou similar

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.1.2 Geração média mensal energia elétrica - fotovoltaico edificação-modelo 2

Através da Equação 6 é possível calcular a geração média de energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico para cada mês do ano, representados na Tabela 26.

Tabela 26 – Geração média mensal de energia elétrica fotovoltaica edificação-modelo 2

MÊS	DIAS	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m ² /dia)	Consumo de energia elétrica (kWh)	Geração de energia elétrica (kWh)
Janeiro	31	5,73	420	327
Fevereiro	28	6,30	424	325
Março	31	5,58	398	318
Abril	30	5,19	416	286
Maio	31	4,73	368	270
Junho	30	4,52	333	250
Julho	31	4,58	309	261
Agosto	31	5,16	297	294
Setembro	30	5,24	314	289
Outubro	31	5,03	287	287
Novembro	30	4,86	272	268
Dezembro	31	5,44	358	310

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Dessa maneira, é possível visualizar que para nenhum mês houve geração de energia elétrica excedente.

Na Tabela 27 estão representados os dados das faturas mensais com e sem a utilização do sistema fotovoltaico, sendo possível visualizar a economia anual de R\$ 2.996,01 proporcionada pela utilização do sistema fotovoltaico.

Tabela 27 – Economia de energia elétrica sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

Mês	Fatura sem sistema fotovoltaico	Fatura com sistema fotovoltaico	Economia proporcionada pela utilização do sistema fotovoltaico
Jan	R\$ 389,53	R\$ 93,92	R\$ 295,61
Fev	R\$ 393,15	R\$ 99,58	R\$ 293,57
Mar	R\$ 369,63	R\$ 81,76	R\$ 287,87
Abr	R\$ 385,92	R\$ 126,80	R\$ 259,12
Mai	R\$ 342,50	R\$ 98,48	R\$ 244,02
Jun	R\$ 310,84	R\$ 85,18	R\$ 225,67
Jul	R\$ 289,14	R\$ 54,88	R\$ 234,25
Ago	R\$ 278,28	R\$ 54,88	R\$ 223,40
Set	R\$ 293,66	R\$ 54,88	R\$ 238,78
Out	R\$ 269,24	R\$ 54,88	R\$ 214,36
Nov	R\$ 255,67	R\$ 54,88	R\$ 200,79
Dez	R\$ 333,46	R\$ 54,88	R\$ 278,57
Total	R\$ 3.911,03	R\$ 915,02	R\$ 2.996,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.1.3 Despesas de capital e operacionais - fotovoltaico edificação-modelo 2

Através da realização de pesquisas de preços, foi encontrado o *kit* fotovoltaico utilizado para dimensionamento deste sistema pelo valor de R\$ 10.000,00 à vista e valor de mão de obra de R\$ 4.000,00. Além disso, como premissa, foi adotado um valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total do *kit* gerador fotovoltaico já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 28.

Tabela 28 – Custos sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

Custos		
<i>Kit</i> Fotovoltaico	-R\$	10.000,00
Mão de obra	-R\$	4.000,00
O&M anual	-R\$	560,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.1.4 Indicativos econômicos e fluxo de caixa - fotovoltaico edificação-modelo 2

Através das Equações de indicadores econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa, representado pela Tabela 29, o VPL representado pela Tabela 30 e o *Payback* Descontado.

Tabela 29 – Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

(Continua)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 14.000,00	-	-R\$ 14.000,00
1	R\$ 2.996,01	-R\$ 560,00	R\$ 2.436,01
2	R\$ 3.310,59	-R\$ 618,80	R\$ 2.691,79
3	R\$ 3.658,21	-R\$ 683,77	R\$ 2.974,43
4	R\$ 4.042,32	-R\$ 755,57	R\$ 3.286,75
5	R\$ 4.466,76	-R\$ 834,91	R\$ 3.631,86
6	R\$ 4.935,77	-R\$ 922,57	R\$ 4.013,20
7	R\$ 5.454,03	-R\$ 1.019,44	R\$ 4.434,59
8	R\$ 6.026,70	-R\$ 1.126,48	R\$ 4.900,22
9	R\$ 6.659,50	-R\$ 1.244,76	R\$ 5.414,74
10	R\$ 7.358,75	-R\$ 1.375,46	R\$ 5.983,29
11	R\$ 8.131,42	-R\$ 1.519,89	R\$ 6.611,53
12	R\$ 8.985,22	-R\$ 1.679,47	R\$ 7.305,74

Tabela 29 – Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 2
(Conclusão)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
13	R\$ 9.928,67	-R\$ 1.855,82	R\$ 8.072,85
14	R\$ 10.971,18	-R\$ 2.050,68	R\$ 8.920,50
15	R\$ 12.123,15	-R\$ 2.266,00	R\$ 9.857,15
16	R\$ 13.396,08	-R\$ 2.503,93	R\$ 10.892,15
17	R\$ 14.802,67	-R\$ 2.766,84	R\$ 12.035,82
18	R\$ 16.356,95	-R\$ 3.057,36	R\$ 13.299,59
19	R\$ 18.074,43	-R\$ 3.378,38	R\$ 14.696,04
20	R\$ 19.972,24	-R\$ 3.733,11	R\$ 16.239,13
21	R\$ 22.069,33	-R\$ 4.125,09	R\$ 17.944,24
22	R\$ 24.386,61	-R\$ 4.558,23	R\$ 19.828,38
23	R\$ 26.947,20	-R\$ 5.036,84	R\$ 21.910,36
24	R\$ 29.776,66	-R\$ 5.565,71	R\$ 24.210,95
25	R\$ 32.903,21	-R\$ 6.150,11	R\$ 26.753,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 30 – Valor Presente Líquido sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 11.785,44	14	R\$ 17.936,67
2	-R\$ 9.560,82	15	R\$ 20.296,40
3	-R\$ 7.326,09	16	R\$ 22.666,85
4	-R\$ 5.081,19	17	R\$ 25.048,07
5	-R\$ 2.826,10	18	R\$ 27.440,12
6	-R\$ 560,75	19	R\$ 29.843,04
7	R\$ 1.714,89	20	R\$ 32.256,88
8	R\$ 4.000,88	21	R\$ 34.681,69
9	R\$ 6.297,26	22	R\$ 37.117,53
10	R\$ 8.604,07	23	R\$ 39.564,44
11	R\$ 10.921,38	24	R\$ 42.022,47
12	R\$ 13.249,21	25	R\$ 44.491,68
13	R\$ 15.587,63	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A partir dos dados representados no Gráfico 8 é possível visualizar que o *Payback* ocorrerá em 6 anos e 3 meses e o Fluxo de Caixa Acumulado será de aproximadamente R\$ 44.491,68 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 8 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Tabela 31 estão representados os dados de resumo do investimento para período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VPL foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 31 – Métricas e análises sistema fotovoltaico edificação-modelo 2

Métricas e análise	
Investimento	R\$ 14.000,00
O&M	R\$ 560,00
Economia anual	R\$ 2.996,01
TIR	27,40%
TMA	10,00%
Viabilidade econômica?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.2 Dimensionamento termossolar edificação-modelo 2

Na Tabela 2 estão representados os dados de entrada do sistema.

Através da Equação 8 é possível calcular a energia térmica produzida pelo sistema térmico em quilowatt-hora. Além disso, através do método de tentativa e erro, foi possível obter uma área ideal de módulos igual a 3 m² para atender este modelo. Sabe-se que 1 kWh equivale à 3.600.000 joules e é possível por meio da Equação Fundamental da Calorimetria, calcular a variação de temperatura da água, sendo a massa do sistema de 700 Kg referente ao reservatório térmico de 700 L.

Na Tabela 32 estão representados os valores de energia térmica produzida pelos painéis termossolares e a elevação de temperatura da água para cada mês, considerando o rendimento do sistema de 70%.

Tabela 32 – Dados do sistema termossolar edificação-modelo 2

MÊS	DIAS	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m²/ dia)	Geração de Energia Térmica (kWh)	Elevação de temperatura (°C)	Temperatura final (°C)
Janeiro	31	5,7	373	14,8	40,4
Fevereiro	28	6,3	370	16,3	42,2
Março	31	5,6	363	14,4	40,0
Abril	30	5,2	327	13,4	37,9
Mai	31	4,7	308	12,2	35,9
Junho	30	4,5	285	11,7	34,7
Julho	31	4,6	298	11,8	33,9
Agosto	31	5,2	336	13,3	35,8
Setembro	30	5,2	330	13,5	35,8
Outubro	31	5,0	327	13,0	36,2
Novembro	30	4,9	306	12,5	35,7
Dezembro	31	5,4	354	14,0	38,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao relacionar a Tabela 11 e a Tabela 32 , é possível notar que para este sistema em todos os meses será possível alcançar próximo a temperatura ideal da água para banho, minimizando assim o consumo de energia elétrica por meio da utilização do chuveiro elétrico. Desta forma, a economia média mensal de energia elétrica será de 151,2 kWh equivalente a R\$ R\$ 1.641,05 por ano.

5.4.2.1 Equipamentos sistema termossolar edificação-modelo 2

Após a análise de dimensionamento e de realizar pesquisas de equipamentos fornecidos pelo mercado, foram selecionados equipamentos termossolares, no valor de R\$ 7.000,00, compostos por um módulo de área igual à 3 m² e um reservatório térmico de 700 L, totalizando 5 m² de área ocupada pelo sistema, conforme representados no Quadro 5.

Quadro 5 – Dados técnicos equipamentos termossolares edificação-modelo 2

Dados técnicos - Equipamentos	
Distribuidora	Soletrol ou similar
Módulos	Módulo termossolare de 3 m ²
Reservatório	Reservatórios de 700 L
Área ocupada	5 m ²

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.2.2 Despesas de capital e operacionais - termossolar edificação-modelo 2

Como premissa, foi adotado valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total dos equipamentos já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 33.

Tabela 33 – Custos sistema termossolar edificação-modelo 2

Custos		
Materiais	-R\$	7.000,00
Mão de obra	-R\$	2.800,00
O&M anual	-R\$	392,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.2.3 Indicativos econômicos e fluxo de caixa - termossolar edificação-modelo 2

Através das Equações de indicativos econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa. Representado pela Tabela 34, o Valor Presente Líquido representado pela Tabela 35 e o *Payback* Descontado.

Tabela 34 – Fluxo de Caixa termossolar edificação-modelo 2

(Continua)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 9.800,00	-	-R\$ 9.800,00
1	R\$ 1.641,05	-R\$ 392,00	R\$ 1.249,05
2	R\$ 1.813,36	-R\$ 433,16	R\$ 1.380,20
3	R\$ 2.003,76	-R\$ 478,64	R\$ 1.525,12
4	R\$ 2.214,16	-R\$ 528,90	R\$ 1.685,26
5	R\$ 2.446,65	-R\$ 584,43	R\$ 1.862,21
6	R\$ 2.703,54	-R\$ 645,80	R\$ 2.057,74
7	R\$ 2.987,42	-R\$ 713,61	R\$ 2.273,81
8	R\$ 3.301,09	-R\$ 788,54	R\$ 2.512,56

Tabela 34 – Fluxo de Caixa termossolar edificação-modelo 2
(Conclusão)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
9	R\$ 3.647,71	-R\$ 871,33	R\$ 2.776,38
10	R\$ 4.030,72	-R\$ 962,82	R\$ 3.067,90
11	R\$ 4.453,94	-R\$ 1.063,92	R\$ 3.390,03
12	R\$ 4.921,61	-R\$ 1.175,63	R\$ 3.745,98
13	R\$ 5.438,38	-R\$ 1.299,07	R\$ 4.139,31
14	R\$ 6.009,41	-R\$ 1.435,48	R\$ 4.573,93
15	R\$ 6.640,40	-R\$ 1.586,20	R\$ 5.054,20
16	R\$ 7.337,64	-R\$ 1.752,75	R\$ 5.584,89
17	R\$ 8.108,09	-R\$ 1.936,79	R\$ 6.171,30
18	R\$ 8.959,44	-R\$ 2.140,15	R\$ 6.819,29
19	R\$ 9.900,18	-R\$ 2.364,87	R\$ 7.535,31
20	R\$ 10.939,70	-R\$ 2.613,18	R\$ 8.326,52
21	R\$ 12.088,37	-R\$ 2.887,56	R\$ 9.200,80
22	R\$ 13.357,64	-R\$ 3.190,76	R\$ 10.166,89
23	R\$ 14.760,20	-R\$ 3.525,79	R\$ 11.234,41
24	R\$ 16.310,02	-R\$ 3.896,00	R\$ 12.414,02
25	R\$ 18.022,57	-R\$ 4.305,08	R\$ 13.717,49

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

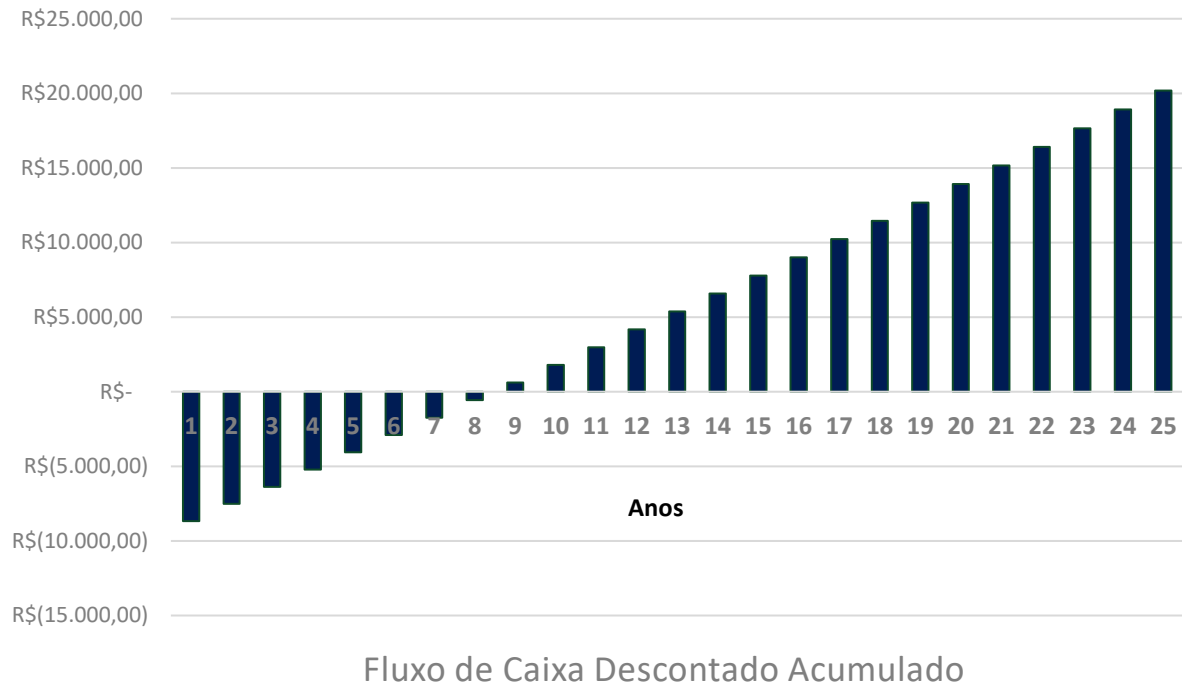
Tabela 35 – Valor Presente Líquido termossolar edificação-modelo 2

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 8.664,50	14	R\$ 6.575,34
2	-R\$ 7.523,84	15	R\$ 7.785,28
3	-R\$ 6.377,99	16	R\$ 9.000,71
4	-R\$ 5.226,93	17	R\$ 10.221,67
5	-R\$ 4.070,65	18	R\$ 11.448,18
6	-R\$ 2.909,10	19	R\$ 12.680,26
7	-R\$ 1.742,28	20	R\$ 13.917,95
8	-R\$ 570,15	21	R\$ 15.161,25
9	R\$ 607,30	22	R\$ 16.410,22
10	R\$ 1.790,11	23	R\$ 17.664,85
11	R\$ 2.978,29	24	R\$ 18.925,20
12	R\$ 4.171,87	25	R\$ 20.191,27
13	R\$ 5.370,88	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através dos dados apresentados no Gráfico 9 é possível visualizar o *Payback* Descontado de 8 anos e 6 meses e o Fluxo de Caixa Descontado Acumulado de aproximadamente R\$ 20.191,27 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 9 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema termosolar edificação-modelo 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, os dados presentes na Tabela 36 representam o resumo do investimento para período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VPL foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 36 - Métricas e análises sistema termosolar edificação-modelo 2

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 9.800,00
O&M	R\$ 392,00
Economia Anual	R\$ 1.641,05
TIR	22,22%
TMA	10,00%
Viabilidade econômica?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.3 Dimensionamento híbrido PV/T edificação-modelo 2

Para iniciar o dimensionamento híbrido PV/T, utilizou-se do método de tentativa e erro relacionando a Equação 6, Equação 7 e Equação 8, com a finalidade de encontrar a energia elétrica gasta pelo chuveiro elétrico, a energia elétrica requerida gerada pelos módulos fotovoltaicas levando em consideração a energia elétrica que seria consumida pelo chuveiro elétrico e que será abatida pela energia térmica produzida pelo sistema termossolar, e por fim, a área necessária dos módulos termossolares. Além disso, o volume do reservatório térmico foi dimensionado baseado na demanda diária de água aquecida e na quantidade de dias sobressalentes para situações de climas sem ou com pouco sol, ou seja, nublados ou chuvosos. Nessa situação, foi considerado para o sistema híbrido PV/T reservatório térmico suficiente para um dia sobressalente, ou seja, 700 L já que o sistema híbrido também terá apoio de geração de energia elétrica fotovoltaica. Assim, foi dimensionado para o sistema termossolar, como premissa, máxima economia possível do consumo de energia elétrica do chuveiro elétrico, totalizando 151,2 kWh/mês e através da Equação 7 foi possível dimensionar a área necessária de 7 m² utilizando rendimento de 35% devido ao menor rendimento do sistema térmico híbrido em relação ao termossolar convencional. Já para o sistema fotovoltaico foi dimensionado geração média de energia elétrica de aproximadamente 115 kWh/mês, que representa a média mensal do restante de energia elétrica requerida pelo sistema subtraído da taxa de disponibilidade da rede. Assim, através da Equação 6 foi possível obter a potência de módulos fotovoltaicos de 920 Wp, considerando um fator de perdas de potência de 20%.

Além disso, adotou-se a premissa de que o valor em reais do módulo PV/T é igual a soma dos valores dos módulos fotovoltaicos e termossolares.

5.4.3.1 Equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

Para realização desta análise, foram utilizados dois módulos termossolares de 3 m² em conjunto com dois módulos fotovoltaicos de 460w, totalizando uma área ocupada de 8 m², e dois microinversores Apsystems YC600. Além disso, foi utilizado reservatório térmico de 700 L de água. No Quadro 6 estão representados os dados técnicos do projeto.

Quadro 6 – Dados técnicos equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

Dados técnicos	
Módulos + Reservatório	2 Módulos monocristalinos Jinko Solar 460 W Ref: Jinko Solar ou similar
	2 Módulos termossolar Soletrol 1 boilers - 700 L
Microinversores	2 Microinversores YC600 Ref: Apsystems

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.3.2 Geração de energia elétrica - híbrido PV/T edificação-modelo 2

Através da Equação 6 e da Equação Fundamental da Calorimetria é possível calcular a energia térmica em quilowatt-hora gerada pelo sistema termossolar e a elevação da temperatura da água. Estes dados estão representados na Tabela 37.

Tabela 37 - Energia termossolar gerada pelo sistema e variação de temperatura da água em °C edificação-modelo 2

Meses	Geração de Energia Térmica (kWh)	Elevação de temperatura (°C)	Temperatura final (°C)
Jan	373,0	14,8	40,4
Fev	370,4	16,3	42,2
Mar	363,3	14,4	40,0
Abr	327,0	13,4	37,9
Mai	307,9	12,2	35,9
Jun	284,8	11,7	34,7
Jul	298,2	11,8	33,9
Ago	335,9	13,3	35,8
Set	330,1	13,5	35,8
Out	327,5	13,0	36,2
Nov	306,2	12,5	35,7
Dez	354,1	14,0	38,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao relacionar a Tabela 11 e a Tabela 37, é possível notar que este sistema será possível atingir para todos os meses temperatura próxima a ideal da água para banho. Desta forma, a economia média mensal de energia elétrica será de 151,2 kWh, equivalente a R\$ 1.756,97 por ano.

Além disso, através da Equação 6 é possível calcular a geração média de energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico para cada mês do ano. Estes valores estão representados na Tabela 38.

Tabela 38 – Geração de energia elétrica fotovoltaico sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

Meses	Geração de Energia Elétrica	
	fotovoltaica - (kWh)	
Jan	130,74	
Fev	129,83	
Mar	127,31	
Abr	114,60	
Mai	107,92	
Jun	99,80	
Jul	104,50	
Ago	117,73	
Set	115,70	
Out	114,76	
Nov	107,31	
Dez	124,12	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Tabela 39 estão representados os dados referentes à economia média de energia elétrica através do sistema gerador híbrido PV/T.

Tabela 39 – Economia média mensal de energia elétrica – sistema PV/T edificação-modelo 2

Meses	Consumo de energia elétrica (kWh)	Projeção da fatura sem PV/T	Geração média mensal de energia elétrica (kWh) – PV/T	Projeção da fatura com PV/T
Jan	420	R\$ 389,53	282	R\$ 134,53
Fev	424	R\$ 393,15	281	R\$ 138,97
Mar	398	R\$ 369,63	279	R\$ 117,73
Abr	416	R\$ 385,92	266	R\$ 145,51
Mai	368	R\$ 342,50	259	R\$ 108,14
Jun	333	R\$ 289,14	251	R\$ 83,82
Jul	309	R\$ 289,14	251	R\$ 62,17
Ago	297	R\$ 278,28	269	R\$ 54,88
Set	314	R\$ 293,66	267	R\$ 54,88
Out	287	R\$ 269,24	266	R\$ 54,88
Nov	272	R\$ 255,67	259	R\$ 54,88
Dez	358	R\$ 333,46	275	R\$ 84,44

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Desta forma, a economia anual de energia elétrica com a utilização do sistema Híbrido PV/T é de R\$ 2.816,18.

5.4.3.3 Despesas de capital e operacionais - PV/T edificação-modelo 2

Como premissa, foi adotado valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total dos equipamentos já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 40.

Tabela 40 – Custos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

Custos		
Materiais	-R\$	14.564,74
Mão de obra	-R\$	5.825,90
O&M anual	-R\$	815,63

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.3.4 Indicativos econômicos e fluxo de caixa - PV/T edificação-modelo 2

Através das Equações de indicativos econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa, representado pela Tabela 41, o Valor Presente Líquido representado pela Tabela 42 e o *Payback* Descontado.

Tabela 41 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

(Continua)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais
0	-R\$ 20.390,64	-
1	R\$ 2.816,18	-R\$ 815,63
2	R\$ 3.111,88	-R\$ 901,27
3	R\$ 3.438,62	-R\$ 995,90
4	R\$ 3.799,68	-R\$ 1.100,47
5	R\$ 4.198,65	-R\$ 1.216,02
6	R\$ 4.639,50	-R\$ 1.343,70
7	R\$ 5.126,65	-R\$ 1.484,79
8	R\$ 5.664,95	-R\$ 1.640,69
9	R\$ 6.259,77	-R\$ 1.812,96
10	R\$ 6.917,05	-R\$ 2.003,32
11	R\$ 7.643,34	-R\$ 2.213,67
12	R\$ 8.445,89	-R\$ 2.446,11
13	R\$ 9.332,70	-R\$ 2.702,95
14	R\$ 10.312,64	-R\$ 2.986,76
15	R\$ 11.395,46	-R\$ 3.300,37
16	R\$ 12.591,99	-R\$ 3.646,91

Tabela 41 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2
(Conclusão)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais
17	R\$ 13.914,15	-R\$ 4.029,83
18	R\$ 15.375,13	-R\$ 4.452,97
19	R\$ 16.989,52	-R\$ 4.920,53
20	R\$ 18.773,42	-R\$ 5.437,18
21	R\$ 20.744,63	-R\$ 6.008,09
22	R\$ 22.922,82	-R\$ 6.638,94
23	R\$ 25.329,71	-R\$ 7.336,03
24	R\$ 27.989,33	-R\$ 8.106,31
25	R\$ 30.928,21	-R\$ 8.957,47

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

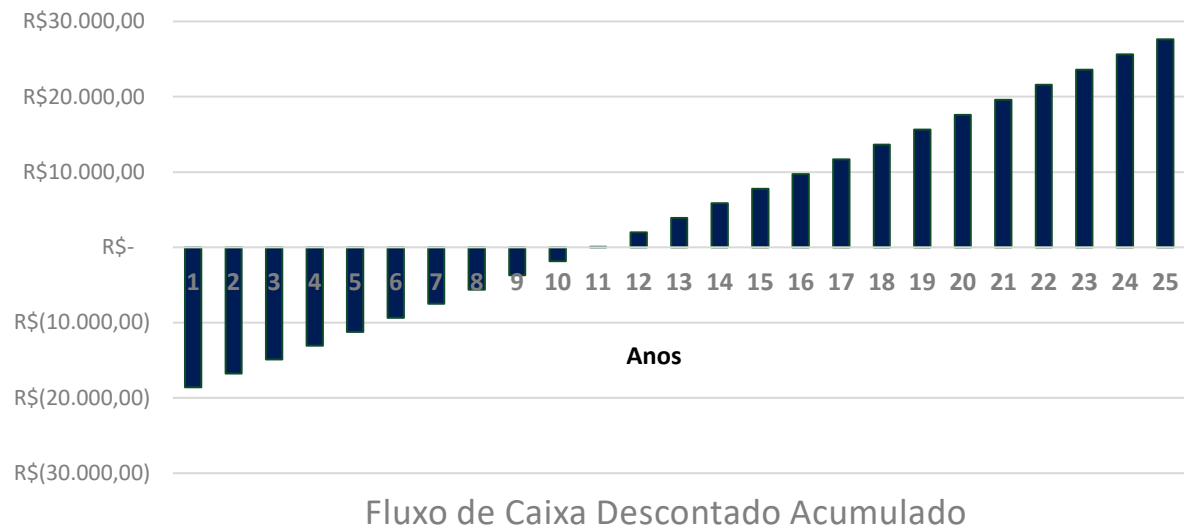
Tabela 42 – Valor Presente Líquido sistema PV/T edificação-modelo 2

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	R\$ 18.571,95	14	R\$ 5.837,07
2	R\$ 16.745,00	15	R\$ 7.774,97
3	R\$ 14.909,74	16	R\$ 9.721,68
4	R\$ 13.066,15	17	R\$ 11.677,24
5	R\$ 11.214,17	18	R\$ 13.641,69
6	R\$ 9.353,77	19	R\$ 15.615,06
7	R\$ 7.484,92	20	R\$ 17.597,41
8	R\$ 5.607,58	21	R\$ 19.588,77
9	R\$ 3.721,70	22	R\$ 21.589,18
11	R\$ 1.827,24	24	R\$ 23.598,68
12	R\$ 75,82	25	R\$ 25.617,32
13	R\$ 1.987,53	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, através dos dados presentes no Gráfico 10 é possível visualizar o *Payback* Descontado de 11 anos e o Fluxo de Caixa Descontado Acumulado de aproximadamente R\$ 25.617,22 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 10 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, a Tabela 43 representa o resumo do investimento, para o período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o Valor Presente Líquido foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 43 – Métricas e análises sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 20.390,64
O&M	R\$ 815,63
Economia Anual	R\$ 2.816,18
TIR	18,66%
TMA	10,00%
Economicamente viável?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.4.4 Parecer de viabilidade econômica edificação-modelo 2

Através dos dados obtidos na análise da edificação-modelo 2 foi possível verificar que os três sistemas, fotovoltaico, termossolar e híbrido PV/T, apresentaram viabilidade econômica, sendo a TIR de 27,4%, 22,22% e 18,66% respectivamente. Assim, o investimento adequado e com maiores vantagens para esse cenário seria o sistema fotovoltaico por possuir a maior TIR para o período de 25 anos de análise com investimento inicial de R\$ 14.000,00 e *Payback* de 7 anos e 1 mês. Além disso, o sistema termossolar também apresentou enorme potencial de investimento, uma vez

que o requer um aporte inicial menor comparado ao fotovoltaico e há viabilidade econômica.

5.5.1 Dimensionamento fotovoltaico edificação-modelo 3

Segundo a Resolução Normativa 414 de 2010 da ANEEL para o grupo B trifásico há a taxa de disponibilidade da rede de 100 kWh/mês. Devido à essa taxa mínima, deseja-se obter geração média de energia elétrica de aproximadamente 470 kWh/mês através do *kit* fotovoltaico.

Na Tabela 44 estão representados os dados de entrada do projeto.

Tabela 44 – Entradas do sistema edificação-modelo 3

Entradas	
Consumo médio (kWh)	560
Disponibilidade (kWh)	100
Geração desejada (kWh)	470
Irradiação Média Local (kWh/m ² x dia)	5,2
Média de Dias por Mês	30
Fator de correção por perdas de potência	0,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através da Equação 6 é possível calcular potência em quilowatt pico.

$$P = \frac{470}{0,8 \times 5,2 \times 30}$$

$$P = 3,76 \text{ kWp}$$

Portanto, é necessário um *kit* gerador fotovoltaico de aproximadamente 3,76 kWp.

5.5.1.1 Equipamentos sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

Para composição do gerador fotovoltaico, foram selecionados oito módulos Jinko 460 Wp de potência nominal com dimensões de 2182×1029×35mm e um inversor Growatt 3 kW de potência, totalizando o sistema de 3,68 kWp. Desta forma, a área necessária para instalação dos módulos fotovoltaicos é de aproximadamente 18 m². No Quadro 7 estão representados os dados técnicos do projeto.

Quadro 7 – Dados técnicos equipamentos do sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

Dados técnicos	
Equipamentos	Fortlev Solar
Módulos	9 módulos monocristalinos 460W Dimensões: 2182x1029x35mm Referência: Jinko Solar ou similar
Inversores	1 inversor 3 kWp Ref: Growatt ou similar

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.1.2 Geração média mensal energia elétrica - fotovoltaico edificação-modelo 3

Através da Equação 6 é possível calcular a geração média de energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico para cada mês do ano, representados na Tabela 45.

Tabela 45 – Geração média mensal de energia elétrica fotovoltaica edificação-modelo 3

Mês	Dias	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m²/dia)	Consumo mensal de energia elétrica (kWh)	Geração de energia elétrica (kWh)
Janeiro	31	5,73	632	523
Fevereiro	28	6,30	605	519
Março	31	5,58	620	509
Abril	30	5,19	577	458
Mai	31	4,73	586	432
Junho	30	4,52	589	399
Julho	31	4,58	564	418
Agosto	31	5,16	595	471
Setembro	30	5,24	561	463
Outubro	31	5,03	499	459
Novembro	30	4,86	490	429
Dezembro	31	5,44	508	496

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Dessa maneira, é possível visualizar que para nenhum mês houve geração de energia elétrica excedente.

Na Tabela 46 estão representados os dados das faturas mensais com e sem a utilização do sistema fotovoltaico, sendo possível visualizar a economia anual de R\$ 4.859,91 proporcionada pela utilização do sistema fotovoltaico.

Tabela 46 – Economia de energia elétrica sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

Mês	Valor da fatura sem sistema fotovoltaico	Valor da fatura com sistema fotovoltaico	Economia proporcionada pela utilização do sistema fotovoltaico
Janeiro	R\$ 581,64	R\$ 108,66	R\$ 472,98
Fevereiro	R\$ 556,41	R\$ 100,11	R\$ 456,30
Março	R\$ 570,42	R\$ 109,83	R\$ 460,60
Abril	R\$ 531,17	R\$ 116,58	R\$ 414,59
Maio	R\$ 539,58	R\$ 149,15	R\$ 390,44
Junho	R\$ 542,39	R\$ 181,32	R\$ 361,07
Julho	R\$ 519,96	R\$ 141,90	R\$ 378,05
Agosto	R\$ 547,99	R\$ 122,06	R\$ 425,93
Setembro	R\$ 517,15	R\$ 100,11	R\$ 417,05
Outubro	R\$ 461,08	R\$ 100,11	R\$ 360,97
Novembro	R\$ 452,66	R\$ 100,11	R\$ 352,56
Dezembro	R\$ 469,49	R\$ 100,11	R\$ 369,38
Total	R\$ 6.289,94	R\$ 1.430,03	R\$ 4.859,91

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.1.3 Despesas de capital e operacionais sistema fotovoltaico edificação-modelo 3
Através da realização de pesquisas de preços, foi encontrado o *kit* fotovoltaico utilizado para dimensionamento deste sistema pelo valor de R\$ 14.000,00 à vista e valor de mão de obra de R\$ 5.600,00. Além disso, como premissa, foi adotado um valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total do *kit* gerador fotovoltaico já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 47.

Tabela 47 – Custos sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

	Custos	
<i>Kit</i> Fotovoltaico	-R\$	14.000,00
Mão de obra	-R\$	5.600,00
O&M anual	-R\$	784,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.1.4 Indicativos econômicos e fluxo de caixa - fotovoltaico edificação-modelo 3
 Através das Equações de indicadores econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa, representado pela Tabela 48, o VPL representado pela Tabela 49 e o *Payback* Descontado.

Tabela 48 – Fluxo de Caixa sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 19.600,00	-R\$ -	-R\$ 19.600,00
1	R\$ 4.859,91	-R\$ 784,00	R\$ 4.075,91
2	R\$ 5.370,20	-R\$ 866,32	R\$ 4.503,88
3	R\$ 5.934,07	-R\$ 957,28	R\$ 4.976,78
4	R\$ 6.557,14	-R\$ 1.057,80	R\$ 5.499,35
5	R\$ 7.245,64	-R\$ 1.168,87	R\$ 6.076,78
6	R\$ 8.006,44	-R\$ 1.291,60	R\$ 6.714,84
7	R\$ 8.847,11	-R\$ 1.427,22	R\$ 7.419,90
8	R\$ 9.776,06	-R\$ 1.577,07	R\$ 8.198,99
9	R\$ 10.802,55	-R\$ 1.742,67	R\$ 9.059,88
10	R\$ 11.936,81	-R\$ 1.925,65	R\$ 10.011,17
11	R\$ 13.190,18	-R\$ 2.127,84	R\$ 11.062,34
12	R\$ 14.575,15	-R\$ 2.351,26	R\$ 12.223,89
13	R\$ 16.105,54	-R\$ 2.598,15	R\$ 13.507,39
14	R\$ 17.796,62	-R\$ 2.870,95	R\$ 14.925,67
15	R\$ 19.665,27	-R\$ 3.172,40	R\$ 16.492,87
16	R\$ 21.730,12	-R\$ 3.505,50	R\$ 18.224,62
17	R\$ 24.011,78	-R\$ 3.873,58	R\$ 20.138,20
18	R\$ 26.533,02	-R\$ 4.280,31	R\$ 22.252,71
19	R\$ 29.318,98	-R\$ 4.729,74	R\$ 24.589,25
20	R\$ 32.397,48	-R\$ 5.226,36	R\$ 27.171,12
21	R\$ 35.799,21	-R\$ 5.775,13	R\$ 30.024,09
22	R\$ 39.558,13	-R\$ 6.381,52	R\$ 33.176,61
23	R\$ 43.711,73	-R\$ 7.051,58	R\$ 36.660,16
24	R\$ 48.301,47	-R\$ 7.791,99	R\$ 40.509,48
25	R\$ 53.373,12	-R\$ 8.610,15	R\$ 44.762,97

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

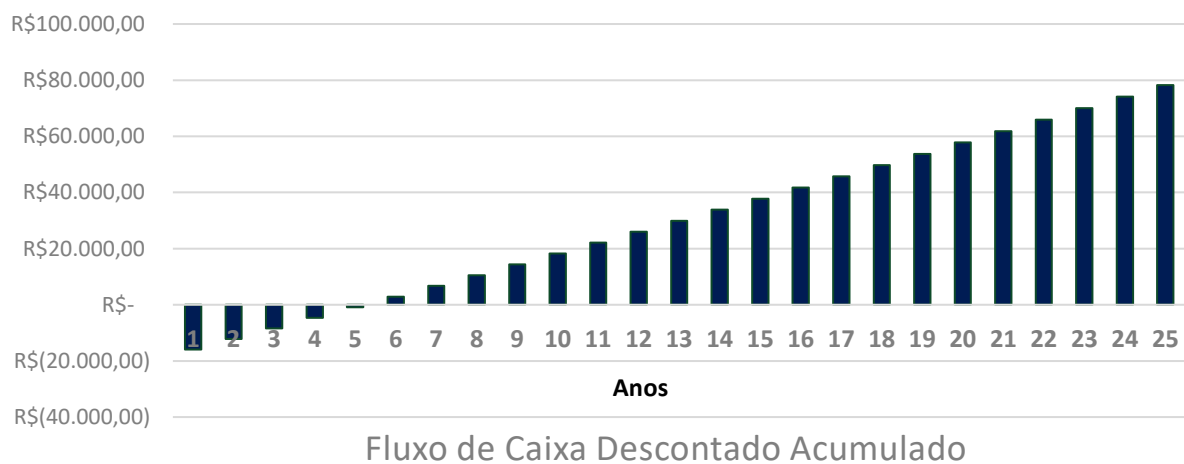
Tabela 49 – Valor Presente Líquido sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 15.894,63	14	R\$ 33.836,07
2	-R\$ 12.172,42	15	R\$ 37.784,33
3	-R\$ 8.433,29	16	R\$ 41.750,54
4	-R\$ 4.677,16	17	R\$ 45.734,77
5	-R\$ 903,96	18	R\$ 49.737,12
6	R\$ 2.886,39	19	R\$ 53.757,66
7	R\$ 6.693,97	20	R\$ 57.796,47
8	R\$ 10.518,86	21	R\$ 61.853,64
9	R\$ 14.361,14	22	R\$ 65.929,26
10	R\$ 18.220,87	23	R\$ 70.023,40
11	R\$ 22.098,16	24	R\$ 74.136,14
12	R\$ 25.993,06	25	R\$ 78.267,59
13	R\$ 29.905,67	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A partir dos dados representados no Gráfico 11 é possível visualizar que o *Payback* ocorrerá em 5 anos e 2 meses e o Fluxo de Caixa Acumulado será de aproximadamente R\$ 78.267,59 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 11 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado edificação-modelo 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Tabela 50 estão representados os dados de resumo do investimento para período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VPL foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 50 – Métricas e análises sistema fotovoltaico edificação-modelo 3

Métricas e análise	
Investimento	R\$ 19.600,00
O&M	R\$ 784,00
Economia anual	R\$ 4.859,91
TIR	31,00%
TMA	10,00%
Viabilidade econômica?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.2 Dimensionamento termossolar edificação-modelo 3

Através da Equação 8 é possível calcular a energia térmica produzida pelo sistema térmico em quilowatt-hora. Sabe-se que 1 kWh equivale à 3.600.000 joules e é possível por meio da Equação Fundamental da Calorimetria, calcular a variação de temperatura da água, sendo a massa do sistema de 1000 Kg referente ao reservatório térmico de 1000 L.

Na Tabela 51 estão representados os valores de energia térmica produzida pelos painéis termossolares e a elevação de temperatura da água para cada mês, considerando o rendimento do sistema de 70%.

Tabela 51 – Dados do sistema termossolar edificação-modelo 3

MÊS	DIAS	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m ² /dia)	Geração de energia térmica (kWh)	Varição de temperatura (°C)	Temperatura final (°C)
Janeiro	31	5,7	559,5	15,5	41,1
Fevereiro	28	6,3	555,7	17,1	43,0
Março	31	5,6	544,9	15,1	40,7
Abril	30	5,2	490,5	14,1	38,6
Mai	31	4,7	461,9	12,8	36,5
Junho	30	4,5	427,1	12,2	35,2
Julho	31	4,6	447,2	12,4	34,5
Agosto	31	5,2	503,9	14,0	36,5
Setembro	30	5,2	495,2	14,2	36,5
Outubro	31	5,0	491,2	13,6	36,8
Novembro	30	4,9	459,3	13,2	36,4
Dezembro	31	5,4	531,2	14,7	39,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao relacionar a Tabela 11 e a Tabela 51, é possível notar que para este sistema em todos os meses será possível alcançar próximo a temperatura ideal da água para banho, minimizando assim o consumo de energia elétrica por meio da utilização do chuveiro elétrico. Desta forma, a economia média mensal de energia elétrica será de 227 kWh equivalente a R\$ R\$ 2.461,58 por ano.

5.5.2.1 Equipamentos sistema termossolar edificação-modelo 3

Após a análise de dimensionamento e de realizar pesquisas de equipamentos fornecidos pelo mercado, foram selecionados equipamentos termossolares, no valor de R\$ 9.000,00, compostos por um módulo de 4,5 m² de área e um reservatório térmico de 1000 L, totalizando 5,5 m² de área ocupada pelo sistema, conforme representados no Quadro 8.

Quadro 8 – Dados técnicos equipamentos termossolares edificação-modelo 3

Dados técnicos - Equipamentos	
Distribuidora	Soletrol ou similar
Módulos	Módulo termossolare de 4,5 m ²
Reservatório	Reservatórios de 1000 L
Área ocupada	5,5 m ²

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.2.2 Despesas de Capital e operacionais sistema termossolar edificação-modelo 3

Como premissa, foi adotado valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total dos equipamentos já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 52.

Tabela 52 – Custos sistema termossolar edificação-modelo 3

Custos		
Materiais	-R\$	9.000,00
Mão de obra	-R\$	3.600,00
O&M anual	-R\$	504,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.2.3 Indicativos econômicos e fluxo de caixa sistema termossolar edificação-modelo 3

Através das Equações de indicadores econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa. Representado pela Tabela 53, o Valor Presente Líquido representado pela Tabela 54 e o *Payback* Descontado.

Tabela 53 – Fluxo de Caixa termossolar edificação-modelo 3

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 12.600,00	R\$ -	-R\$ 12.600,00
1	R\$ 2.461,58	-R\$ 504,00	R\$ 1.957,58
2	R\$ 2.720,04	-R\$ 556,92	R\$ 2.163,12
3	R\$ 3.005,65	-R\$ 615,40	R\$ 2.390,25
4	R\$ 3.321,24	-R\$ 680,01	R\$ 2.641,23
5	R\$ 3.669,97	-R\$ 751,41	R\$ 2.918,55
6	R\$ 4.055,32	-R\$ 830,31	R\$ 3.225,00
7	R\$ 4.481,12	-R\$ 917,50	R\$ 3.563,63
8	R\$ 4.951,64	-R\$ 1.013,83	R\$ 3.937,81
9	R\$ 5.471,56	-R\$ 1.120,29	R\$ 4.351,28
10	R\$ 6.046,08	-R\$ 1.237,92	R\$ 4.808,16
11	R\$ 6.680,92	-R\$ 1.367,90	R\$ 5.313,02
12	R\$ 7.382,41	-R\$ 1.511,53	R\$ 5.870,89
13	R\$ 8.157,57	-R\$ 1.670,24	R\$ 6.487,33
14	R\$ 9.014,11	-R\$ 1.845,61	R\$ 7.168,50
15	R\$ 9.960,59	-R\$ 2.039,40	R\$ 7.921,19
16	R\$ 11.006,46	-R\$ 2.253,54	R\$ 8.752,92
17	R\$ 12.162,13	-R\$ 2.490,16	R\$ 9.671,97
18	R\$ 13.439,16	-R\$ 2.751,63	R\$ 10.687,53
19	R\$ 14.850,27	-R\$ 3.040,55	R\$ 11.809,72
20	R\$ 16.409,55	-R\$ 3.359,80	R\$ 13.049,74
21	R\$ 18.132,55	-R\$ 3.712,58	R\$ 14.419,97
22	R\$ 20.036,47	-R\$ 4.102,40	R\$ 15.934,06
23	R\$ 22.140,30	-R\$ 4.533,16	R\$ 17.607,14
24	R\$ 24.465,03	-R\$ 5.009,14	R\$ 19.455,89
25	R\$ 27.033,85	-R\$ 5.535,10	R\$ 21.498,76

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

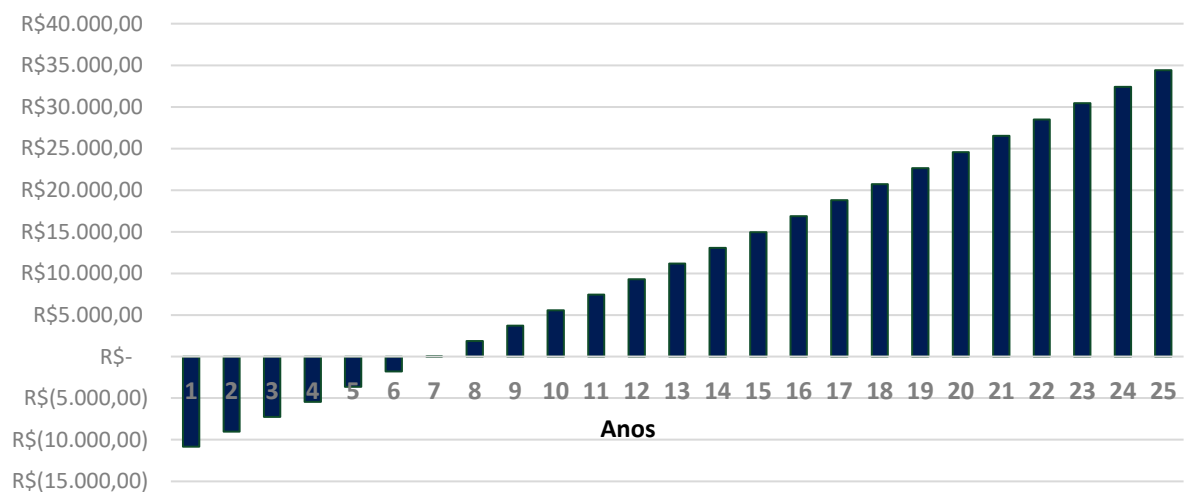
Tabela 54 – Valor Presente Líquido termossolar edificação-modelo 3

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 10.820,39	14	R\$ 13.064,27
2	-R\$ 9.032,68	15	R\$ 14.960,54
3	-R\$ 7.236,85	16	R\$ 16.865,43
4	-R\$ 5.432,86	17	R\$ 18.778,98
5	-R\$ 3.620,67	18	R\$ 20.701,23
6	-R\$ 1.800,24	19	R\$ 22.632,21
7	R\$ 28,47	20	R\$ 24.571,98
8	R\$ 1.865,49	21	R\$ 26.520,55
9	R\$ 3.710,85	22	R\$ 28.477,99
10	R\$ 5.564,61	23	R\$ 30.444,32
11	R\$ 7.426,79	24	R\$ 32.419,59
12	R\$ 9.297,43	25	R\$ 34.403,84
13	R\$ 11.176,58	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Através dos dados apresentados no Gráfico 12 é possível visualizar o *Payback* Descontado de 7 anos e o Fluxo de Caixa Descontado Acumulado de aproximadamente R\$ 34.403,84 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 12 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema termossolar edificação-modelo 3



Fluxo de Caixa Descontado Acumulado

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, os dados presentes na Tabela 55 representam o resumo do investimento para período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o VPL foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 55 - Métricas e análises sistema termosssolar edificação-modelo 3

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 12.600,00
O&M	R\$ 504,00
Economia Anual	R\$ 2.461,58
TIR	25,38%
TMA	10,00%
Viabilidade econômica?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.3 Dimensionamento híbrido PV/T edificação-modelo 3

Para iniciar o dimensionamento híbrido PV/T, utilizou-se do método de tentativa e erro relacionando a Equação 6, Equação 7 e Equação 8, com a finalidade de encontrar a energia elétrica gasta pelo chuveiro elétrico, a energia elétrica requerida gerada pelos módulos fotovoltaicas levando em consideração a energia elétrica que seria consumida pelo chuveiro elétrico e que será abatida pela energia térmica produzida pelo sistema termosolar, e por fim, a área necessária dos módulos termosolares. Além disso, o volume do reservatório térmico foi dimensionado baseado na demanda diária de água aquecida e na quantidade de dias sobressalentes para situações de climas sem ou com pouco sol, ou seja, nublados ou chuvosos. Nessa situação, foi considerado para o sistema híbrido PV/T reservatório térmico suficiente para um dia sobressalente, ou seja, 1000 L já que o sistema híbrido também terá apoio de geração de energia elétrica fotovoltaica. Assim, foi dimensionado para o sistema termosolar, como premissa, máxima economia possível do consumo de energia elétrica do chuveiro elétrico, totalizando 227 kWh/mês e através da Equação 7 foi possível dimensionar a área necessária de 9 m² utilizando rendimento de 35% devido ao menor rendimento do sistema térmico híbrido em relação ao termosolar convencional. Já para o sistema fotovoltaico foi dimensionado geração média de energia elétrica de aproximadamente 242 kWh/mês, que representa a média mensal do restante de energia elétrica requerida pelo sistema subtraído da taxa de disponibilidade da rede. Assim, através da Equação 6 foi possível obter a potência de módulos fotovoltaicos de 1,94 kWp, considerando um fator de perdas de potência de 20%.

5.5.3.1 Equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3

Para realização desta análise, foram utilizados três módulos termosolares de 3 m² em conjunto com quatro módulos fotovoltaicos de 460w, totalizando uma área

ocupada de 9 m², e um inversor de 2 kW de potência. Além disso, foi utilizado reservatório térmico de 1000 L de água. No Quadro 9 estão representados os dados técnicos do projeto.

Quadro 9 – Dados técnicos equipamentos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3

Dados técnicos	
Módulos + Reservatório	Módulos monocristalinos Jinko Solar 460 W Ref: Jinko Solar ou similar
	Módulos termossolar Soletrol 1 boilers - 1000 L
Microinversores	Inversor 2 kW Ref: Goodwe

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.3.2 Geração de energia elétrica sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3

Através da Equação 6 e da Equação Fundamental da Calorimetria é possível calcular a energia térmica em quilowatt-hora gerada pelo sistema termossolar e a elevação da temperatura da água. Estes dados estão representados na Tabela 56.

Tabela 56 - Energia termossolar gerada pelo sistema e variação de temperatura da água em °C edificação-modelo 3

Meses	Geração de Energia Térmica (kWh)	Elevação de temperatura (°C)	Temperatura final (°C)
Jan	560	15,5	41,1
Fev	556	17,1	43,0
Mar	545	15,1	40,7
Abr	490	14,1	38,6
Mai	462	12,8	36,5
Jun	427	12,2	35,2
Jul	447	12,4	34,5
Ago	504	14,0	36,5
Set	495	14,2	36,5
Out	491	13,6	36,8
Nov	459	13,2	36,4
Dez	531	14,7	39,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao relacionar a Tabela 11 e a Tabela 56, é possível notar que este sistema será possível atingir para todos os meses temperatura próxima a ideal da água para banho.

Desta forma, a economia média mensal de energia elétrica será de 227 kWh, equivalente a R\$ 2.721,6 por ano.

Além disso, através da Equação 6 é possível calcular a geração média de energia elétrica produzida pelo gerador fotovoltaico para cada mês do ano. Estes valores estão representados na Tabela 57.

Tabela 57 – Geração de energia elétrica fotovoltaico sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3

Meses	Geração de energia elétrica(kWh) - fotovoltaico
Jan	261
Fev	260
Mar	255
Abr	229
Mai	216
Jun	200
Jul	209
Ago	235
Set	231
Out	230
Nov	215
Dez	248

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Tabela 58 estão representados os dados referentes à economia média de energia elétrica através do sistema gerador híbrido PV/T.

Tabela 58 – Economia média mensal de energia elétrica – sistema PV/T edificação-modelo 3

Meses	Consumo de energia elétrica (kWh)	Projeção da fatura sem PV/T	Geração média mensal de energia elétrica (kWh) – PV/T	Projeção da fatura com PV/T
Jan	632	R\$ 581,64	488	R\$ 140,02
Fev	605	R\$ 556,41	486	R\$ 116,42
Mar	620	R\$ 570,42	481	R\$ 134,99
Abr	577	R\$ 531,17	456	R\$ 118,75
Mai	586	R\$ 539,58	443	R\$ 139,23
Jun	589	R\$ 542,39	426	R\$ 156,72
Jul	564	R\$ 519,96	436	R\$ 125,80
Ago	595	R\$ 547,99	462	R\$ 129,90
Set	561	R\$ 517,15	458	R\$ 102,73
Out	499	R\$ 461,08	456	R\$ 100,11
Nov	490	R\$ 452,66	441	R\$ 100,11
Dez	508	R\$ 469,49	475	R\$ 100,11

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Desta forma, a economia anual de energia elétrica com a utilização do sistema Híbrido PV/T é de R\$ 4.825,06.

5.5.3.3 Despesas de capital e operacionais - PV/T edificação-modelo 3

Como premissa, foi adotado valor de custo de Manutenção e Operação (O&M) de 4% ao ano, sobre o preço total dos equipamentos já com a mão de obra inclusa. Esses valores estão representados na Tabela 59.

Tabela 59 – Custos sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3

Custos		
Materiais	-R\$	22.000,00
Mão de obra	-R\$	8.800,00
O&M anual	-R\$	1.232,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.3.4 Indicativos econômicos e fluxo de caixa - PV/T edificação-modelo 3

Através das Equações de indicadores econômicos, Equação 2, Equação 3 e Equação 5 é possível calcular o Fluxo de caixa, representado pela Tabela 60, o Valor Presente Líquido representado pela Tabela 61 e o *Payback* Descontado.

Tabela 60 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2

(Continua)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
0	-R\$ 30.800,00	-	-R\$ 30.800,00
1	R\$ 4.825,06	-R\$ 497,41	R\$ 3.593,06
2	R\$ 5.331,69	-R\$ 549,64	R\$ 3.970,33
3	R\$ 5.891,52	-R\$ 607,35	R\$ 4.387,22
4	R\$ 6.510,13	-R\$ 671,13	R\$ 4.847,87
5	R\$ 7.193,69	-R\$ 741,59	R\$ 5.356,90
6	R\$ 7.949,03	-R\$ 819,46	R\$ 5.919,38
7	R\$ 8.783,68	-R\$ 905,50	R\$ 6.540,91
8	R\$ 9.705,96	-R\$ 1.000,58	R\$ 7.227,71
9	R\$ 10.725,09	-R\$ 1.105,64	R\$ 7.986,61
10	R\$ 11.851,22	-R\$ 1.221,74	R\$ 8.825,21
11	R\$ 13.095,60	-R\$ 1.350,02	R\$ 9.751,86
12	R\$ 14.470,64	-R\$ 1.491,77	R\$ 10.775,80

Tabela 60 – Fluxo de Caixa sistema híbrido PV/T edificação-modelo 2
(Conclusão)

ANO	Inv. Inicial e Entradas	Custos Operacionais	FC Total
13	R\$ 15.990,06	-R\$ 1.648,41	R\$ 11.907,26
14	R\$ 17.669,02	-R\$ 1.821,49	R\$ 13.157,52
15	R\$ 19.524,26	-R\$ 2.012,75	R\$ 14.539,06
16	R\$ 21.574,31	-R\$ 2.224,08	R\$ 16.065,66
17	R\$ 23.839,61	-R\$ 2.457,61	R\$ 17.752,56
18	R\$ 26.342,77	-R\$ 2.715,66	R\$ 19.616,58
19	R\$ 29.108,76	-R\$ 3.000,81	R\$ 21.676,32
20	R\$ 32.165,18	-R\$ 3.315,89	R\$ 23.952,33
21	R\$ 35.542,53	-R\$ 3.664,06	R\$ 26.467,33
22	R\$ 39.274,49	-R\$ 4.048,79	R\$ 29.246,39
23	R\$ 43.398,31	-R\$ 4.473,91	R\$ 32.317,27
24	R\$ 47.955,14	-R\$ 4.943,67	R\$ 35.710,58
25	R\$ 52.990,43	-R\$ 5.462,75	R\$ 39.460,19

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

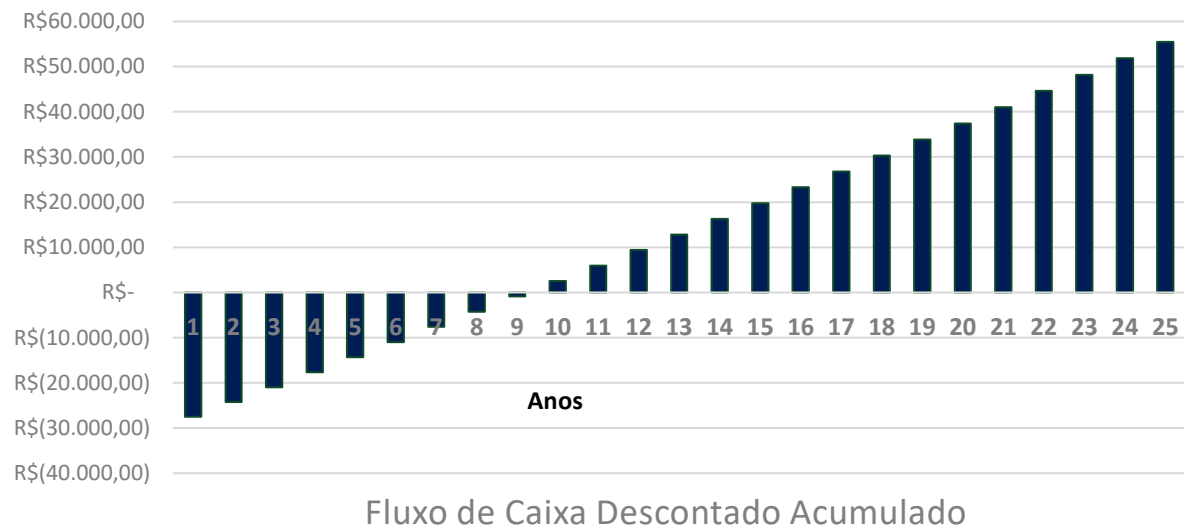
Tabela 61 – Valor Presente Líquido sistema PV/T edificação-modelo 2

ANO	Valor Presente Líquido	ANO	Valor Presente Líquido
1	-R\$ 27.533,58	14	R\$ 16.305,84
2	-R\$ 24.252,32	15	R\$ 19.786,38
3	-R\$ 20.956,14	16	R\$ 23.282,73
4	-R\$ 17.644,97	17	R\$ 26.794,98
5	-R\$ 14.318,76	18	R\$ 30.323,20
6	-R\$ 10.977,43	19	R\$ 33.867,45
7	-R\$ 7.620,90	20	R\$ 37.427,81
8	-R\$ 4.249,13	21	R\$ 41.004,35
9	-R\$ 862,02	22	R\$ 44.597,16
10	R\$ 2.540,48	23	R\$ 48.206,29
11	R\$ 5.958,44	24	R\$ 51.831,83
12	R\$ 9.391,95	25	R\$ 55.473,84
13	R\$ 12.841,06	26	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Por fim, através dos dados presentes no Gráfico 13 é possível visualizar o *Payback* Descontado de 9 anos e 4 meses e o Fluxo de Caixa Descontado Acumulado de aproximadamente R\$ 55.473,84 para o tempo de 25 anos.

Gráfico 13 – Fluxo de Caixa Descontado Acumulado sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Além disso, a Tabela 62 representa o resumo do investimento, para o período de análise de 25 anos, em que pode ser observado a viabilidade econômica do projeto, uma vez que o Valor Presente Líquido foi positivo e a TIR foi superior a TMA.

Tabela 62 – Métricas e análises sistema híbrido PV/T edificação-modelo 3

Métricas e análises	
Investimento	R\$ 30.800,00
O&M	R\$ 1.232,00
Economia Anual	R\$ 4.825,06
TIR	20,95%
TMA	10,00%
Economicamente viável?	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5.5.4 Parecer de viabilidade econômica edificação-modelo 3

Através dos dados obtidos na análise da edificação-modelo 3 foi possível verificar que os três sistemas, fotovoltaico, termossolar e híbrido PV/T, apresentaram viabilidade econômica, sendo a TIR de 31,00%, 25,38% e 20,95% respectivamente. Assim, o investimento adequado e com maiores vantagens para esse cenário seria o sistema fotovoltaico por possuir a maior TIR para o período de 25 anos de análise com investimento inicial de R\$ 19.600,00 e *Payback* de 5 anos e 2 meses.

6 CONCLUSÃO

6.1 RELATÓRIO DE PARECER TÉCNICO-ECONÔMICO

A partir dos resultados obtidos no capítulo 5, foi possível observar que para as edificações-modelo analisadas, levando em consideração as premissas adotadas e os preços dos equipamentos, os três diferentes sistemas de energia solar; fotovoltaico, termossolar e híbrido PV/T; apresentaram viabilidade técnico-econômica.

É possível afirmar que o sistema fotovoltaico se destacou economicamente em relação aos demais sistemas; termossolar e híbrido PV/T; para as edificações-modelo 2 e 3, apresentando maior VLP e TIR e menor *Payback* para ambas edificações, sendo assim a melhor opção de investimento. Já para a edificação-modelo 1 houve destaque para o sistema termossolar, uma vez que o consumo de energia elétrica através da utilização do chuveiro elétrico representa uma parcela considerada da demanda de energia elétrica da edificação.

Além disso, por meio dos resultados apresentados no capítulo 5 é possível afirmar que a área necessária para instalação dos sistemas não é expressiva em relação à área das residências, não sendo assim um problema, salvo exceções.

É válido ressaltar que o sistema termossolar tem como vantagem o baixo custo de aquisição dos equipamentos, caso não seja utilizado premissa de reservatório para dias sobressalentes o sistema se torna bem acessível. Já o sistema híbrido PV/T se apresenta como excelente opção para projetos como por exemplo “minha casa minha vida”, devido a possibilidade de aquecimento da água para banho e geração de energia elétrica através de um único sistema.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros estudos e trabalhos é sugerido realizar a análise de viabilidade técnica-econômica por meio de financiamentos e considerar as novas mudanças regulatórias da ANEEL através da Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, que propôs um marco legal para a geração distribuída no país. Além disso, é sugerido realizar a análise do sistema híbrido PV/T utilizando módulos que estejam presentes na comercialização do mercado solar e que suas características técnicas estejam disponíveis em folhas de dados.

REFERÊNCIAS

ARDIVEL, B. V. S. Diretrizes para a análise de viabilidade econômico-financeira de empreendimentos imobiliários. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, n. 10, p. 1-15, 2015.

ARCURI, N.; REDA, F.; DE SIMONE, M. Energy and thermo-fluid-dynamics evaluations of photovoltaic panels cooled by water and air. **Solar Energy**, v. 105, p. 147–156, 2014.

BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering economy**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

CASALS, M. R.. **Energia Solar Térmica**. 1º Edición. Barcelona. Edicions UPC. 2006.

Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações – CB3E.

CHARALAMBOUS, P. G. et al. Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review. **Applied Thermal Engineering**, v. 27, n. 2–3, p. 275–286, 2007.

CHOW, T. T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. **Applied Energy**, v. 87, n. 2, p. 365–379, 2010.

CHUCO, B. Otimização da potência de operação em sistema isolado fotovoltaico usando técnicas de inteligência artificial. 2007.

CRESESB - Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2006.

CRESESB. Energia Solar – **Princípios e Aplicações**. 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>.

ELSEVIER. **Reference Manager and Academic Social Network - Mendeley Database.**

FERREIRA, João Paulo. **A ENERGIA SOLAR E O CONCEITO DE HORAS DE SOL PLENO.** São Paulo: Academia, 2014.

GHISI, Enedir. Instalações prediais de água quente. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/knoxlomu/gua-quente-instalacoes-prediais-1>> Acessado em: 3 Fev 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

HONGBING, C. et al. Experimental Study on the Energy Performance of PV-HP Water Heating System. **Energy Procedia**, v. 75, p. 294–300, 2015.

IKKI, O.; KUROKAWA, K. **The Japanese Experiences with National PV System Programmes.** Solar Energy. Vol 70. Nº 6. 2001.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **ENERGIA EÓLICA.** 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

MARCHIORO, A. F.; DAHMER, R. D.; SOUZA, R. C. Metodologia Para Análise da Viabilidade Técnica-Econômica para Geração de Energia Fotovoltaica. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2018.

OLIVEIRA, I. C. DE; GUERRA, M. I. DA S.; VIEIRA, R. G. Uma Revisão Sobre a Tecnologia Solar Híbrida a Review on the Hybrid Solar Technology Photovoltaic and Thermal in Brazil and the in. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 181–205, 2019.

OBSERVATÓRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE. **Energia Solar Fotovoltaica:** Programa de capacitação em energias renováveis.

Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio Contínua – PNAD, 2019.

PINHO, João Tavares. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. 529 p.

Portal Solar - <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em 05/07/2021.

RIBEIRO, N. C. C. Fotovoltaico E Térmico. p. 34, 2016.

RÍSPOLI, Í. A. G. **O aquecedor solar brasileiro: teoria e prática em prol de uma transferência de tecnologia sustentável**. 2008. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ROSS, S.; WESTERFIELD, R.; JORDAN, B. **Fundamentals of corporate finance**. 9. ed. New York: The McGraw-Hill, 2010.

SANTOS, Suelem V. dos et al. COLETOR SOLAR HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA. **Unoesc & Ciência - Acet**, [s.i.], v. 7, n. 2, p.169-176, dez. 2016. Disponível em:< <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/11997>>. Acesso em: 09/07/2021.

SCHNEIDER, S.; SCHMITT, C. J. O uso do método comparativo nas Ciências Sociais. **Cadernos de Sociologia**, v. 9, p. 49–87, 1998.

SeaTemperature - < <https://pt.seatemperature.net/current/brazil/vitoria-espírito-santo-brazil>>. Acesso em 24/02/2022.

THUESEN, G.J.; FABRYCKY, W.J. **Engineering Economy**. 9. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

TORRES, R. **Matemática financeira e engenharia econômica: a teoria e a prática**. 2004. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Matemática) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VIANA, Paulo R. **Avaliação Experimental de um Protótipo de Coletor Solar Híbrido para Geração Simultânea de Água quente e Eletricidade**. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Energia, Centro

Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

Disponível em: <<https://www.doccity.com/pt/avaliacao-experimental-de-um-coletor-solar-pvt/4870809/>>. Acesso em: 09/07/2021.