



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FRANCIELE DE LIBERO ESPÍRITO SANTO

**AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**

Londrina
2023

FRANCIELE DE LIBERO ESPÍRITO SANTO

**AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientadora: Profa. Dra. Juliani Chico Piai Paiva

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F817 SANTO, FRANCIELE DE LIBERO ESPÍRITO.
AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTÁICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL / FRANCIELE DE LIBERO ESPÍRITO SANTO. - Londrina, 2023.
84 f.

Orientador: Juliani Chico Piai Paiva.
Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2023. Inclui bibliografia.

1. Geração Distribuída - Tese. 2. Técnica Construtiva - Tese. 3. Viabilidade Econômica - Tese. I. Chico Piai Paiva, Juliani. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.

CDU 662

FRANCIELE DE LIBERO ESPÍRITO SANTO

**AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Juliani Chico Piai Paiva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Carmen Luísa Barbosa Guedes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Manoel Denis Costa Ferreira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 14 de abril de 2023.

AGRADECIMENTOS

O trabalho aqui apresentado só foi possível com a colaboração de algumas pessoas, pelo que gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente gostaria de agradecer a minha orientadora, Professora Doutora Juliani Chico Piai Paiva, por sua disponibilidade em me ajudar e pelos pertinentes conselhos dados sempre que a procurei. Tenho orgulho de dizer que ela é uma das pessoas responsáveis pelo meu desenvolvimento profissional. Obrigada pela confiança, amizade, conselhos e paciência. A senhora é um modelo de simplicidade, compreensão e competência.

À coordenadora do curso de Pós-Graduação, professora Carmen Luísa Barbosa Guedes, por incentivar os alunos e acreditar nos futuros pesquisadores.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa CNPq que me concedeu uma bolsa, durante a realização deste mestrado. Portanto, deixo aqui expresso meu agradecimento.

Por fim, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho e me estimularam intelectual e emocionalmente.

“Renda-se, como eu me rendi. Mergulhe no que você não conhece como eu mergulhei. Não se preocupe em entender, viver ultrapassa qualquer entendimento.”

Clarice Lispector

RESUMO

SANTO, Franciele de Libero Espírito. **Avaliação de Viabilidade de Implantação de Geração Fotovoltaica em Habitações de Interesse Social**. 2023. 84 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

A busca pela eficiência energética tanto no uso final, quanto na geração de energia elétrica, tem sido impulsionada em todo o mundo. No Brasil, desde 2007, determinou-se que a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) deveria se consolidar, não só como produtora de Habitação de Interesse Social (HIS), mas como uma agente promotora de sustentabilidade do setor construtivo no estado de São Paulo. Pensando a energia elétrica, a primeira iniciativa foi a instalação de Sistemas de Aquecedores Solares (SAS) de água para o uso do chuveiro. O segundo passo seria a instalação de placas fotovoltaicas para a geração de energia elétrica localmente. Dessa forma, as HIS se tornariam menos dependentes da eletricidade da rede de distribuição, elevando a qualidade de vida das famílias através da redução das despesas. Sendo assim, o presente trabalho propõe uma metodologia de avaliação da viabilidade técnica e econômica para a instalação associada de painéis fotovoltaicos e aquecimento solar de água (já existente nos projetos) nas Habitações de Interesse Social. Para isso, foi realizado um estudo de caso em um conjunto habitacional, localizado na cidade de Adamantina - São Paulo. O resultado obtido foi positivo, indicando que não são necessárias adequações construtivas e a Taxa de Retorno do Investimento (TIR) é maior que o custo de oportunidade de um investimento em renda fixa. Além disso, a metodologia poderá ser replicada em diferentes empreendimentos do governo e, se verificada a viabilidade de implantação da geração fotovoltaica, associada as medidas de eficiência energética já regulamentadas, será um avanço na garantia dos direitos sociais das famílias de baixa renda.

Palavras-chave: Geração Distribuída; Técnica Construtiva; Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

SANTO, Franciele de Libero Espírito Santo. **Feasibility Assessment of the Implementation of Photovoltaic Generation in Social Interest Housing**. 2023. 84 p. Master's Dissertation – Postgraduate Program in Bioenergy, State University of Londrina, Londrina, 2023.

The search for energy efficiency, both in end use and in the generation of electricity, has been driven around the world. In Brazil, since 2007, it was determined that the Housing and Urban Development Company (CDHU) should consolidate itself, not only as a producer of Social Interest Housing (HIS), but as an agent promoting the sustainability of the construction sector in the state of São Paulo. Thinking about electricity, the first initiative was the installation of Solar Water Heaters (SAS) for showers. The second step would be to install photovoltaic panels to generate electricity locally. In this way, HIS would become less dependent on electricity from the distribution network, raising the quality of life of families by reducing expenses. Therefore, this work proposes a methodology for assessing the technical and economic feasibility of installing photovoltaic panels and solar water heating (already existing in the projects) in Social Interest Housing. For this, a case study was carried out in a housing complex, located in the city of Adamantina - São Paulo. The result obtained was positive, indicating that constructive adjustments are not necessary, and the Investment Rate of Return (IRR) is greater than the opportunity cost of an investment in fixed income. In addition, the methodology can be replicated in different government projects and, if the feasibility of implementing photovoltaic generation, associated with energy efficiency measures already regulated, is verified, it will be a step forward in guaranteeing the social rights of low-income families.

Key-words: Distributed Generation; Constructive Technique; Economic Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de energia solar térmica	19
Figura 2 - Painéis solares em células monocristalinas x policristalinas	21
Figura 3 - Sistema solar fotovoltaico (<i>on grid</i>)	22
Figura 4 - Sistema fotovoltaico (<i>off grid</i>)	22
Figura 5 - Componentes do radier em concreto armado	35
Figura 6 - Elementos da alvenaria estrutural	36
Figura 7 - Elementos da alvenaria convencional	37
Figura 8 - Formatos de coberturas empregados na construção civil	39
Figura 9 - Tipos de telhas empregadas na construção civil	40
Figura 10 - Componentes estruturais dos telhados em madeira	41
Figura 11 - Componentes estruturais dos telhados metálicos	42
Figura 12 - Conjunto habitacional localizado em Adamantina - SP	46
Figura 13 - Consulta da irradiação solar na plataforma CRESESB	49
Figura 14 - Tipo de Sistema, clima e rede para a simulação no software	53
Figura 15 - Condições de instalação e painel solar fotovoltaico	53
Figura 16 - Definição de inversores	54
Figura 17 - Histórico de irradiação solar da cidade de Adamantina-SP	59
Figura 18 - Escolha do painel solar fotovoltaico	61
Figura 19 - Escolha da configuração do inversor	61
Figura 20 - Simulação do sistema solar fotovoltaico	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo mensal médio de energia elétrica das famílias de baixa renda	47
Gráfico 2 - Previsão de rendimento com consumo do sistema fotovoltaico	63
Gráfico 3 - Demonstrativo do retorno do investimento	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de renda salarial do programa minha casa minha vida (PMCMV).	30
Tabela 2 - Comparativa das faixas de renda salarial dos programas	31
Tabela 3 - Dados estatísticos da amostra do consumo de energia elétrica.....	48
Tabela 4 - Resumo das características do sistema fotovoltaico	62
Tabela 5 - Custo total de projeto do sistema solar fotovoltaico.....	65
Tabela 6 - Parâmetros utilizados para o método do fluxo de caixa.....	66
Tabela 7 - Resultados da análise de viabilidade econômico-financeira	66
Tabela 8 - Indicadores econômicos de confirmação da viabilidade do SFV	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Memorial descritivo com as especificações da fundação	55
Quadro 2 - Memorial descritivo com as especificações de alvenaria	55
Quadro 3 - Memorial descritivo com as especificações de cobertura.....	56
Quadro 4 - Método para a avaliação da viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNH	Banco Nacional de Habitação
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
UEL	Universidade Estadual de Londrina
FDCP	Fundação Casa Popular
FDI	Fator de Dimensionamento do inversor
FV	Fotovoltaico
HIS	Habitação de Interesse Social
ON GRID	Sistemas conectados à rede
OFF GRID	Sistemas Isolados
MCMV	Minha Casa Minha Vida
PAYBACK	Tempo de Retorno do Investimento
PFV	Potência do Sistema Fotovoltaico
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PV	Painel Fotovoltaico
SAS	Sistemas de Aquecedores Solares
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
SHIS	Sistema de Habitação de Interesse Social
SHM	Sistema de Habitação de Mercado

SPPM	Seguidor do Ponto de Potência Máxima
SNH	Sistema Nacional de Habitação
REN	Resolução Normativa
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UH	Unidades Habitacionais
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	ENERGIA SOLAR	18
3.1.1	Energia Solar Térmica	18
3.1.2	Energia Solar Fotovoltaica	20
3.2	PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO	23
3.3	HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	28
3.3.1	Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)	29
3.3.2	Programa Casa Verde e Amarela	31
3.4	PROJETO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	31
3.4.1	Fundação	34
3.4.2	Alvenaria	36
3.4.3	Cobertura	38
3.5	ANÁLISE ECONÔMICA - FINANCEIRA	42
4	METODOLOGIA	46
4.1	ESTUDO DE CASO	46
4.2	PROJETO FOTOVOLTAICO	48
4.2.1	Dimensionamento Método Analítico	48
4.2.2	Dimensionamento PV*SOL Premium®	52
4.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA CONSTRUTIVA	54
4.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – FINANCEIRA	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	PROJETO FOTOVOLTAICO	59
5.1.1	Dimensionamento Método Analítico	60
5.1.2	Dimensionamento PV*SOL Premium®	60

5.2	Viabilidade Técnica Construtiva	63
5.3	Viabilidade Econômica – Financeira	64
5.4	Metodologia para Avaliação da Viabilidade de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos em HIS	67
5	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICES	81
	APÊNDICE A – Consumo de Energia Elétrica das Famílias de Baixa Renda.....	82

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento das atividades sociais e econômicas em todo o mundo, a demanda por energia elétrica está em constante crescimento (SAMPAIO, 2017). Para atender tal demanda, as alternativas energéticas renováveis têm se tornado o foco de muitas pesquisas na busca pelo desenvolvimento sustentável (SILVA; SHAYANI; DE OLIVEIRA, 2018).

A energia solar fotovoltaica tem crescido significativamente no Brasil nos últimos anos. O país possui um grande potencial para a geração de energia através da luz do sol devido à sua localização geográfica privilegiada, com grande incidência de radiação solar em seu território (MORAIS, *et al.*, 2021). Além disso, existem programas de incentivo, com diversas políticas públicas e iniciativas para estimular a produção e o consumo da energia fotovoltaica, entre elas destacam-se os leilões de energia renovável (DIAS, *et.al.*, 2017).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2021 o país atingiu a marca histórica de 10 GW de potência instalada em energia solar fotovoltaica, o que representa cerca de 3% da matriz elétrica brasileira. A expectativa é de que essa capacidade continue crescendo nos próximos anos, impulsionada por novos investimentos e políticas públicas. Além disso, o Brasil também possui um grande mercado de geração distribuída de energia solar, em que consumidores residenciais e comerciais instalam painéis solares em suas próprias propriedades para gerar energia e reduzir seus custos com eletricidade. Esse mercado tem se expandido rapidamente nos últimos anos, impulsionado pela queda dos preços dos equipamentos e pelo aumento das tarifas de energia elétrica.

Diante de todo esse progresso, cabe ressaltar que a regulamentação da geração de energia elétrica através da luz solar é recente no país. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio das disposições da Resolução Normativa (REN) ANEEL nº 482, incentivou pela primeira vez o uso da energia solar fotovoltaica no Brasil em 2012. Foram estabelecidas condições gerais para a microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica. Com base na resolução, os consumidores poderiam gerar energia elétrica e fornecer o excedente para a rede local, compensando o uso de energia nos horários em que a geração não consegue atender a demanda da edificação, por exemplo, no período da noite. Três anos

depois, em novembro de 2015, a REN nº 482 voltou a ser alvo de discussões com a publicação da REN nº 687. Dentre os objetivos principais almejados com a nova intervenção estavam a simplificação do processo de conexão e o aumento do público-alvo atendido pela REN nº 482. Ainda, aprovado pela Câmara dos Deputados no dia 18 de agosto de 2021, o Projeto de Lei nº 5.829 de 2019, pretendia revisar diversos critérios vigentes para empreendimentos de micro e minigeração distribuídas, com o objetivo de garantir a segurança jurídica e estimular o desenvolvimento desse tipo de geração no cenário brasileiro. Dentre os principais objetivos do projeto estava a reformulação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) (SCHULTZ, Alexandre *et al.*, 2021). Finalmente, em 2022 foi instituído o chamado Marco Legal da Geração Distribuída, através da Lei nº 14.300. Dentre outras características, ela estabelece uma fase transitória para a cobrança de tarifas de microgeradores e minigeradores pelo uso do sistema de distribuição, garantindo que até 2045, os geradores já existentes pagarão apenas tarifas com base na diferença entre o que é consumido e o que é produzido e injetado na rede de distribuição, como já ocorre hoje.

Com a regulamentação do setor, o uso da energia solar passou a ser incentivado nas Habitações de Interesse Social (HIS) no Brasil. Primeiramente, através do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), criado em julho de 2009, foram estimulados os projetos incluindo sistemas de energia solar térmica, preferencialmente nas regiões sul, sudeste e centro-oeste (MAIA; LIMA; DE CARVALHO GOMES, 2019). Considerada uma experiência de sucesso pelo Governo Federal, a implantação do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) tornou-se obrigatória no ano de 2011, na segunda fase do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV2), para as unidades urbanas unifamiliares em todo o Brasil (GALAN, 2016). Já em sua terceira fase, no ano de 2017, o programa estabeleceu a obrigatoriedade de medidas para redução do consumo de energia elétrica por meio de energia solar, seja ela SAS ou Sistemas Fotovoltaicos (SFV), para unidades habitacionais térreas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste. Em 2020, o PMCMV deixou de existir e foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela, que tem como objetivo construir e financiar unidades habitacionais, mas também atuar na regularização fundiária e na melhoria de casas e apartamentos já construídos (MELO, 2021). De acordo com a Portaria nº 959 de 18 de maio de 2021, a instalação de sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica individualizado nas unidades

habitacionais de interesse social se tornou obrigatória.

Sendo assim, o presente trabalho propõe uma metodologia de avaliação da viabilidade de implantação de SFV nas Habitações de Interesse Social. Para isso, foi realizado em estudo de caso em um conjunto habitacional na cidade de Adamantina - São Paulo. Sob as óticas técnica e econômica, pretende-se conceber um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVR), através de simulações computacionais e cálculos de indicadores econômicos. Ressalta-se que a discussão do tema vai além das esferas de combate ao déficit habitacional e de diversificação da matriz energética, sendo um passo em direção a garantia de inclusão social e dos direitos sociais das famílias.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor um método que possibilite avaliar a viabilidade técnica e econômica para a implantação de geração fotovoltaica em Habitações de Interesse Social. Desta forma, o método poderá ser aplicado em diferentes empreendimentos do governo, e se verificada a viabilidade de implantação da geração fotovoltaica, associada as medidas de eficiência energética já regulamentadas, será um avanço na garantia dos direitos sociais de famílias de baixa renda.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar e aprofundar o conhecimento a respeito de projetos de sistemas fotovoltaicos, diretrizes construtivas para Habitações de Interesse Social e ferramentas de análise econômico-financeira;
- Realizar um estudo de campo para compreender o perfil de consumo de energia elétrica das famílias que residem em casas que compõe o objeto de estudo; além disso, analisar as características construtivas das HIS;
- Definir critérios que possam estabelecer uma metodologia de análise de viabilidade técnica e econômica para a implantação de SFV em Habitações de Interesse Social.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente é apresentada uma revisão da literatura sobre o conceito de energia solar e os sistemas para sua conversão e utilização nas residências. Como o foco deste estudo é a geração de energia elétrica, foram apresentadas na sequência as etapas que compõe a elaboração de um projeto de sistema fotovoltaico. Ainda, foram apresentados programas de habitações de interesse social no Brasil, seguidos pela estrutura construtiva utilizada nos projetos. Por fim, foram discutidas as ferramentas para uma análise de viabilidade econômico-financeira.

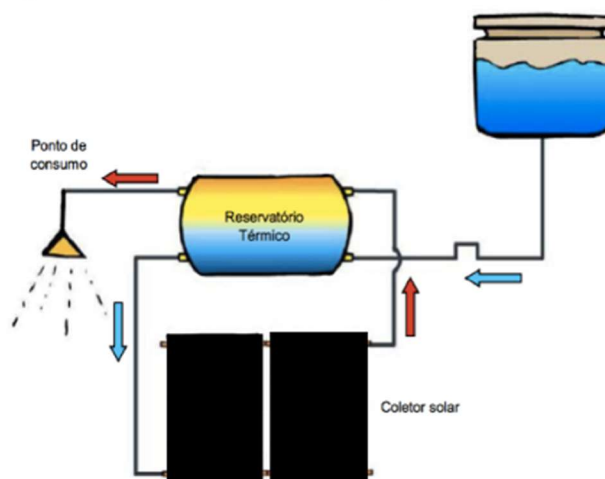
3.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar está disponível ao ser humano como um recurso alternativo e ilimitado. A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos e do meio ambiente, e para geração de energia mecânica ou elétrica. Também pode ser convertido diretamente em eletricidade através de seus efeitos em certos materiais (MACEDO, 2019).

Os dois sistemas que utilizam energia solar mais comumente em residências é o térmico e o fotovoltaico.

3.1.1 Energia Solar Térmica

De maneira simplificada, um sistema de aquecimento solar residencial consiste em coletores solares e reservatórios térmicos (também conhecido como boilers) conectados por tubulações. Os coletores solares são os responsáveis por absorver a radiação solar e aquecer a água que circula em seu interior (FURQUIM, 2020). A água quente vai sendo armazenada no reservatório térmico, recipiente que normalmente consiste em um cilindro de cobre, polipropileno ou aço inoxidável, isolado termicamente com poliuretano expandido, conforme demonstra a Figura 1 (DOS SANTOS; ZAMPERIN, 2017).

Figura 1 - Sistema de energia solar térmica

Fonte: Ensolare (2020)

O armazenamento de água quente se justifica como medida de eficiência energética, reduzindo o consumo de energia elétrica com o uso do chuveiro elétrico. Sendo assim, o sistema aquece a água durante o dia e acumula água suficiente para suprir o consumo quando não há luz solar, como à noite e de manhã, reduzindo o uso do chuveiro elétrico (SANTOS *et al.*, 2020).

Em grande parte dos sistemas residenciais de aquecimento solar, com armazenamento de até 1000 litros, a água circula entre os coletores e o boiler através de um sistema denominado termossifão ou circulação natural. Nestes sistemas, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água do boiler. Dessa forma, é dispensada a utilização de bombas, uma vez que a água fria desloca a água quente, gerando a circulação. Nesta configuração o boiler é posicionado acima dos coletores (MAIA; LIMA; DE CARVALHO GOMES, 2019).

Em alguns sistemas residenciais a circulação da água é efetuada através de motobombas em um processo chamado de circulação forçada ou bombeado. Os sistemas residenciais com circulação forçada geralmente apresentam o boiler separado dos coletores, de forma que o boiler possa ser instalado no nível do chão, enquanto os coletores ficam usualmente instalados nos telhados. Este tipo de configuração é normalmente utilizado em piscinas ou em sistemas que requerem o transporte de grandes volumes de água (DE MEDEIROS *et al.*, 2022).

Durante a instalação de sistemas de aquecimento solar, os coletores devem ser orientados com sua face voltada para o norte geográfico. Desvios menores que 30° não representam quedas de desempenho significantes no sistema. À medida que o desvio ultrapassa os 30°, a probabilidade de aumentar a área destinada aos coletores aumenta. Desvios maiores que 90° não são recomendados (POÇAS *et al.*, 2021).

No que diz respeito aos materiais utilizados para tubos que transportam água em temperatura elevada, é comum utilizar tubos feitos de cobre. Esta escolha se justifica pois o material é muito resistente e são indicados para altas temperaturas (passagem de água acima dos 100°C). Além disso, o cobre possui fácil manuseio, é soldável e utiliza poucas abraçadeiras (SALES, 2017).

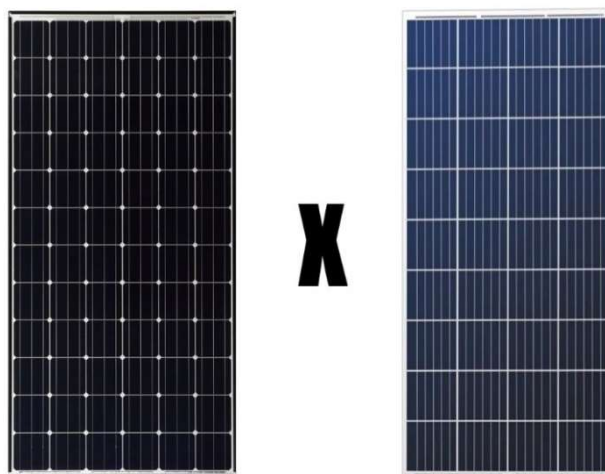
No que tange às dificuldades e aspectos que devem ser considerados, as instalações que utilizam água quente necessitam da utilização de isolamento térmico e juntas de dilatação, sendo também imperioso levar em consideração a corrosão para tubulações que se encontram expostas (PANSANATO, 2016).

3.1.2 Energia Solar Fotovoltaica

De acordo com Zilles (2014), em 1839, foi observado pela primeira vez por Becquerel o efeito fotovoltaico que gera eletricidade a partir da luz do Sol. O Sistema de Geração Solar Fotovoltaico (SGFV) consiste em transformar a radiação solar em eletricidade por meio do uso de células fotovoltaicas conectadas em painéis fotovoltaicos. As células são fabricadas com materiais semicondutores e geram corrente elétrica a partir de um fenômeno físico chamado efeito fotovoltaico.

Existem dois tipos principais de células solares usadas na fabricação de painéis solares: as células monocristalinas e as células policristalinas, conforme mostra a Figura 2 (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Figura 2 - Painéis solares em células monocristalinas x policristalinas



Fonte: Brasil Solar (2019)

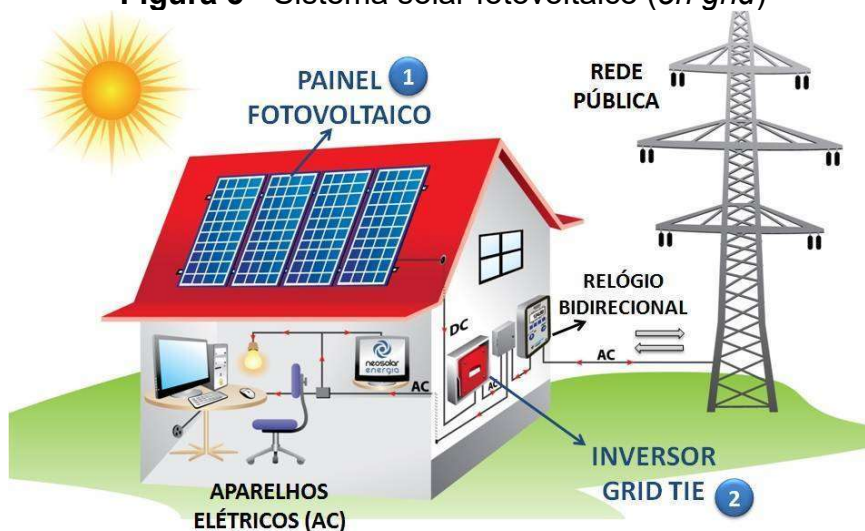
As células monocristalinas são feitas a partir de um único cristal de silício, o que as torna mais eficientes na conversão da luz solar em eletricidade. Essas células são geralmente mais escuras e têm um visual uniforme. Os painéis solares monocristalinos são mais eficientes em áreas com menor disponibilidade de espaço para instalação e são mais caros do que os painéis policristalinos.

Já as células policristalinas são feitas a partir de vários cristais de silício fundidos, o que as torna menos eficientes do que as células monocristalinas, mas mais baratas na fabricação. Essas células geralmente têm uma aparência mais azulada e menos uniforme do que as células monocristalinas.

Ambos os tipos de células solares são utilizados em painéis solares fotovoltaicos e têm seus pontos fortes e fracos. A escolha entre painéis solares monocristalinos e policristalinos dependerá das necessidades e condições específicas de cada instalação, como espaço disponível, orçamento e eficiência desejada.

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em: Sistemas conectados à rede (*On Grid*), conforme Figura 3, e Sistemas Isolados (*Off Grid*), apresentado na Figura 4.

Figura 3 - Sistema solar fotovoltaico (*on grid*)



Fonte: Neosolar (2021)

O que os diferencia é que o sistema *On Grid* é utilizado onde há conexão com a rede da concessionária, por exemplo o meio urbano, já o *Off Grid* é totalmente autônomo, ou seja, não é integrado à rede “pública” de energia elétrica e a sua energia gerada é armazenada em baterias. A escolha de cada sistema dependerá da aplicação ou disponibilidade dos recursos energéticos.

Figura 4 - Sistema fotovoltaico (*off grid*)



Fonte: Neosolar (2021)

Existe no Brasil um sistema de compensação de energia elétrica, que estabelece que o excedente de energia gerada é compartilhado na rede de

distribuição, e o medidor bidirecional fará o registro da eletricidade que está sendo injetada. Quando o edifício consome mais energia do que o sistema fotovoltaico produz, o medidor registrará o fluxo em seu sentido convencional (URBANETZ *et al.*, 2010). No final do mês, se o saldo de energia for positivo (o consumidor gerar mais energia do que a consumida), a distribuidora fornecerá um crédito energético referente ao excedente com duração de 60 meses (CARDOSO; LOCATELLI; RAMALHO; ASGARY, 2021).

Vale ressaltar que se a energia gerada for maior do que a consumida, a distribuidora cobrará, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B (baixa tensão), ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A (alta tensão) (CARVALHO; MAGALHÃES; DOMINGUES, 2019). O valor monetário do custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável à fatura mensal do consumidor responsável pela unidade consumidora do Grupo B, é igual a: I-30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores; II-50 kWh se for bifásico com 3 (três) condutores; ou III-100 kWh (se for trifásico) (TAKIGAWA; ARANHA NETO; FERNANDES; CAMPOS; CARDOSO, 2019).

Por tudo, o projeto de um sistema fotovoltaico basicamente deve englobar o levantamento correto do recurso solar, a definição da localização, levantamento do consumo e dimensionamento do gerador fotovoltaico. Para um dimensionamento adequado, as perdas dos sistemas fotovoltaicos precisam ser consideradas. De acordo com SILVA; SHAYANI; DE OLIVEIRA, 2018, podem ser considerados como as principais perdas fatores como orientação e inclinação dos módulos, sombreamento, acúmulo de sujeira, temperatura e degradações. Um dos fatores mais importantes envolve a orientação e inclinação dos módulos. Ressalta-se que, assim como no sistema térmico, tendo em vista que o Brasil está situado no hemisfério sul, recomenda-se que as placas devem ser instaladas voltadas para o norte, gerando economia em painéis e máxima eficiência.

3.2 PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece as seguintes normas relacionadas à instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados

à Rede (SFCRs): ABNT NBR 16.690 de 2019 que define requisitos gerais de projeto para instalações elétricas de painéis fotovoltaicos; ABNT NBR 16.274 de 2014 e ABNT NBR 16.149 de 2013 que definem, respectivamente, os requisitos mínimos para documentação e as características da interface de conexão para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de distribuição. Complementarmente, tem-se também as normas de procedimentos para ensaios de conformidade de sistemas e equipamentos, como é o caso da ABNT NBR 16.150 de 2013 e da ABNT IEC 62.116 de 2012.

Além das normas estipuladas pela ABNT, o SFCR deve seguir os padrões estabelecidos pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST da ANEEL) que regem as atividades técnicas de funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica, especialmente o disposto nos Módulos 3 e 8 que compreendem as informações acerca do acesso ao sistema de distribuição e da qualidade da energia, respectivamente (ANEEL, 2021).

A primeira fase do projeto, é quantificar a radiação solar, no que diz respeito às Horas de Sol Pleno (HSP). Esse valor é o obtido através da razão entre o valor de Irradiação Solar Média (ISM) do local e a constante de Irradiância Incidente Padrão (GSCT) que é considerada $1000\text{W}/\text{m}^2$ nas Condições Padrão de Teste (SCT), conforme mostra a Equação 1 (MACHADO; MIRANDA, 2015),

$$HSP \text{ ma } (h) = \frac{ISM [Wh/ m^2]}{GSCT [W/ m^2]}, \quad \text{Equação (1)}$$

onde: HSP ma (h) - corresponde à média diária anual das Horas de Sol Pleno incidente no local; ISM(Wh/m^2) - a irradiação Solar Média do local e GSCT(W/m^2) - Irradiância Incidente Padrão.

Na sequência deve ser definido o consumo médio da unidade habitacional, com base no histórico de consumo disponível na fatura de energia elétrica, e então calculada a potência total necessária.

De acordo com PINHO; GALDINO (2014), a potência a ser gerada por um SFCR pode ser calculada conforme Equação 2,

$$PFV (Wp) = \frac{E (Wh/dia)}{HSP ma (h) * \eta SFCR}, \quad \text{Equação (2)}$$

onde: PFV (Wp) - corresponde a potência necessária em Watt-pico; E (Wh/dia) - a demanda diária média a ser atendida; HSP ma (h) - a média diária anual das Horas de Sol Pleno incidente no local e $\eta SFCR$ - a eficiência total do SFCR.

Como pode ser observado na Equação 2, a potência gerada pelo painel é composta basicamente pela razão entre a demanda média diária da unidade consumidora e as horas de pleno sol que ocorrem no local. No entanto, além dessa incidência de uso de energia elétrica, todo o conjunto de perdas técnicas inerentes ao projeto precisam ser considerados, tais como: queda de tensão durante a distribuição de energia, poeira nas superfícies dos painéis, sombreamento, eficiência do equipamento e temperatura de operação. Essas perdas são consideradas através do termo $\eta SFCR$.

O desempenho de um SFV é medido pela Taxa de Desempenho (TD), definida como a relação entre o desempenho real do sistema e o desempenho máximo teórico possível. Para um SFCR residencial, bem ventilado e sem sombreamento, 70% a 80% do TD pode ser obtido nas condições de radiação solar brasileiras. Contudo, o desempenho do sistema FV é fortemente influenciado pela temperatura ambiente e pela tecnologia FV utilizada (PARLAK, 2014).

Após dimensionar o gerador fotovoltaico, é imprescindível avaliar qual a melhor tecnologia para o projeto, levando em consideração o custo da energia produzida pelo sistema, bem como as vantagens arquitetônicas e elétricas de cada tecnologia. A escolha do fabricante também deve levar em consideração a reputação da empresa em termos de garantia dos componentes (20 a 25 anos) e as características do produto em termos de parâmetros elétricos e eficiência, além do serviço pós-venda (SCOLARI *et al.*, 2018).

Outro valor relevante para o dimensionamento, é a potência nominal dos equipamentos. Esse dado será fundamental para o cálculo da quantidade de painéis necessários para a alimentação do sistema, conforme representado pela Equação 3:

$$R = \frac{Pfv (Wp)}{Pnp (Wp)}, \quad \text{Equação (3)}$$

onde: R - corresponde a razão entre a potência total do sistema e a potência unitária dos painéis; $P_{fv} (W_p)$ - a Potência total a ser gerada e $P_{np} (W_p)$ - a Potência Nominal do painel.

Uma vez que a razão entre a potência necessária e a potência unitária dos painéis irá possivelmente retornar um valor decimal, faz-se necessário o arredondamento deste para o próximo número inteiro maior ou igual a R , que passará a se chamar N . Assim, determinado o modelo do painel fotovoltaico, será possível calcular a potência nominal total do sistema $PNT(W_p)$, conforme a equação 4:

$$PNT (W_p) = N * P_{np} (W_p). \quad \text{Equação (4)}$$

onde: $PNT(W_p)$ - corresponde a potência nominal total do SFV.

Após ser definido a quantidade e potência dos painéis fotovoltaicos, e, por fim, a potência nominal total do sistema, o próximo passo consiste no dimensionamento do inversor, peça fundamental em um SFVR. Além de fazer a conversão da corrente contínua em corrente alternada, esse aparelho também é responsável pela interface com a distribuidora local, atuando no sincronismo, proteção e monitoramento da energia gerada (COSTA, 2016).

Devido à sua pluralidade de aplicações, os inversores possuem diversos tipos e tecnologias disponíveis no mercado. No contexto de sistemas fotovoltaicos, eles podem ser categorizados, principalmente, entre inversores para sistemas isolados e inversores para sistemas conectados à rede. Embora o princípio de funcionamento seja semelhante, para aqueles destinados a aplicações na rede, existe ainda uma série de exigências e requisitos a serem cumpridos, de forma a atender os termos de segurança e qualidade da energia (PINHO; GALDINO, 2014).

Um exemplo dos requisitos a serem cumpridos pelo inversor em um sistema conectado à rede é a imediata desconexão nos casos em que a tensão e a frequência do sistema não estiverem dentro dos limites definidos pela distribuidora. Outra exigência das distribuidoras, normatizada pela NBR IEC 62.116, é que o inversor seja capaz de interromper a geração do sistema nos momentos em que houver falha da rede elétrica, ou seja, que o aparelho possua proteção anti-ilhamento (ZILLES *et al.*, 2014).

O dimensionamento do inversor depende da potência do gerador FV e tecnologia e características elétricas do painel escolhido para compor o gerador, características ambientais do local, além da topologia de instalação escolhida (ex: inversor central, inversor descentralizado, micro inversor, instalação interna ou externa) (WANG *et al.*, 2018).

Assim como na escolha do fabricante dos painéis FV, a seleção por um fabricante de inversores também deve levar em consideração a credibilidade da empresa no que diz respeito à garantia do equipamento (tipicamente cinco a dez anos), assim como sua capacidade produzida acumulada e assistência técnica no território brasileiro (SCARABELLOT; RAMPINELLI; RAMBO, 2021).

O dimensionamento do sistema deve ser realizado de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potências demasiadamente abaixo da nominal, nem seja sobrecarregado. São utilizados inversores de menor capacidade, portanto, a energia produzida costuma ser mais barata para o mesmo gerador fotovoltaico a um custo menor sem comprometer a energia e a confiabilidade do sistema. No entanto, em uma situação conservadora, a potência do inversor pode ser igual à potência nominal da geração de energia fotovoltaica.

O máximo número de painéis em série que pode ser conectado ao inversor deve respeitar a tensão máxima em corrente contínua admitida pela entrada do inversor. Além disso, também deve respeitar a tensão máxima suportável pelo módulo, a qual é informada nas folhas de dados técnicos do fabricante e normalmente é em torno de 1.000V (COSTA; HIRASHIMA; FERREIRA, 2021).

Outros desafios para o projetista durante o dimensionamento de um SFV são: planejamento da interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente, evitando perdas de energia; adequação do projeto aos requisitos de segurança, visando torná-lo seguro do ponto de vista elétrica, levando em consideração a segurança do próprio sistema e do usuário, bem como da rede elétrica, se aplicável; verificação da obediência às normas e aos regulamentos técnicos aplicáveis para instalações elétricas (BOQUIMPANI *et al.*, 2019).

3.3 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Seguindo o escopo do trabalho, são apresentadas as estruturas brasileiras para a construção de Habitações de Interesse Social. Para compreender a importância da moradia como direito comum de todo cidadão e garantido pela Constituição Federal, é necessário estabelecer uma fundamentação conceitual com base nos direitos sociais.

Dentre as cinco categorias de direitos fundamentais garantidos pela Constituição Federal, destacam-se os direitos sociais fundamentais consagrados no art. 6: educação, saúde, alimentação, trabalho, moradia, transporte, lazer, segurança, previdência social, proteção da mãe e do filho (LANNOY, 2006).

Assim, segundo este artigo, o direito à moradia aparece primordialmente como uma obrigação do Estado, desconsiderando a relação de dependência com a capacidade econômica ou produtiva do indivíduo (LANNOY, 2006).

Entretanto, a trajetória dos problemas habitacionais no Brasil passa por planos e programas que muitas vezes fracassam à medida que novos surgem. A primeira política pública nacional de habitação, a Fundação Casa Popular (FCP), fruto das medidas adotadas no Governo Vargas, promulgada em 1946, mostrou-se ineficaz no enfrentamento dos problemas habitacionais, tendo produzido 17 mil unidades habitacionais até ser dissolvida em 1964 (RAMOS; NOIA, 2016).

Décadas depois, quando o regime militar começou a trazer mudanças, o governo federal criou o Banco Nacional de Habitação (BNH), parte do Sistema Nacional de Habitação (SNH), que desenvolveu a política nacional de habitação e planejamento territorial por meio do Ministério do Planejamento. O BNH tinha como objetivo incentivar a construção de moradias sociais e o financiamento da casa própria, visando prioritariamente a população de baixa renda. (LANNOY, 2006).

Poucos anos após a criação do SNH e do BNH, percebeu-se que o sistema era ineficiente e, apesar das tentativas de criação de diversos programas, não conseguiu atingir seus principais objetivos. Esse processo levou à extinção do BNH em 1986 e agravou a crise habitacional nos anos seguintes (RAMOS; NOIA, 2016).

No início de 1995, foram realizados estudos e pesquisas para a criação de Políticas Públicas mais adequadas ao contexto brasileiro e às carências habitacionais de cada região do país (RAMOS; NOIA, 2016). Alguns anos depois, em 2003, foi criado o Ministério das Cidades para ser responsável pela política de desenvolvimento urbano e pela política setorial de habitação, dentre as mudanças trazidas pela nova política, destaca-se a subdivisão do SNH em Sistema de Habitação de Interesse Social (SHIS) e Sistema de Habitação de Mercado (SHM) (LANNON, 2006).

Em 2005, foi criada pelo Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS), que reúne todos os recursos (federal, estadual e municipal) para suprir o déficit habitacional e os destinava à Intervenções para produção habitacional, regularização fundiária e melhoria habitacional para famílias de baixa renda (LANNON, 2006).

O conceito formulado ao desenvolvimento da política municipal de habitação da década culminou na criação do Plano Nacional de Habitação (PlanHab), que mais tarde seria colocado em prática com a implantação do Programa Minha Casa Minha Vida (MOURA; FERREIRA, 2014).

3.3.1 Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)

A fim de atingir a meta declarada de reduzir o déficit habitacional do Brasil, e ao mesmo tempo, estimular a economia nacional frente aos efeitos da crise econômica internacional de 2008, o governo federal lançou o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que tem como objetivo facilitar a conquista da casa própria para famílias de baixa renda (CHAVES, 2019).

A classificação dos beneficiários do PMCMV é estruturada de acordo com o escopo relacionado às restrições de renda, portanto, quanto maior a renda, menor o subsídio governamental para a aquisição de moradia. A Tabela 1 resume as características e tipos de subsídios fornecidos para cada classe de renda do PMCMV (LOCATELLI, 2021).

Tabela 1 - Faixa de renda salarial do programa minha casa minha vida (pmcmv)

Renda Familiar Mensal	Faixa do PMCMV	Características
Até R\$ 1.800	FAIXA 1	Até 90% de subsídio do valor do imóvel. Pago em até 120 prestações mensais de, no máximo, R\$ 270, sem juros.
Até R\$ 2.600	FAIXA 1,5	Até R\$ 47.500 de subsídio, com 5% de juros ao ano.
Até R\$ 4.000	FAIXA 2	Até R\$ 29.000 de subsídio, com 6% a 7% de juros ao ano.
Até R\$ 7.000	FAIXA 3	8,16% de juros ao ano

Fonte: Locatelli (2021)

A primeira fase do programa terminou em 2011 com um investimento habitacional de R\$ 86 bilhões e em 2013, a segunda fase começou com a meta de construção de 2 milhões de casas em dois anos. Dentre as alterações e ajustes realizados nos critérios do programa pode-se citar a destinação de mais unidades para a população de baixa renda (60% da produção) e a definição do valor absoluto da faixa de determinação (BUONFIGLIO, 2018).

Em 2014, quando o investimento habitacional do programa atingiu R\$ 244 bilhões, foi anunciada sua terceira e mais recente fase, além de mudanças nos critérios, nova faixa de financiamento e nova meta de 3 milhões de HIS a partir do ano seguinte (BUONFIGLIO, 2018).

Embora o programa tenha passado por várias reformulações de critérios para melhorar as condições e atingir as populações mais necessitadas, as consequências resultantes não trouxeram resultados favoráveis. Desde 2015, a Faixa 1 apresenta o menor número de unidades contratadas na história do programa, confirmando críticas às estratégias de atendimento à população de baixa renda (MIGLIOLI, 2016).

No último relatório de avaliação do PMCMV, publicado em dezembro de 2020, a Secretaria de Avaliação, Planejamento, Energia e Loterias do Ministério da Economia concluiu que, além de estagnar o déficit, o programa entregou cerca 2,1 milhões de Unidades Habitacionais (UH). No entanto, o relatório aponta as dificuldades do programa em atingir a população de menor renda e atribui a falha aos critérios de seleção que devem ser aprimorados para encontrar efetividade (PEREIRA, 2021). O Programa foi então encerrado em 2020.

3.3.2 Programa Casa Verde e Amarela

Anunciado em agosto de 2020, o programa Casa Verde e Amarela foi concebido como uma reformulação do PMCMV. A proposta, ao mesmo tempo em que trata do déficit habitacional e domiciliar, promete otimizar a cooperação entre as secretarias federal, estadual e municipal para atender com precisão os componentes do déficit, além de modificar os prazos de financiamento para atingir, de fato, a população de baixa renda.

Em relação à Fase 3 do Minha Casa Minha Vida (MCMV), a principal mudança é a reformulação das classes de renda, voltando ao estado anterior com apenas 3 classificações, Tabela 2. Além de financiamento de imóveis, prevê outras ações, como reforma para melhorias da moradia e regularização fundiária.

Tabela 2 - Comparativa das faixas de renda salarial dos programas

Programa Minha Casa Minha Vida		Programa Casa Verde e Amarela	
Renda Familiar Mensal	Faixa	Renda Familiar Mensal	Faixa
Até R\$ 1.800	FAIXA 1	-	-
Até R\$ 2.6000	FAIXA 1,5	Até R\$ 2.000	FAIXA 1
Até R\$ 4.000	FAIXA 2	Até R\$ 4.000	FAIXA 2
Até R\$ 7.000	FAIXA 3	Até 7.000	FAIXA 3

Fonte: Economia G1 (2021)

3.4 PROJETO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

O conceito de Habitação de Interesse Social (HIS) é norteado por uma série de parâmetros pensados para levar em conta o caráter social do projeto, avaliar a adequação do modelo dentro do menor escopo financeiro possível e proteger, para os futuros moradores, condições e padrões mínimos de moradia e qualidade de vida.

No contexto do PMCMV, esses parâmetros são formalizados e regulamentados como política pública por meio de instrumentos normativos específicos, permitindo que o projeto seja uniforme em termos de tecnologias e cidades envolvidas.

A regulamentação, atualmente em vigor, foi estabelecida pelo Decreto nº 660, de 14 de novembro de 2018, do extinto Ministério das Cidades, que é um valioso instrumento normativo para o programa Minha Casa Minha Vida. O referido decreto dispõe sobre diretrizes para elaboração de projetos e estabelece especificações técnicas mínimas para cada unidade habitacional no âmbito do PCMMV (SÁ, 2021).

O primeiro anexo do regulamento fornece orientações para a elaboração dos itens do programa, desde a especificação do número de UH em projetos residenciais, até à determinação dos requisitos do solo e respectiva integração com o sistema urbano envolvente (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018):

- ✓ Os empreendimentos devem estar inseridos na área urbana ou em zonas de expansão;
- ✓ Os empreendimentos devem ser dotados de infraestrutura urbana básica;
- ✓ As redes de eletricidade e iluminação pública, abastecimento de água potável, soluções de esgotos domésticos e vias de acesso ao projeto devem estar operacionais na data de entrega do projeto ou na fase correspondente;
- ✓ Os projetos dos empreendimentos devem ser concebidos com vistas à promoção de condições dignas de vida, acesso a serviços básicos de infraestrutura e equipamentos sociais e sua inserção adequada no território do município;
- ✓ O projeto do empreendimento deverá prever estratégias para a redução do consumo de energia e propiciar, quando possível, a utilização de fontes renováveis de energia (solar, eólica e fotovoltaica).

As especificações impostas no Anexo II são baseadas nas exigências da norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT NBR 15.575):

- ✓ A área da Unidade Habitacional deve ser suficiente para atender ao programa mínimo da UH e aos requisitos de mobília de cada cômodo, conforme definido abaixo, respeitando as seguintes áreas mínimas utilizáveis: a) Casa: 36,00 m² se a área de serviço for externa, ou 38,00 m² se a área de serviço para interna. b) Apartamentos/casas sobrepostas: 39,00 m²;
- ✓ Sala + 1 quarto de casal + 1 quarto de casal + cozinha + área de serviço + banheiro. Essas especificações não especificam a área mínima dos

cômodos;

- ✓ Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 mesa de cabeceira (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Distanciamento mínimo de circulação de 0,50 m entre móveis e/ou paredes;

- ✓ Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,90 m x 1,90 m); 1 mesa de cabeceira (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). A circulação mínima entre leitos é de 0,80 m e demais circulações, mínimo de 0,50 m;

- ✓ Largura mínima da sala de estar/jantar: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofá com o mesmo número de lugares que as camas, mesa para 4 pessoas e estante/armário de TV;

- ✓ Largura mínima para o banheiro: 1,50 m. Quantidade Mínima: 1 lavatório sem coluna, 1 vaso sanitário com caixa de descarga, 1 box com ponto de ducha - (0,90m x 0,95m) com possibilidade de montagem de barras de apoio e banco articulado, tendo um desnível máximo de 15 mm, para assim, assegurar a transferência do vaso sanitário e box;

- ✓ Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 m x 0,65 m). Fornecer espaço e garantir acesso frontal para caixas tanque e máquinas de lavar;

- ✓ Pé-direito mínimo de 2,50 m, sendo permitido 2,30 m nos banheiros;

- ✓ As unidades habitacionais devem ser projetadas para permitir expansões futuras sem comprometer a iluminação natural e a ventilação dos cômodos existentes;

- ✓ Lugares de estacionamento definidos conforme a legislação municipal;

Algumas especificações relacionadas aos sistemas elétricos são destacadas a seguir, que são estabelecidos de acordo com as normas NBR 60.669/2004 e NBR 5410/2004:

- ✓ Devem atender a NBR NM 60.669/2004 e NBR 5410/2004, sendo no mínimo 4 tomadas na sala, 4 na cozinha, 2 na área de serviço, 2 em cada quarto, 1 tomada no banheiro e mais 1 para chuveiro. Tomadas baixas a 0,40 m do piso acabado, interruptores, interfonos e campainhas a 1,00 m do piso acabado. Prever um ponto específico para máquinas de lavar.

- ✓ Plafon de teto simples com soquetes são adequadas para todos os pontos de luz. Instalar luminárias completas e com lâmpadas fluorescentes com Selo Procel ou ENCE nível A no PBE para as áreas de uso comum.

- ✓ Prever circuitos separados para iluminação, tomadas gerais, tomadas dedicadas para cozinhas e chuveiros, dimensionadas para atender a rede elétrica comumente utilizada no mercado local. Prever DR e pelo menos 02 (dois) locais de disjuntores vazios no quadro. Prever ponto específico para máquinas de lavar.

3.4.1 Fundação

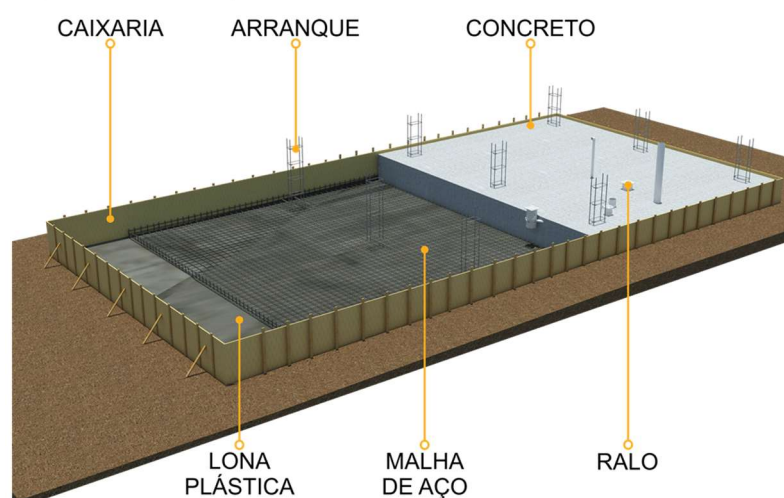
As soluções normalmente encontradas para minimizar os custos neste segmento das habitações do Programa Minha Casa Minha Vida estão associadas a materiais de construção de baixa qualidade e durabilidade ou a aplicação de forma inadequada das técnicas construtivas selecionadas para a construção do empreendimento, seja por baixa qualificação da mão de obra, ausência ou controle da qualidade inadequado ou ainda por negligência mesmo dos intervenientes na obra (MONTEIRO; VERAS, 2017).

A própria legislação do programa PMCMV estipula especificações mínimas dos projetos de habitações populares e sugere tipologias, que são quase sempre adotadas e repetidas pelas construtoras com poucas ou nenhuma adaptação. (MARQUES; RODRIGUES, 2013).

Quanto a fundação superficial (ou rasa ou direta), de acordo com a NBR 6122 (2022), a carga é transmitida ao terreno, predominantemente, pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

A fundação mais utilizada em Habitações de Interesse Social é do tipo Radier, que é um elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos conforme demonstra a Figura 5.

Figura 5 - Componentes do radier em concreto armado



Fonte: Nazário *et al.* (2019)

Antes de iniciar a execução, é necessário atentar para os fatores que afetam diretamente o desempenho da fundação, como o tipo de solo, a uniformidade do suporte da base, a qualidade do concreto, o tipo e espaçamento das juntas, e o acabamento da superfície. Um ponto que merece muita atenção é entender a natureza e as características do solo em que o radier será construído (TEIXEIRA *et al.*, 2022). A resistência deste solo é afetada pelo grau de compactação e teor de água. O método de compactação melhora as propriedades estruturais do solo (CORREA *et al.*, 2020).

A base é o terreno nivelado e compactado, sobre o qual o radier é executado. Devido à rigidez do radier, as cargas aplicadas são distribuídas em grandes superfícies e as pressões de base geralmente são baixas. A base deve ser uniforme. Quando o suporte uniforme não foi obtido por meio de nivelamento e compactação, aplica-se uma sub-base, que é usada como uma forma de correção do subleito (ROSA; DANZIGER; CARVALHO, 2018).

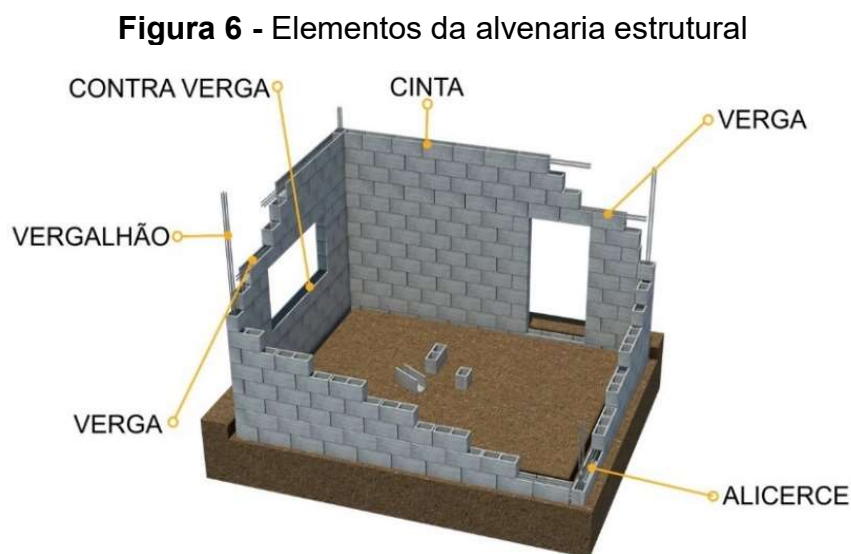
A fundação do tipo Radier pode ser classificada em quatro subtipos: liso, cogumelo, nervurado e caixão. O subtipo mais utilizado em empreendimentos de baixo custo devido a sua facilidade de execução e economia, assemelhando-se às lajes maciças, é o Radier liso. (DÓRIA, 2007).

3.4.2 Alvenaria

A alvenaria é um conjunto de peças justapostas, coladas à sua interface pela argamassa apropriada, para formar um elemento vertical coeso. Além de evitar a entrada de vento e chuva, também isola e protege acusticamente o ambiente, ajudando a manter o conforto térmico e (FLORES 2018).

A alvenaria estrutural, bastante utilizada nas HIS, é um sistema construtivo em que as paredes de uma edificação são utilizadas para resistir a cargas, substituindo os pilares e vigas utilizados em sistemas de concreto armado, aço ou madeira (DELLATORRE *et al.*, 2018).

Os sistemas de alvenaria estrutural utilizam as paredes não só como elementos de vedação, mas também como elementos de resistência às cargas verticais, ocupação e peso próprio das lajes, bem como às cargas laterais provocadas pelos efeitos do vento na edificação, conforme mostra a Figura 6.



Fonte: Yoshioka (2021)

Dessa forma, as paredes estruturais devem desempenhar as seguintes funções: resistir a cargas verticais; resistir a cargas de vento; resistir a choques e cargas ocupacionais; isolante acústico e térmico do ambiente; proporcionar estanqueidade à água da chuva e ao ar e apresentar boa resistência ao fogo.

Segundo DELLATORRE *et al.*, 2018, as principais vantagens de utilizar alvenaria estrutural são a alta durabilidade, excelente resistência a choques

mecânicos, vibrações e altas temperaturas, e a facilidade de obtenção de materiais nas proximidades do projeto.

Já a alvenaria convencional é constituída pela utilização de elementos como, concreto armado e blocos cerâmicos. O concreto armado é utilizado nas vigas, pilares e fundações, ou seja, elementos estruturais isolados responsáveis por transmitirem as cargas geradas pela estrutura, sendo que a laje transmite para as vigas, as vigas para os pilares, os pilares para a fundação e a fundação para o solo, já os blocos cerâmicos servem como vedação, separando um ambiente do outro, e compõem assim, a alvenaria convencional, conforme mostra a Figura 7 (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Figura 7 - Elementos da alvenaria convencional



Fonte: Inova Civil (2022)

As principais vantagens de utilizar alvenaria convencional são excelente trabalhabilidade, com isso o projetista possui uma maior liberdade relacionada ao ponto de vista estrutural, pois é de fácil adaptação; os modos de execução são amplamente dominados em todo o Brasil; baixo custo em muitas ocasiões, a mesma pode ser comparada com estruturas feitas de aço no ponto de vista econômico e boa durabilidade e alta resistência ao fogo se comparada com a madeira e o aço se for bem executado (LIMA *et al.*, 2020).

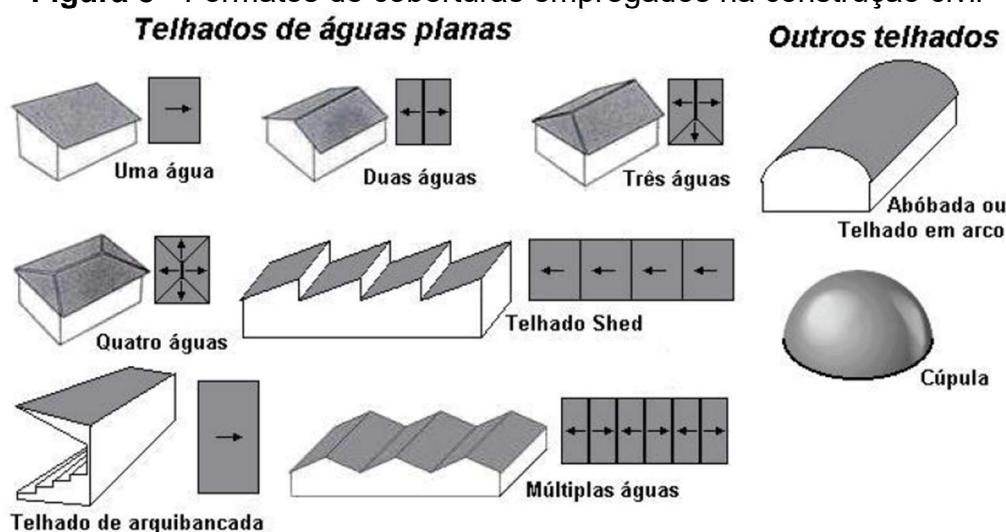
3.4.3 Cobertura

Os sistemas de cobertura possuem como principal função a proteção dos usuários de uma edificação com relação às intempéries, além de proporcionar, conforto acústico e térmico. Do ponto de vista arquitetônico os telhados contribuem ainda com o aspecto estético da edificação. O termo cobertura se refere ao sistema de fechamento superior de uma edificação, o qual pode ser realizado através de diversos sistemas: telhado, laje e terraços.

O telhado destina-se a proteger o edifício contra ações das intempéries, tais como chuvas, ventos, raios solares, neve, além de impedir a penetração de poeira e ruídos no seu interior (MOLITERNO, 2010). Porém, como função secundária, não menos importante, o telhado contribui para o aspecto estético e conforto térmico da edificação, proporcionando, portanto, aos arquitetos grande liberdade para criar várias formas e inclinações de telhados. Os telhados podem ser definidos como uma composição de duas partes básicas descritas a seguir:

- ✓ Cobertura, a qual pode ser de materiais diversificados, desde que impermeável às águas pluviais e resistentes à ação dos ventos e intempéries;
- ✓ Armação ou Trama, como tesouras, terças, caibros, ripas, os quais correspondem ao conjunto de elementos estruturais para sustentação da cobertura. Essas estruturas que compõem a armação do telhado podem ser totais ou, parcialmente, executadas em aço, alumínio ou concreto armado e em madeira, este último também conhecido como madeiramento.

As coberturas ou superfícies dos telhados podem ser construídas nos mais diferentes formatos. Alguns tipos de coberturas têm sua denominação originada no número de planos para escoamento das águas pluviais, denominadas “águas do telhado” (LOGSDON, 2002). Uma superfície de telhado pode ser formada por um ou mais planos (uma água, duas águas, três águas, quatro águas ou múltiplas águas), ademais podem ser encontradas em formas curvas que tem o mesmo nome da sua geometria como arco, cúpula ou arcos múltiplos. Na Figura 8 são apresentados alguns exemplos de tipos de cobertura.

Figura 8 - Formatos de coberturas empregados na construção civil

Fonte: Logsdon (2002)

De uma forma geral os telhados são compostos por um conjunto de elementos, os quais são detalhados a seguir:

- ✓ inclinação - surge da relação entre a superfície de uma água e a linha horizontal da construção;
- ✓ cumeeira - formada pelo encontro entre as duas águas principais do telhado, e geralmente corresponde à linha média da área coberta;
- ✓ espigão - aresta saliente formada pelo encontro de duas águas;
- ✓ rincão - aresta que surge no sentido contrário ao espigão, formada pelo encontro de duas águas. A incidência de rincão exige a colocação de calha para escoamento de água de chuva;
- ✓ mansarda - tipo de cobertura secundária que aproveita a inclinação do telhado, constituindo um cômodo denominado sótão;
- ✓ oitão - paredes extremas paralelas às tesouras, que muitas vezes servem de apoio para terças;
- ✓ beiral - consiste no prolongamento da cobertura, fora do alinhamento das paredes.

As telhas podem ser encontradas em diversos materiais, tais como: aço corrugado, alumínio, zinco, madeira, barro (cerâmicas), fibrocimento (cimento amianto) e outras. As telhas cerâmicas e as de fibrocimento são as mais utilizadas no Brasil. Já aquelas produzidas em chapa de aço corrugado, ou por alumínio, são de aplicação quase restrita às indústrias. As telhas galvanizadas, pouco utilizadas atualmente, são encontradas em obras rústicas, depósitos e abrigo para animais. As

produzidas em madeira e utilizadas em países europeus, são recobertas com material betuminoso e se parecem com “escamas”. Contudo as telhas de madeira, que são utilizadas no Brasil, são como chapas de compensado, mas onduladas e, em geral, recobertas por fina camada de material metálico (MOLITERNO, 2010). Alguns tipos de telhas podem ser visualizados na Figura 9.

Figura 9 - Tipos de telhas empregadas na construção civil



Fonte: Foxlux (2002)

Os elementos da estrutura de um telhado tradicional em madeira, bem como suas terminologias correspondentes encontradas no país, são ilustrados na Figura 10 e são descritos a seguir (MOLITERNO, 2010):

✓ Trama, é uma armação constituída de diferentes peças, posicionadas em direções perpendiculares para assentamento e acomodação das telhas. Estas são formadas pelas ripas, caibros e terças. As telhas se apoiam sobre as ripas, que se apoia sobre os caibros, que se apoiam sobre vigas, denominadas terças, que descarregam as ações sobre as tesouras;

✓ Ripas, são peças de madeira de pequena dimensão que recebem as telhas e são pregadas sobre os caibros, para sustentação delas. O espaçamento entre elas, normalmente é denominado “galga”, depende do tipo e tamanho das telhas usadas, motivo pelo qual se utiliza um gabarito, construído na obra, para fixar as telhas nos caibros;

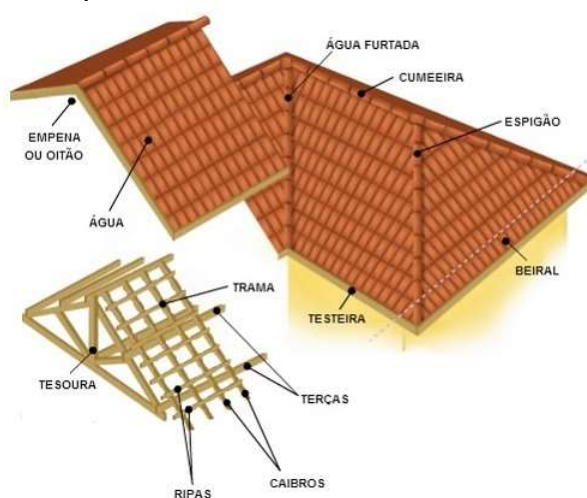
✓ Caibros, são peças de madeira apoiadas sobre as terças e servem de apoio às ripas. O espaçamento entre os caibros depende do tipo de telhas usado e da resistência das ripas;

✓ Terças, são vigas de madeira apoiada sobre as tesouras ou sobre paredes, para sustentação dos caibros. Pode se dizer também que as terças são vigas que recebem o carregamento dos caibros e o descarrega nas estruturas principais do telhado (tesouras ou treliça);

✓ As tesouras, que são vigas em forma de treliça plana vertical, formada de barras dispostas de maneira a formar um triângulo, tornando o sistema estrutural indeslocável. As treliças podem ser compostas pelos seguintes elementos e respectivas denominações: banzo superior, banzo inferior, montante (pontaleta, suspensório ou pendural) e diagonal (escora);

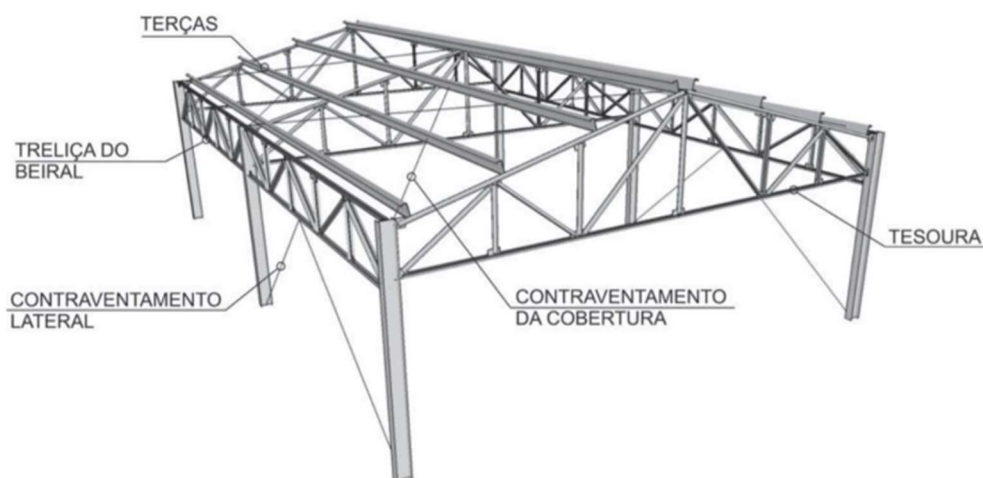
✓ Contraventamentos, os quais são estrutura formada por barras cruzadas dispostas de maneira a servir de sustentação para a ação das forças que atuam na estrutura, travando tesouras ou treliças e impedindo sua rotação e deslocamento, principalmente contra a ação do vento. Atua também como elemento de vinculação de peças comprimidas contra a flambagem lateral.

Figura 10 - Componentes estruturais dos telhados em madeira



Fonte: Construindo Decor (2022)

Uma estrutura realizada em aço, possui os mesmos elementos citados para a cobertura de madeira, entretanto, não são utilizados trama, ripas e caibros. Nesse sistema, as telhas são compostas por chapas, que são apoiadas diretamente sobre as terças, as quais descarregam o carregamento para as treliças que conduzem o peso da cobertura para o restante da estrutura. O contraventamento nesse tipo de estrutura é ainda mais importante, devido ao baixo peso que essas estruturas apresentam, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Componentes estruturais dos telhados metálicos

Fonte: Full Estruturas (2017)

Segundo Moraes *et al.* 2019, a estrutura metálica em H.I.S. se mostra mais rentável em vários aspectos como, agilidade na execução; forte resistência contra catástrofes naturais e incêndios; menor custo com os materiais; adaptação de layout mais fácil e prático; melhor acabamento; maior vantagem na questão térmica quanto na acústica; facilidade em manutenções; entre outros.

3.5 ANÁLISE ECONÔMICA – FINANCEIRA

Para analisar a viabilidade de implantação de qualquer sistema geração fotovoltaica é necessário conhecer o investimento inicial, tempo de retorno, entre outros indicadores econômico-financeiros.

Segundo (SOLDERA; KÜHN, 2018), a principal função dos indicadores econômicos é subsidiar a decisão sobre um investimento. Dentre os diversos tipos de indicadores existentes, destacam-se: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Retorno do Investimento (*Payback*). A seguir, serão detalhados cada um desses indicadores, apresentando suas metodologias de aplicação, juntamente com suas respectivas fórmulas de cálculo.

O Valor Presente Líquido, ou VPL, representa uma conversão dos valores futuros do investimento, para os parâmetros atuais, de forma a tornar possível a comparação de valores de diferentes períodos no presente, ou seja, no

momento do investimento inicial. Segundo (SOLDERA; KÜHN, 2018), o principal objetivo da aplicação do VPL é mensurar o valor presente de quantias futuras geradas por uma atividade econômica ao longo de um período pré-estabelecido, conforme Equação 5. Para isso, faz-se necessário estabelecer parâmetros como o período total do investimento e uma taxa segundo a qual o valor futuro será corrigido para o contexto atual. Essa taxa, também conhecida como Taxa Mínima de Atratividade, corresponde ao menor retorno que a atividade deverá gerar para ser atrativa para o investidor (SOLDERA; KÜHN, 2018).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{Economia_t}{(1 + TMA)^t} - INV, \quad \text{Equação (5)}$$

onde: VPL (R\$) - Valor Presente Líquido; $Economia_t$ - Economia no período t; TMA - Taxa Mínima de Atratividade; INV (R\$) - Investimento Inicial e t - período, em anos.

A partir do resultado da Equação 5, é possível determinar a viabilidade econômica do investimento, segundo os seguintes critérios (SOLDERA; KÜHN, 2018):

- VPL > 0: o investimento trará retorno financeiro ao investidor.
- VPL < 0: o investimento trará prejuízo financeiro ao investidor.
- VPL = 0: o investimento não trará lucro nem prejuízo ao investidor.

O segundo indicador é a Taxa Interna de Retorno, ou TIR, que é a taxa capaz de igualar o VPL a zero (SENAI, 2003). Nesse sentido, para determinar a TIR, basta igualar a Equação 5 a zero e isolar a taxa, conforme a Equação 6 a seguir:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Economia_t}{(1 + TIR)^t} - INV, \quad \text{Equação (6)}$$

onde: $Economia_t$ - Economia no período t; TIR – Taxa Interna de Retorno; INV (R\$) - Investimento Inicial e t - período, em anos.

Para se determinar a viabilidade econômica de um projeto com base na TIR, ela deve ser comparada como a Taxa Mínima de Atratividade inicialmente estabelecida, segundo os seguintes critérios: TIR > TMA: investimento viável; TIR < TMA: investimento inviável; TIR = TMA: investimento indiferente.

Por fim, o último indicador analisado é o Tempo de Retorno do Investimento, ou *Payback*, que é uma medida financeira que indica o tempo necessário para recuperar o investimento inicial em um projeto, considerando o fluxo de caixa gerado por ele. Existem duas formas de calcular o *Payback*: simples ou descontado.

O *Payback* simples é a quantidade de tempo necessária para recuperar o investimento inicial, ele é calculado dividindo o investimento inicial pelo fluxo de caixa anual projetado. Os passos para o cálculo são:

1. Determinar o investimento inicial do projeto.
2. Calcular o fluxo de caixa líquido anual (FCL) gerado pelo projeto. O FCL é a diferença entre o fluxo de entrada de dinheiro e o fluxo de saída de dinheiro em um determinado período, geralmente em anos.
3. Calcular o fluxo de caixa acumulado (FCA) para cada ano. O FCA é a soma do FCL de cada ano, começando pelo ano zero.
4. Identificar o ano em que o FCA se torna positivo. Este é o ano em que o investimento inicial foi recuperado.
5. Se houver fluxos de caixa negativos após o ano em que o FCA se torna positivo, calcule o tempo necessário para recuperar o valor desses fluxos de caixa. Isso é feito dividindo o valor do FCA negativo pelo fluxo de caixa líquido do próximo período e adicionando o resultado ao ano em que o FCA se torna positivo.

Para calcular o *Payback* simples é necessário utilizar a Equação 7:

$$\textit{Payback Simples} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Fluxo de Caixa Anual Projetado}}, \quad \text{Equação (7)}$$

Já o *Payback* descontado leva em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo, usando uma taxa de desconto para calcular o valor presente líquido do fluxo de caixa projetado. O *Payback* descontado é a quantidade de tempo

necessária para que o valor presente líquido do fluxo de caixa projetado seja igual ao investimento inicial. Os passos para o cálculo são:

1. Determinar o investimento inicial do projeto: Determinar a taxa de desconto que será usada para trazer o valor do dinheiro a partir do futuro para o presente.
2. Calcular o valor presente líquido do fluxo de caixa projetado: Determinar o valor presente líquido do fluxo de caixa projetado, usando a taxa de desconto.
3. Dividir o valor presente líquido pelo fluxo de caixa anual projetado: Dividir o valor presente líquido pelo fluxo de caixa anual projetado para obter o número de anos necessários para recuperar o investimento.

Para calcular o *Payback* descontado é necessário utilizar a Equação 8:

$$\textit{Payback Descontado} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Valor Presente Líquido do Fluxo de Caixa}}, \quad \text{Equação (8)}$$

Para calcular o valor presente líquido do fluxo de caixa projetado, é necessário utilizar a Equação 9:

$$\textit{Valor Presente Líquido} = \frac{\textit{Fluxo de Caixa}}{(1 + \textit{Taxa de Desconto})^{\textit{Número do Período}}}, \quad \text{Equação (9)}$$

onde: O fluxo de caixa é o montante projetado a cada período; A taxa de desconto é a taxa de retorno exigida pelo investidor; O número do período é o período do fluxo de caixa que se deseja trazer de volta para o presente. Para o primeiro período, use 1; para o segundo período, use 2; e assim por diante.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação da viabilidade de implantação de SFV em HIS foi realizado um estudo de campo em um conjunto habitacional. Esta etapa é importante para o estabelecimento de critérios necessários, como faixa de consumo médio de energia elétrica e características construtivas das edificações. Com base nas informações obtidas, dimensionou-se um sistema fotovoltaico que atendesse a demanda da HIS, e o impacto desta nova instalação foi pensado em relação a edificação. Por fim, foram calculados índices para avaliação da viabilidade econômica de implantação do Sistema Fotovoltaico.

4.1 ESTUDO DE CASO

O presente estudo foi realizado no município de Adamantina, localizado no estado de São Paulo, região Sudeste do Brasil. De acordo com dados do IBGE, a cidade se estende por 411.987 km², com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21° 40' 32" Sul e longitude: 51° 3' 47" Oeste. A população estimada para 2020 é de 35.111 pessoas, com densidade demográfica de 85 habitantes por km² (IBGE 2020).

O desenvolvimento da pesquisa se deu em um conjunto habitacional de interesse social, denominado Adamantina O, localizado no bairro Parque Residencial Itamarati, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Conjunto habitacional localizado em Adamantina - SP



Fonte: Autoria própria (2020)

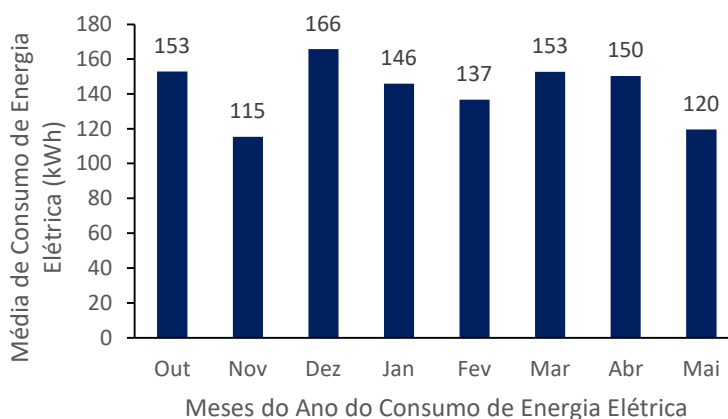
O empreendimento é composto de 45 casas de 48,81 m² de área construída, distribuídos em dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço. As unidades também respeitam e incorporam as melhorias de qualidade da Secretaria da Habitação, como pisos cerâmicos em todos os cômodos, azulejos nas paredes hidráulicas, medidores de água individualizados, infraestrutura completa com acessibilidade e aquecimento solar de água para banho.

O levantamento de informações foi realizado por meio de consultas a Prefeitura da cidade e coleta de dados em campo. Foi obtido o processo de aprovação de projeto e o manual que é entregue ao proprietário com informações de plantas de arquitetura, hidráulica, elétrica e estrutural, memorial descritivo e cálculo, e o posicionamento do aquecedor de água solar.

Entretanto, para o projeto do Sistema de Geração Fotovoltaica, o consumo médio de energia elétrica das famílias é uma variável importantíssima. Por isso, foram visitadas as 42 residências já habitadas, dentre as 45 que formam o conjunto todo. Todas as famílias disponibilizaram sua fatura de energia, conforme demonstra o Anexo A, com isso foi possível levantar um histórico de consumo entre os meses de outubro de 2020 e maio de 2021.

Tais informações foram organizadas em uma planilha eletrônica e foi calculada a média de consumo mês a mês pelo período de 8 meses, conforme o Gráfico 1. Pode-se observar que o consumo médio foi maior nos meses de outubro e dezembro. Cabe ressaltar que alguns elementos amostrais que se diferenciavam do padrão de consumo dos demais foram excluídos (outliers).

Gráfico 1 - Consumo mensal médio de energia elétrica das famílias de baixa renda



Fonte: Autoria própria (2020)

Na sequência, foram obtidas as figuras de mérito para a amostra toda do consumo de energia elétrica das famílias de baixa renda: média, mediana, moda e desvio padrão. A média geral, arredondada para 150 kWh/mês, se mostrou mais próxima da realidade e, portanto, foi adotada como referência para o projeto de geração fotovoltaica, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Dados estatísticos da amostra do consumo de energia elétrica

Figuras de Mérito	Consumo kWh
Média	148
Moda	169
Mediana	144
Desvio Padrão	52

Fonte: Autoria própria (2021)

4.2 PROJETO FOTOVOLTAICO

Inicialmente, para a elaboração do projeto do SFVCR para atender a amostra, foi definida a localização e realizada uma avaliação do potencial energético solar do local escolhido. Na sequência, de posse do consumo elétrico a ser compensado, faz-se um dimensionamento básico do sistema. A escolha dos módulos, caixas de junção e inversores é feita após o dimensionamento básico.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi desenvolvido pelo método analítico e confirmado pelo software PV*SOL Premium®.

4.2.1 Dimensionamento Método Analítico

O método analítico é realizado seguindo os procedimentos da avaliação do recurso solar do local de instalação do sistema, a temperatura ambiente e a análise das características elétricas de módulos FV e inversores que possam atender o projeto.

Para elaborar o dimensionamento do sistema fotovoltaico através do método analítico, deve-se, inicialmente, levantar dados relativos à incidência solar da área de instalação para saber a quantidade de energia disponível por metro

quadrado.

Os telhados existentes nas residências possuem suas faces voltadas para o Norte e para o Sul geográfico. A captação de energia solar no hemisfério Sul é maior quando a superfície está orientada para o Norte geográfico. Assim, serão utilizados apenas as faces de telhado voltadas para o Norte geográfico, e assim, maximizar a produção média diária de energia.

Atualmente existem algumas fontes que podem ser consultadas a fim de se obter dados relacionados à incidência solar nos mais diversos municípios brasileiros, assim como em localidades de outros países. Uma das fontes amplamente utilizada para consulta no Brasil é o CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, pertencente ao Ministério de Minas e Energia em parceria com a Eletrobrás. Este órgão possui dados atualizados e de fácil consulta sobre a irradiação solar, baseado nas coordenadas da localidade, como mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Consulta da irradiação solar na plataforma CRESESB

Fonte: CRESESB (2021)

Inseridos os dados da localidade em questão, essa plataforma disponibiliza o histórico de irradiação no plano horizontal, a análise com ângulo igual à latitude, a maior média anual para a localidade analisada e a maior média mensal. Cada uma destas análises está associada a um ângulo de inclinação referenciado ao Norte. Esses dados são de grande importância para que possamos analisar a quantidade de painéis necessária para a geração proposta, assim como a potência.

No que diz respeito às Horas de Sol Pleno, esse valor é o obtido através da razão entre o valor de Irradiação Solar Média do local e a constante de Irradiância Incidente Padrão, que é considerada 1000W/m^2 (CEPEL, 2021), conforme Equação 1.

$$HSP\ ma\ (h) = \frac{ISM\ [Wh/m^2]}{GSCT\ [W/m^2]} \quad (1)$$

onde: HSP ma (h) - corresponde à média diária anual das Horas de Sol Pleno incidente no local; ISM(Wh/m²) - a irradiação Solar Média do local e GSCT(W/m²) - Irradiância Incidente Padrão.

Obtida a irradiação, outro parâmetro importante para o dimensionamento é o conhecimento do consumo da unidade consumidora analisada. Para isso, se faz necessária a análise do histórico de consumo que usualmente é considerado a partir do histórico anual. Esses dados foram adquiridos com a pesquisa de campo, através da consulta as faturas de energia elétrica dos moradores.

Uma vez definido o consumo médio da HIS, o próximo passo consiste no cálculo da potência total necessária. Esse parâmetro é determinante para a escolha dos painéis fotovoltaicos, uma vez que irá estabelecer o valor da potência a ser gerada por eles.

A partir da Equação 2, é possível notar que a potência a ser gerada pelos painéis consiste, basicamente, na razão entre a demanda diária média da HIS e as Horas de Sol Pleno incidente no local. Além dessa razão de consumo-incidência, todo o conjunto de perdas técnicas inerentes ao projeto são consideradas através do termo η SFCR.

Partindo-se do parâmetro previamente definido, de que a conexão da HIS ao sistema de distribuição será do tipo monofásica, e o Custo de Disponibilidade nesse caso é igual a 30 kWh/mês. Ou seja, infere-se que, para reduzir a fatura de energia da HIS ao seu valor mínimo, o SFCR deverá gerar o equivalente a 120 kWh/mês. A partir disso, para se determinar a demanda diária média a ser atendida, divide-se o consumo médio mensal de 120 kWh/mês por 30 dias, o que resulta em E(kWh/dia) igual a 4 kWh/dia.

$$PFV\ (Wp) = \frac{E\ (Wh/dia)}{HSP\ ma\ (h) * \eta SFCR} \quad (2)$$

onde: PFV (Wp) - corresponde a potência necessária em Watt-pico; E (Wh/dia) - a

demanda diária média a ser atendida; HSP ma (h) - a média diária anual das Horas de Sol Pleno incidente no local e η_{SFCR} - a eficiência total do SFCR.

Substituindo todos os valores na Equação 3, o resultado representa a potência total que o SFCR deverá ter, para suprir a demanda de energia da HIS e reduzir a fatura de energia ao seu valor mínimo.

$$R = \frac{Pfv (Wp)}{Pnp (Wp)}, \quad (3)$$

onde: R - corresponde a razão entre a potência total do sistema e a potência unitária dos painéis; Pfv (Wp) - a Potência total a ser gerada e Pnp (Wp) - a Potência Nominal do painel.

Na sequência, foram elencados os equipamentos necessários ao SFCR, segundo as normas, juntamente com os diferentes modelos e tecnologias disponíveis para cada um deles, fazendo a respectiva seleção daqueles mais adequados à proposta do estudo.

Como componentes principais do sistema de geração fotovoltaica, os painéis fotovoltaicos devem ser cuidadosamente avaliados sob critérios como potência, eficiência, durabilidade e preço, um fator extremamente relevante para esse estudo. Atualmente, as tecnologias disponíveis no mercado oferecem um leque de possibilidades e combinações para que o consumidor possa escolher aquela que mais se adequa ao seu projeto ou ao seu orçamento. Embora as pesquisas mais recentes na área, estejam voltadas à tecnologia chamada de Multijunção, que alcança eficiências acima de 40% (PINHO; GALDINO, 2014), as células baseadas em silício ainda representam a esmagadora maioria no que se refere à disponibilidade comercial (ZILLES, 2014).

Sendo assim o modelo escolhido foi DAH DHM72L9-450W/BF do fabricante DAH Solar. O painel se apresenta como uma opção viável para o cenário de suprimento integral da demanda, tanto pelo Valor Total, quanto pelo valor de R, cuja aproximação com N, ilustra a otimização da quantidade de painéis de forma a não permitir o sobredimensionamento do sistema. O modelo escolhido possui tecnologia de silício monocristalino, eficiência de 90% e conta com diversas

certificações nacionais e internacionais. Além disso, a fabricante possui representatividade consolidada no mercado brasileiro e fornece 12 anos de garantia do produto. Uma vez determinado o modelo do painel fotovoltaico, será possível calcular a potência nominal total do sistema, conforme a Equação 4.

$$PNT (Wp) = N * Pnp (W p). \quad (4)$$

onde: PNT(Wp) - corresponde a potência nominal total do SFV.

Definidos a quantidade e potência dos painéis fotovoltaicos, e, por fim, a potência nominal total do sistema, o próximo passo consiste no dimensionamento do inversor. Além de fazer a conversão da corrente contínua em corrente alternada, esse aparelho também é responsável pela interface com a distribuidora local, atuando no sincronismo, proteção e monitoramento da energia gerada. Dentre os inversores utilizados em SFCR, tem-se ainda a classificação de acordo com o porte e o posicionamento dos aparelhos em relação aos arranjos fotovoltaicos: centrais, *multi-strings*, *string* ou microinversor (PINHO; GALDINO, 2014). Além disso, a sua potência deve ser igual ou maior a potência total do gerador. Dessa forma, o modelo escolhido foi o DEYE SUN200G3-US-220M-WI-FI do fabricante Deye. O equipamento oferece a possibilidade de monitoramento remoto da geração, proteção contra efeitos climáticos e vida útil estimada em 25 anos.

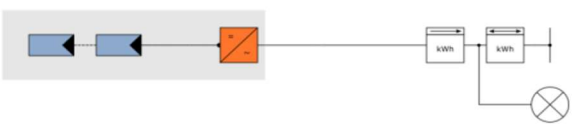
4.2.2 Dimensionamento PV*SOL Premium®

Para comprovar o cálculo realizado, foi processada uma simulação no software comercial PV*SOL Premium®. Mundialmente reconhecido, este programa permite realizar a elaboração do projeto de um sistema fotovoltaico utilizando cenários 3D criados em maquete, a partir de mapas de satélite ou importados de drones. Permite o cálculo de sombreamento com horizonte, prédios, vegetação e antenas. Além disso a simulação utiliza dados climáticos precisos e detalhados, sendo assim um programa de extrema confiança para simulação de sistemas fotovoltaicos. No software é possível escolher precisamente o tipo de sistema e a localidade a ser implementado, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Tipo de Sistema, clima e rede para a simulação no software

Tipo de sistema, clima e rede

Tipo de sistema
3D, Sistema fv conectado à rede com consumo



Tipo de modelagem
 Modelar sistema em 3D

Intervalo da simulação
 1 hora (simulação mais rápida)
 1 minuto (simulação mais precisa)

Dados climáticos

País	Brasil	Local	Adamantina (1991-2010, Meteornorm 7.3(i))
Latitude	-21° 40' 36" (-21,68°)	Soma anual da irradiação global	1797 kWh/m ²
Longitude	-51° 4' 21" (-51,07°)	Média anual da temperatura	22,5 °C
Fuso horário	UTC-3		
Período	1991 - 2010		
Fonte	Meteornorm 7.3(i)		

Rede c.a.

Inserir

Tensão (N-L1)	127 V
Quantidade de fases	3-fásico
cos φ	1
Limitação da potência de injeção	Não

[Parâmetros da simulação](#)

Fonte: Autoria própria (2021)

Após a inserção de parâmetros básicos, pode-se especificar o consumo a ser compensado pelo gerador. Ainda, é necessário escolher o número de planos para escoamento das águas pluviais, denominadas “águas do telhado”, e o modelo e a potência dos módulos a serem alocados sobre a superfície do telhado, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 - Condições de instalação e painel solar fotovoltaico

Base de dados Online

Tipo de produto: Módulos fotovoltaicos

Filtro: Favoritos

Procura:

Produto selecionado: DHM-72L9/BF-450W (DAH Solar)

Procura:

Filtro: Somente registros criados pelo usuário Também produtos que não são mais disponíveis Todas as versões

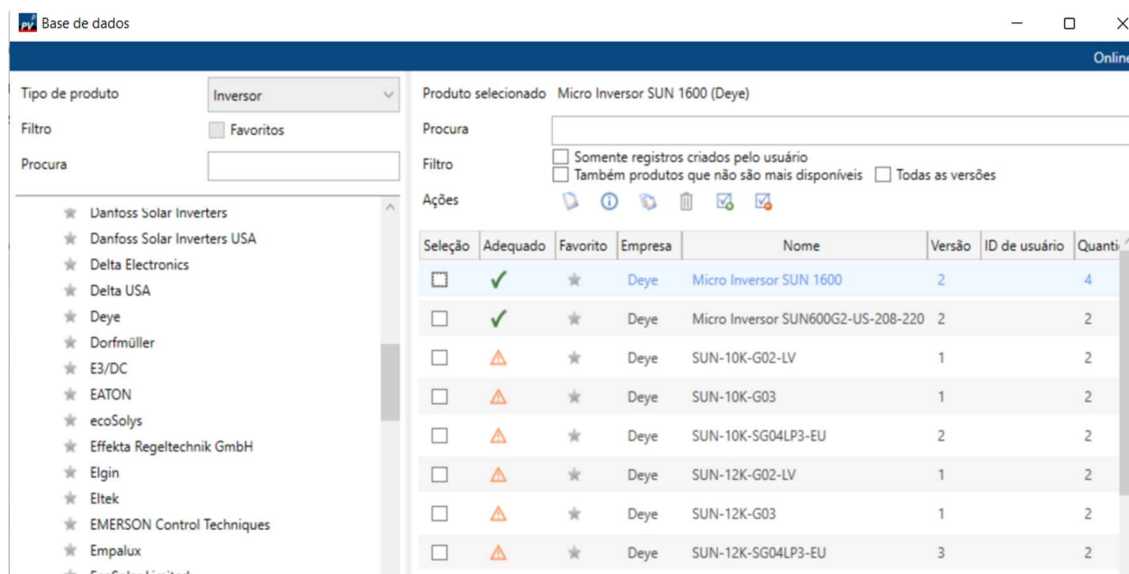
Ações:

Favorito	Nome	Versão	ID de usuário	Eficiência em %	Tipo de célula	Potência nominal
★	DHM-72L9/BF-450W	2		20,71	Si monocristalino	450
★	DHM-72L9-440W	1		20,24	Si monocristalino	440
★	DHM-72L9-445W	1		20,48	Si monocristalino	445
★	DHM-72L9-450W	1		20,71	Si monocristalino	450
★	DHM-72X10-530W	1		20,51	Si monocristalino	530
★	DHM-72X10-545W	1		21,31	Si monocristalino	545
★	DHP72-330W	1		17	Si policristalino	330
★	DHT-M60X10-460W	1		21,31	Si monocristalino	460
★	DHT-M72X10/BF-540W	2		20,95	Si monocristalino	540
★	DHT-M72X10/BF-545W	3		21,14	Si monocristalino	545

Fonte: Autoria própria (2021)

A escolha do inversor também foi feita através da base de dados do PV*SOL Premium®, conforme Figura 16.

Figura 16 - Definição de inversores



Fonte: Autoria própria (2021)

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA CONSTRUTIVA

A Portaria nº 660, de 14 de novembro de 2018, trata sobre as diretrizes para elaboração de projetos e estabelece também as especificações técnicas mínimas para cada unidade habitacional no âmbito do PMCMV (Anexo 1). São especificações relativas à quantidade de Unidades Habitacionais (UH) em conjuntos habitacionais, até os requisitos para determinação dos terrenos e respectivas integrações com os sistemas urbanos do entorno. Além disso, são definidos os aspectos arquitetônicos, como divisão interna dos espaços e quantidade mínima de cômodos, requisitos para o sistema elétrico, como quantidade de pontos de energia e iluminação, baseadas nas exigências da norma de Desempenho de Edificações Habitacionais.

De acordo com o Memorial Descritivo, disponibilizado pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), a fundação das residências é do tipo radier, conforme demonstra o Quadro 1.

Quadro 1 - Memorial descritivo com as especificações da fundação

FUNDAÇÃO		
1	Tipo de fundação	<p>A fundação tipo radier será executada sobre o terreno previamente compactado. A concretagem (concreto fck \geq 25 Mpa) será feita após a execução dos sistemas elétricos, hidráulicos e sanitários.</p> <p>Há duas opções de fundação em radier, uma para solo colapsível, com espessura de 12 cm, e outra para solo não colapsível, com espessura de 10 cm, ambas serão armadas com tela Q-61 (CA-60), com reforço de armadura em uma faixa de 61 cm de largura sob as paredes, reforço de espessura nas bordas e serão executadas com lastro de brita nº 1, com espessura de 5 cm sobre lona plástica preta com 1,5 micra.</p> <p>Haverá um rebaixo no radier, com altura de 30 cm, onde está localizado o banheiro e será preenchido com tijolo baiano.</p> <p>A calçada perimétrica está incorporada ao radier e terá caimento de 2% para o exterior. A cota do piso interno acabado ficará 5 cm acima da cota da calçada externa.</p> <p>Todas as etapas, bem como as especificações dos materiais a serem utilizados, serão executadas conforme detalhes constantes no projeto de fundação.</p>

Fonte: CDHU (2020)

O sistema de estrutura adotado é composto de alvenaria estrutural e laje do tipo mista-pré, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Memorial descritivo com as especificações de alvenaria

ESTRUTURA CONVENCIONAL			
1	Tipo de estrutura e principais características	<p>O sistema de estrutura adotado é composto de alvenaria estrutural e laje do tipo mista-pré, conforme especificação do fabricante e de acordo com o projeto estrutural, utilizando vergalhões CA50 e tela CA60 (concreto a definir com o fornecedor da laje).</p> <p>O escoramento da laje será em pontalete de madeira de pinho, eucalipto ou escora metálica.</p>	
ALVENARIA ESTRUTURAL			
1	Blocos	Tipo de bloco	Bloco estrutural de concreto ou cerâmico, com resistência mínima de fbk=3,0 MPa
		Dimensões reais (L x H x C) em cm	14 x 19 x 39 cm e família; 14 x 19 x 34 cm e família.
2	Argamassa e graute	Atenderão ao Projeto Estrutural e os requisitos das normas técnicas da ABNT.	

Fonte: CDHU (2020)

Para cobertura utilizou-se estrutura em aço, com telha cerâmica, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Memorial descritivo com as especificações de cobertura

COBERTURA		
1	Estrutura	Estrutura em Aço composta de pontaletes, vigas, terças, caibros, ripas e terças de sustentação, travamentos, banzos e com arremates de acabamentos em tabeiras laterais e testeiras frontais. As dimensões das peças atenderão às especificações do projeto.
2	Fixação e apoio da estrutura na edificação	A estrutura em Aço será apoiada e fixada em pontaletes metálicos estruturais devidamente fixados na laje de cobertura e nos oitões. A estrutura metálica será apoiada em terças de sustentação e será toda parafusada, não sendo admitido qualquer tipo de solda na obra.
3	Tipo de telha	Telha cerâmica, tipo mediterrânea, com inclinação de acordo com o projeto.
4	Tipo de condutores	Serão utilizados rufos e arremates metálicos.

Fonte: CDHU (2020)

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA – FINANCEIRA

O primeiro ponto a ser abordado, refere-se à sistematização das informações dos custos de implementação do projeto. Os valores dos equipamentos foram obtidos a partir da pesquisa realizada no comércio varejista da cidade de Adamantina-SP.

Os equipamentos necessários, para a implementação do sistema solar fotovoltaico são: o módulo fotovoltaico DHM72L9-450W/BF, Micro Inversor DEYE SUN2000G3-US-220 M/WI-FI, Protetor de Surto CA SPW02-275-20; 01 Kit fixação, instalação, engenharia e homologação.

Cabe ressaltar que o módulo fotovoltaico escolhido foi em silício monocristalino, pois é mais eficiente em áreas com menor disponibilidade de espaço para a instalação.

A segunda variável para determinação da economia gerada pelo SFCR, diz respeito à tarifa de energia da distribuidora local. Para o caso em estudo, o valor da tarifa de energia pode ser consultado no site da Energisa, e corresponde atualmente a R\$ 0,79 kWh, já acrescido dos devidos impostos (ENERGISA, 2021).

Além disso, devem ser determinados os valores de geração anual do SFCR e da taxa de reajuste tarifário da energia elétrica, o próximo passo consiste no cálculo da economia de energia.

Sistematizadas as informações necessárias, são elaborados indicadores econômicos. Para isso, faz-se necessário estabelecer o período total do investimento e uma taxa segundo a qual o valor futuro será corrigido para o contexto atual. Essa taxa, também conhecida como Taxa Mínima de Atratividade, corresponde ao menor retorno que a atividade deverá gerar para ser atrativa para o investidor (SOLDERA; KÜHN, 2018).

Assim, o VPL do investimento foi calculado, conforme a Equação 5.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{Economia_t}{(1 + TMA)^t} - INV, \quad (5)$$

onde: VPL (R\$) - Valor Presente Líquido; $Economia_t$ - Economia no período t; TMA - Taxa Mínima de Atratividade; INV (R\$) - Investimento Inicial e t - período, em anos.

A partir deste resultado é possível determinar a viabilidade econômica do investimento, segundo os seguintes critérios: $VPL > 0$ - o investimento trará retorno financeiro ao investidor; $VPL < 0$ - o investimento trará prejuízo financeiro ao investidor e $VPL = 0$ - o investimento não trará lucro nem prejuízo ao investidor.

O segundo indicador a ser aplicado, é a Taxa Interna de Retorno, ou TIR, e basta igualar a Equação 5 a zero e isolar a taxa, conforme a Equação 6.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Economia_t}{(1 + TIR)^t} - INV, \quad (6)$$

onde: $Economia_t$ - Economia no período t; TIR – Taxa Interna de Retorno; INV (R\$) - Investimento Inicial e t - período, em anos.

Para se determinar a viabilidade econômica de um projeto com base na TIR, ela deve ser comparada com o a Taxa Mínima de Atratividade inicialmente

estabelecida, segundo os seguintes critérios: $TIR > TMA$ - investimento viável; $TIR < TMA$ - investimento inviável e $TIR = TMA$ - investimento indiferente.

Por fim, o último indicador a ser aplicado é o Tempo de Retorno do Investimento, ou Payback. No contexto desse estudo, o cálculo do *Payback Descontado* se mostra mais interessante, conforme Equação 8.

$$\textit{Payback Descontado} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Valor Presente Líquido do Fluxo de Caixa}}, \quad (8)$$

Na sequência, utilizou-se a Equação 9, onde os valores gerados pelo investimento (Economia) serão corrigidos, segundo a taxa de juros do financiamento (TMA) até o momento (t) em que o valor aplicado inicialmente seja completamente compensado.

$$\textit{Valor Presente Líquido} = \frac{\textit{Fluxo de Caixa}}{(1 + \textit{Taxa de Desconto})^{\textit{Número do Período}}}, \quad (9)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados inicialmente tratam do estudo de caso. Foram obtidas as características do projeto fotovoltaico, como potência nominal total e número de módulos. Além disso, foram analisadas as capacidades de carregamento da fundação, alvenaria e cobertura, bem como os indicadores econômicos considerando os custos de implementação do projeto e a economia prevista. Por fim, com base no estudo de caso, foi elaborada a metodologia que pode ser replicada em outros conjuntos habitacionais com características semelhantes.

5.1 PROJETO FOTOVOLTAICO

Com base nas etapas apresentadas na metodologia, foi dimensionado o projeto fotovoltaico para atender as HIS.

5.1.1 Dimensionamento Método Analítico

Inseridas as coordenadas geográficas da cidade de Adamantina latitude de 21° 40' 32" Sul e uma longitude de 51° 3' 47" Oeste, na plataforma CRESESB foram obtidos os dados históricos de irradiação solar mensal em kWh/m².dia, conforme Figura 18.

Figura 17 - Histórico de irradiação solar da cidade de Adamantina-SP

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
0° N	5,95	5,94	5,48	4,87	4,00	3,67	3,88	4,83	4,89	5,57	6,06	6,35	5,13	2,68
22° N	5,38	5,66	5,63	5,51	4,91	4,71	4,89	5,70	5,19	5,43	5,54	5,64	5,35	,98
20° N	5,45	5,71	5,64	5,47	4,85	4,64	4,82	5,64	5,18	5,46	5,61	5,72	5,35	1,08
31° N	5,00	5,38	5,51	5,59	5,13	4,99	5,15	5,86	5,15	5,21	5,18	5,20	5,28	,88

Fonte: CRESESB, 2021.

Aplicando os dados de irradiação coletados na plataforma CRESESB na Equação 1., tem-se:

$$HSP_{ma} (h) = \frac{5350 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 5,35h.$$

Para se determinar a demanda diária média a ser atendida, divide-se o consumo médio mensal de 120 kWh/mês por 30 dias, o que resulta em E(kWh/dia) igual a 4 kWh/dia. A potência a ser gerada por um SFCR pode ser calculada pela Equação 2:

$$PFV (WP) = \frac{4000 \text{ Wh/dia}}{5,35 \text{ h} * 0,70} \cong 1066,10 \text{ Wp.}$$

Considerando a Potência total a ser gerada de 1066,10 Wp e a Potência nominal do painel de 450 Wp, substituindo todos os valores na Equação 3, tem-se:

$$R = \frac{1066,10 (Wp)}{450 (Wp)} \cong 4 \text{ módulos.}$$

Assim, determinado o número de módulos fotovoltaicos necessários, é possível calcular a potência nominal total do sistema, conforme a equação 4:

$$PNT (W p) = 4 * 450 (W p) = 1800 \text{ Wp.}$$

Sendo assim, foram necessários 4 módulos fotovoltaicos de 450 Wp, dispostos em uma fileira ligados em série, para totalizar 1800 Wp de potência nominal total e atender a demanda de cada casa que compõe o conjunto habitacional.

5.1.2 Dimensionamento PV*SOL Premium®.

No software foi escolhido o sistema fotovoltaico conectado à rede, na localidade de Adamantina – SP. Após a inserção de parâmetros como o tipo de sistema e a localidade, especificou-se o consumo a ser compensado pelo sistema fotovoltaico, 150 kWh/mês.

O programa contém uma vasta base de dados de módulos fotovoltaicos e inversores. De acordo com a Figura 18 foi selecionado o módulo DAH DHM72L9-450W/BF do fabricante DAH Solar, e conforme a Figura 19, o inversor DEYE SUN200G3-US-220M-WI-FI do fabricante Deye.

Figura 18 - Escolha do painel solar fotovoltaico

Módulo fotovoltaico (Somente leitura, Registro do sistema)

Dados base

Empresa: DAH Solar

Nome: DHM-72L9/BF-450W

Descrição: Bi-facial mono panel 450w

Disponível

Versão: 2

Criado em: 2/25/2022 4:03:29 AM

ID de usuário: Nenhum - Registro do sistema

Dados elétricos

Tipo de célula: Si monocristalino

Módulo half-cell

Número de células: 144

Número de diodos de desvio: 3

Perda de tensão no diodo de desvio em V: 1

Otimizador de potência integrado: nenhuma seleção

Exige inversor com transformador

Linhas de células perpendiculares ao lado curto

Figura 19 - Escolha da configuração do inversor

Inversor

Configurar áreas de módulos juntas

Edifício 01-Água Nor...

Configuração automática

Padrão [Seleção de inversores](#) para a configuração automática: Adequado: 1 / Seleção: 1

SolarEdge *

VERIFICAÇÃO VALORES POTÊNCIA

✓ CONFIGURAÇÃO: Edifício 01-Água Nordeste

INVERSOR 1: Conexão polstring

✓ 1 x Deye 1,8 kWp

Otimizador de potência

✓ PMP 1: 1 String x 1 Módulos em sé...

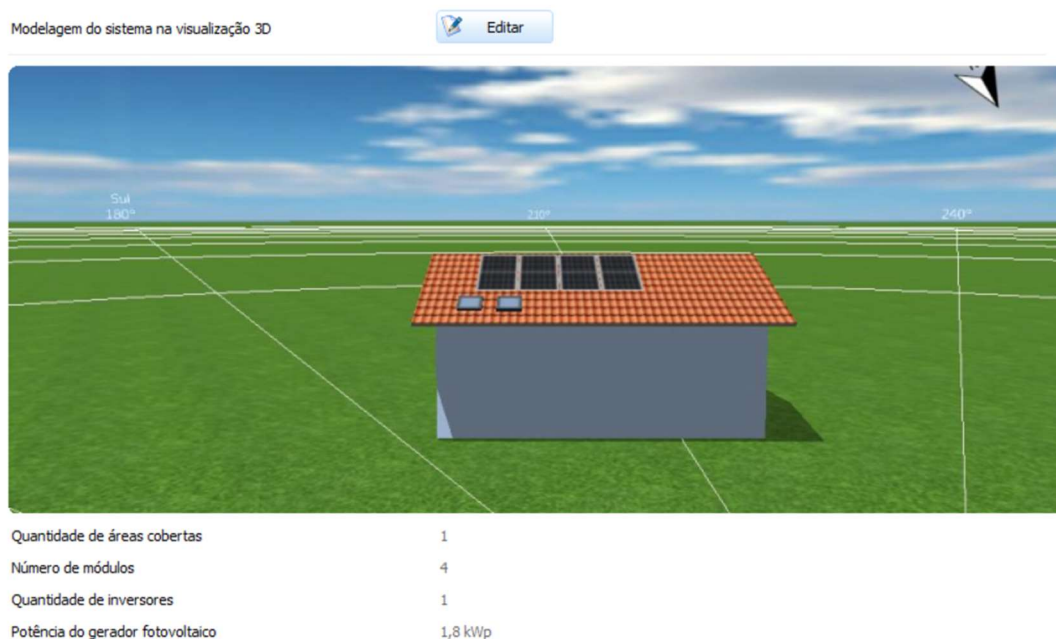
✓ PMP 2: 1 String x 1 Módulos em sé...

✓ PMP 3: 1 String x 1 Módulos em sé...

✓ PMP 4: 1 String x 1 Módulos em sé...

Área do módulo: Edifício 01-Água Nordeste 4 x DHM-72L9/BF-450W = 1,8 kWp Configurado 4 Módulos fotovoltaicos

O software especifica as condições de instalação como número de módulos, situação de montagem, inclinação e orientação. A Figura 20 representa a simulação da projeção solar sobre os módulos fotovoltaicos.

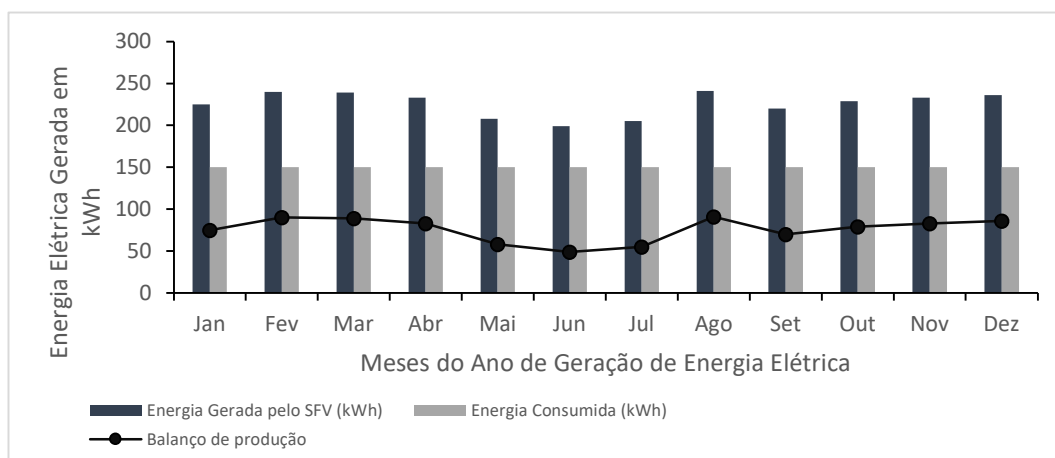
Figura 20 - Simulação do sistema solar fotovoltaico

Observa-se que os resultados obtidos com o software e com o método analítico foram os mesmos 4 módulos fotovoltaicos do modelo escolhido. A Tabela 4 apresenta um detalhamento das características do sistema fotovoltaico desenvolvido.

Tabela 4 - Resumo das características do sistema fotovoltaico

Potência do Sistema Dimensionado	1,80 kWp
Energia Estimada a ser gerada	226 kWh/mês
Área útil necessária para a instalação	10,53m ²
Geração Estimada por Ano:	2708 kWh/ano
Consumo	1800 kWh/ano

O Gráfico 2 apresenta o balanço energético do sistema, com os valores de geração de energia, disponibilizado através do software PV*SOL Premium. Observa-se que a geração de energia elétrica é maior nos meses mais quentes do ano, tendo em vista a maior incidência de sol.

Gráfico 2 - Previsão de rendimento com consumo do sistema fotovoltaico

5.2 VIABILIDADE TÉCNICA CONSTRUTIVA

A análise de viabilidade técnica está baseada nos três critérios apresentados na metodologia para definir se a edificação pode receber o SFV alvenaria e estrutura, cobertura e fundação.

Com base no Memorial de Cálculo Estrutural fornecido pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU), o carregamento vertical sobre as paredes será proveniente apenas da laje e telhado, pois a residência possui apenas um pavimento térreo. Neste caso, a laje será do tipo mista-pré, com a altura da laje de 10 cm. As ações permanentes a serem consideradas são o peso próprio da laje sobre as paredes, que foi determinado a partir do produto do peso específico do concreto segundo a NBR 6120: 2019, sendo 25 kN/m^3 e a espessura da laje de 10 cm, a carga permanente de telha cerâmicas em geral (exceto tipo germânica e colonial) de acordo com a NBR 6120: 2019 é $0,6 \text{ kN/m}^2$, também foi considerado o peso próprio da parede, obtida pelo produto da altura da parede, o peso específico do bloco cerâmico vazado de 12 kN/m^3 segundo a NBR 16868: 2020, e a espessura do bloco de 14 cm, além disso foi considerado o graute presente na cinta de amarração. Quanto a carga acidental, foi adotado uma carga de $0,1 \text{ kN/m}^2$ de forro acessível para manutenção e sem estoque de materiais. Verificou-se que por ser uma residência popular de um pavimento, os carregamentos obtidos são baixos pelo carregamento ser basicamente da laje de cobertura e telhado, para o bloco com fbk 3 MPa utilizado apresenta uma resistência muito maior

do que a solicitada sendo o suficiente para resistir aos esforços de compressão.

Além disso, as telhas cerâmicas utilizadas na cobertura, estando sob dois apoios, podem suportar uma carga mínima de 70 kg (peso médio de um homem). Sendo assim, dependendo do tamanho do SFV a ser instalado, não haverá problemas na cobertura. Por tudo, analisar as características construtivas da edificação são de suma importância para garantir a viabilidade de implantação de um SFV, especialmente quando a instalação do sistema inclui muitas placas. No caso em estudo, são somente 4 módulos com peso médio de 20 kg, totalizando 80 kg. Por isso, não há comprometimento da estrutura elaborada e nem a necessidade de reformas ou adequações.

Nos cálculos estruturais fornecidos pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU), são fixados os critérios para dimensionamento de fundações em solo colapsível para radier com espessura de 10 cm. Com base nesse documento, este estudo considerou as ações provenientes de alvenarias iguais a 6,5 kN/m e ações variáveis provenientes do piso de 1,50 kN/m², acrescidas de ações provenientes do peso próprio do elemento resistente radier de 3,75 kN/m². Também foram consideradas ações do peso do revestimento cerâmico no piso 1 kN/m², ações de lajes de forro 2,10 kN/m², de telhado 0,6 kN/m², de reservatório interno de água potável de 1 m³ e de boiler de 600 litros (carga total de 20 kN), aplicadas sobre o topo de alvenarias. Com a área de construção de 104,56 m² e o peso total da edificação de 2.350 kN, foi obtida a tensão média atuante de 22,5 kN/m².

5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA – FINANCEIRA

A primeira etapa para analisar a viabilidade econômica do projeto fotovoltaico em Adamantina-SP, consiste em realizar um levantamento de todo o investimento que será necessário para instalar o sistema fotovoltaico na HIS. O custo total do investimento para a instalação do SFVR foi disponibilizado através de uma pesquisa de mercado é composto pelo kit fotovoltaico, ou seja, módulos, inversor, cabos solares, sistema de proteção CC e as estruturas para sustentação dos módulos, conforme a Tabela 5.

É importante ressaltar que a área necessária para disposição dos painéis, é de 8,10 m², sendo assim, o módulo fotovoltaico escolhido foi em silício monocristalino, pois é mais eficiente em áreas com menor disponibilidade de espaço para a instalação.

Tabela 5 - Custo total de projeto do sistema solar fotovoltaico

Material
04 Módulos Dah Dhm72I9-450w/Bf
01 Micro Inversor Deye Sun2000g3-Us-220 M/Wi-Fi
01 Kit Fixação Fibromadeira 04 Módulos
Instalação, Engenharia e Homologação
TOTAL: R\$ 9.840,68

O total de energia consumida anualmente pela residência foi de 1800 kWh/ano e sabe-se que a tarifação da Energisa considerada é de R\$ 0,79 por kWh. Dessa forma, na análise econômica prévia a instalação do sistema é realizada com esse valor médio por kWh. O valor monetário do custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável à fatura mensal do consumidor responsável pela unidade consumidora é igual a: 30 kW/mês por se tratar de um sistema monofásico, portanto será multiplicado por 12 meses.

O reajuste médio anual da tarifa de energia elétrica por parte da concessionária de energia Energisa foi obtido com base nos aumentos de tarifa promovido pela empresa ao longo dos últimos anos, sendo considerada 28% ao ano, de acordo com (ACENDE BRASIL, 2020).

O IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) é um índice elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), portanto, considerou-se o valor de 4,40% ao ano. A taxa mínima de atratividade (TMA) para analisar a viabilidade deste investimento, foi definida com base na média anual do índice referente a taxa de rendimento da poupança no valor de 4,35% ao ano. A Tabela 6, mostra os parâmetros considerados para equacionar a viabilidade econômica.

Tabela 6 - Parâmetros utilizados para o método do fluxo de caixa

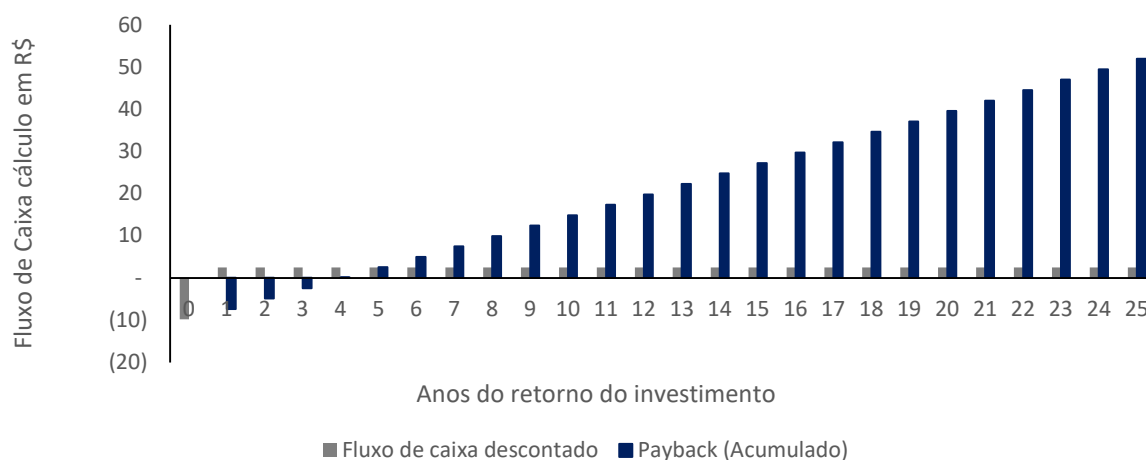
Parâmetros	Valor
Custo do Sistema Fotovoltaico	R\$ 9840,68
Tarifa de energia elétrica	0,79 kWh
Custo de disponibilidade do sistema	R\$ 600/ano
Reajuste Tarifário	28% ao ano
Degradação após 25 anos	100%
Custo de Oportunidade TMA	4,35% ao ano
IPCA	4,40% ao ano

Os resultados obtidos para os indicadores econômicos estão apresentados na Tabela 7. Analisando os resultados é possível concluir que o sistema de microgeração fotovoltaico proposto é viável economicamente por ambos os métodos de análise. Tanto o Valor Presente Líquido (VPL), quanto a Taxa Interna de Retorno (TIR) do sistema são negativos apenas para os 03 primeiros anos de funcionamento do sistema, após esse período a economia nas faturas de energia elétrica promovidos pelo mesmo, somados ao aumento da tarifa de energia elétrica, torna rapidamente o VPL positivo e a TIR do sistema maior que o custo de oportunidade de um investimento em renda fixa.

Tabela 7 - Resultados da análise de viabilidade econômico-financeira

Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 28.205,90
Taxa Interna de Retorno (TIR)	48,28% ao ano
Retorno do Investimento (<i>Payback</i>)	04 anos

De acordo com o fluxo de caixa anual resultante, fluxo de caixa descontado e acumulado pelo sistema, pode se ter uma análise econômica prévia à instalação do sistema indicando que o sistema estará pago em 4 anos, conforme demonstra o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Demonstrativo do retorno do investimento

Este é o resultado para uma única casa. Entretanto, se o investimento for pensado como uma proposta para o conjunto habitacional, ou seja, 45 casas, fazendo parte da política pública de habitação o investimento passa a ser de R\$ 442.830,60. De acordo com a planilha orçamentária disponibilizada pela CDHU o custo total da obra é de R\$ 4.383.170,92, neste caso, o impacto da instalação de sistema fotovoltaico no empreendimento corresponderia a aproximadamente 10% do custo total previsto.

5.4 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM HIS

A metodologia desenvolvida tem por objetivo descrever todas as etapas essenciais para a elaboração de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede em habitações de interesse social, podendo assim ser replicada em empreendimentos semelhantes.

1. Levantamento e Tratamento de Dados: identificar o consumo médio mensal (kWh) de cada HIS através das faturas de energia elétrica. Caso o empreendimento ainda não tenha sido habitado, é possível estimar o consumo (linha de base) através de simuladores de consumo das concessionárias de energia elétrica (por exemplo: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/simule-seu-consumo/>), ou utilizar os 150 kWh obtidos no estudo de

caso aqui apresentado se a edificação for semelhante.

Além disso, é imprescindível identificar as áreas dos telhados onde os módulos possam ser fixados, a distância entre o sistema instalado e quadro geral de distribuição da unidade consumidora, assim como também os ângulos azimutais e de inclinação dos telhados, de tal forma que se possa extrair o melhor aproveitamento da radiação solar. Os dados geográficos e climáticos das HIS, as coordenadas de localização e a Irradiação Solar Média são também de extrema importância para a elaboração do projeto fotovoltaico.

Ainda, deve-se conhecer as características construtivas da habitação, especialmente o tipo de fundação, alvenaria e estrutura, e a cobertura, bem como as cargas suportadas por estes elementos.

2. Projeto Fotovoltaico: dimensionar, com base nas normas técnicas, o Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Para isso será necessário determinar a Irradiação Solar Média no Local e, então, as Horas de Sol Pleno. Com esta informação e conhecendo ou estimando o consumo alvo (kWh), pode-se determinar a Potência Total necessária para atender a demanda, lembrando que o rendimento considerado neste equacionamento pode variar de 70 a 80%.

Neste momento, será importante realizar uma pesquisa de mercado para verificar os módulos disponíveis, características elétricas e preço. Atualmente, os módulos mais comercializados são os de silício monocristalino e policristalino. Deve-se estar atento ao fato de que os módulos monocristalinos são mais eficientes, uma vez que produzem a mesma quantidade de energia elétrica com uma menor área. Conhecendo a Potência Total do sistema, pode-se escolher o melhor módulo comercializado para atender aquela necessidade, e com a potência de cada módulo, estimar a quantidade de módulos necessárias.

Na sequência devem ser definidos os inversores. O principal critério nesta etapa é garantir que a tensão de saída do sistema fotovoltaico seja o mais próxima possível da tensão de operação do inversor, admitindo-se variação para menos.

3. Viabilidade Técnica Construtiva: considerando o investimento alto a ser realizado em um SFV, a estrutura da edificação deve ser avaliada sobre o ponto de vista da carga extra que será adicionada a cobertura. Nesta etapa, é importante

identificar a técnica de fundação, alvenaria e estrutura, e cobertura da HIS, incluindo as telhas. Além disso, deve-se verificar qual foi a carga acidental planejada para a edificação.

Conhecendo a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para atender a demanda planejada, e o peso de cada um deles, é possível verificar se a carga extra adicionada poderá impactar a edificação, se são necessários reforços ou reformas, ou se a instalação pode prosseguir de forma segura, sem nenhum ajuste.

4. Viabilidade Econômica – Financeira: tendo determinado o SFVCR que irá atender a habitação, definidos os módulos e o inversor, é possível estimar o custo de implantação do sistema. Neste momento é importante também determinar os custos de reforma e/ou reforços na edificação, se necessário.

Os custos de manutenção são normalmente descartados em instalações deste tipo porque tem sido mínimo. Na maioria dos casos trata-se apenas de lavagem dos módulos.

Com base na tarifa de energia elétrica local, reajustes tarifários anuais e a capacidade de geração do SFVCR, pode-se estimar a economia proporcionada pelo sistema fotovoltaico.

Ainda, devem ser estimados os indicadores econômicos para confirmar, ou não, a viabilidade de implantação do sistema. Os indicadores selecionados neste estudo foram Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Retorno do Investimento (*Payback*). A Tabela 8 traz um resumo de como esses indicadores devem ser avaliados.

Tabela 8 - Indicadores econômicos de confirmação da viabilidade do SFV

Indicadores Econômicos				
Valor Presente Líquido (VPL)	>0 - Retorno financeiro	<0	Prejuízo financeiro	
Taxa Interna de Retorno (TIR)	>Taxa Mínima de Atratividade – Investimento viável	<Taxa Mínima de Atratividade – Investimento inviável		
Retorno do Investimento (Payback)	< 25 anos – Investimento viável	>25 anos	– investimento inviável	

Por fim, é possível calcular qual seria o acréscimo financeiro ao empreendimento como um todo se o SFV fosse implantado nas habitações. Para isso, basta multiplicar o custo de uma casa pelo número de casas do conjunto habitacional e, conhecendo o custo total da obra, estimar quanto a inserção da geração distribuída iria onerar. Desta forma, é possível verificar se a implantação do sistema é interessante ou não para o empreendimento em análise. A proposta foi dividida nas quatro etapas acima e exemplificada conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4 - Método para a avaliação da viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico

Levantamento e Tratamento de Dados

- Identificar o Consumo Médio Mensal (kWh) de cada HIS através das faturas de energia elétrica. Caso o empreendimento ainda não tenha sido habitado, é possível estimar o consumo (linha base) através de simuladores de consumo das concessionárias de energia elétrica.
- Identificar as áreas dos telhados onde os módulos possam ser fixados, a distância entre o sistema instalado e quadro geral de distribuição da unidade consumidora. Levantar os dados geográficos e climáticos das HIS, as coordenadas de localização e a Irradiação Solar Média.

Projeto Fotovoltaico

- Determinar a Irradiação Solar Média no local e então, as horas de sol pleno. Com esta informação e conhecendo ou estimando o consumo alvo (kWh), pode-se determinar a Potência Total necessária para atender a demanda.
- Neste momento, será importante realizar uma pesquisa de mercado para verificar os módulos fotovoltaicos. Na sequência devem ser definidos os inversores.

Viabilidade Técnica Construtiva

- Considerando o investimento alto a ser realizado em um SFV, a estrutura da edificação deve ser avaliada sobre o ponto de vista da carga extra que será adicionada a cobertura.
- Nesta etapa, é importante identificar a técnica de fundação, alvenaria e estrutura, e a cobertura da HIS, incluindo as telhas. Além disso, deve-se verificar qual a carga acidental planejada para a edificação.

Viabilidade Econômica - Financeira

- Tendo determinado o SFVCR que irá atender a habitação, definidos os módulos e o inversor, é possível estimar o custo de implantação do sistema.
- Com base na tarifa de energia elétrica local, reajustes tarifários anuais e a capacidade de geração do SFVCR, pode-se estimar a economia proporcionada pelo sistema fotovoltaico.
- Ainda, devem ser estimados os indicadores econômicos para confirmar, ou não, a viabilidade de implantação do sistema. Os indicadores selecionados neste estudo foram Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*.

6 CONCLUSÃO

Considerando os consumidores residenciais de baixa renda, onde as despesas com energia elétrica comprometem uma parcela significativa do orçamento doméstico, ações que resultem na redução destes gastos são atrativas e devem ser avaliadas.

O Programa Minha Casa Minha Vida tornou obrigatória a instalação de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos individualizados nas unidades habitacionais de interesse social em 2021. A partir desta obrigatoriedade, o presente trabalho propôs uma metodologia que possibilite a análise da viabilidade de implantação do sistema sob o ponto de vista da técnica construtiva e também econômico-financeira. Além disso, foi desenvolvido o projeto de um sistema fotovoltaico pelo método analítico, possibilitando que a estimativa do SFCR seja obtida sem a aquisição de softwares.

Do ponto de vista técnico de acordo com os resultados obtidos, verificou-se então que por ser uma residência popular de um pavimento, os carregamentos obtidos são baixos pelo carregamento ser basicamente da laje de cobertura e telhado, para o bloco com fbk 3 MPa utilizado, sendo assim, as paredes em alvenaria apresentam uma resistência muito maior do que a solicitada sendo o suficiente para resistir aos esforços de compressão. De acordo com os resultados obtidos do ponto de vista econômico, a aplicação dos indicadores evidencia a viabilidade da proposta de implantação do sistema fotovoltaico, com investimento de R\$9.840,68 e tendo como resultado o Payback positivo e no período de 4 anos. Este é o resultado para uma única casa. Entretanto, se o investimento for pensado como uma proposta para o conjunto habitacional, ou seja, 45 casas, fazendo parte da política pública de habitação o investimento passa a ser de R\$ 442.830,60, neste caso, o impacto da instalação de sistema fotovoltaico no empreendimento corresponderia a aproximadamente 10%.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482**. [S. l.], 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 687**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 20 maio 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 956**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 20 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 510: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, Eliane; ROSA, Anna Clara; DIAS, Fernanda Cristina Lima Sales; BRAZ, Kathlen Thais Mariotto; LANA, Luana Teixeira Costa; SANTO, Olívia Castro do; SACRAMENTO, Thays Cristina Bajur. Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica. **Engenharias On-line**, Engenharia Bioenergética, v. 1, n. 2, p. 1-13, 17 mar. 2016.

ALMEIDA, B. C. L. O desafio de sanar o déficit habitacional na Região Metropolitana do Recife: um olhar sobre o Programa Minha Casa Minha Vida (faixa 1), 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **2022: o melhor ano da energia solar no Brasil**. São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15571-1: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16150: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para a documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT/CB-003 NBR 16690: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos**. 2º projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR NM 60669: Interruptores para instalações elétricas fixas domésticas e análogas - Parte 1: Requisitos gerais (IEC 60669-1:2000, MOD)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT IEC NBR 62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BOQUIMPANI, Carolina Lannes et al. Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 303-316, 2019.

BUONFIGLIO, Leda Velloso. Habitação de interesse social. **Mercator (Fortaleza)**, v. 17, p. 1-16, 2018.

CARDOSO, Diego Silva; LOCATELLI, Pedro Sartori; RAMALHO, Wanderley; ASGARY, Nader. Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica: Impactos da Proposta de nova Regulamentação pela Aneel na Atratividade do Investimento. **ReA UFSM**, Revista de Administração Da UFSM, v. 14, n. 2, p. 423-442, 29 jun. 2021.

CARVALHO, Aline Werneck Barbosa; STEPHAN, Italo Itamar Caixeiro. Eficácia social do Programa Minha Casa Minha Vida: discussão conceitual e reflexões a partir de um caso empírico. **Cadernos Metrôpole**, São Paulo, v. 18, n. 35, 1 abr. 2016. Eficácia social do Programa Minha Casa Minha Vida, p. 283-307.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PROJETO DE LEI N.º 5.829, de 5 de novembro de 2019**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1834556. Acesso em: 20 maio 2021.

CAMARGO, Lucas Tamanini. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica**. Orientador: Prof. Dra. Silvia Galvão de Souza Cervantes. 2017. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

CHAVES, Carina Aparecida Barbosa Mendes. A venda e o aluguel no Programa Minha Casa Minha Vida-Faixa 1 em Parnamirim/RN. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019.

CORREA, Jean Paulo; SILVA, Luis Paulo. Viabilidade Econômica de Fundações Tipo Radier em Edificações de Pequeno Porte. **ETIS-Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 5-15, 2020.

COSTA, André Luis Crispim; HIRASHIMA, Simone Queiroz da Silveira; FERREIRA, Reginaldo Vagner. Operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: inspeção termográfica e limpeza de módulos FV. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 201-220, 2021.

COSTA, Thiago Mendes Germano. **Metodologia para Projeto de Microgeração Fotovoltaica**. Orientador: Prof. Dr. Sidelmo Magalhães Silva. 2015. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

COSTA, Suellen Caroline Silva *et al.* Caracterização físico-química da sujidade depositada sobre módulos fotovoltaicos instalados em zonas climáticas de Minas Gerais. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2016. p. 1-8.

DIAS, Camila Teixeira de Carvalho; SILVA, Wallysson Klebson de Medeiros; FREITAS, Graziela Pinto de; NASCIMENTO, Jessica Felipe do. Energia solar no Brasil. **Revista InterScientia**, v. 5, n. 1, p. 153-165, 2017.

DELLATORRE, Lázaro Augusto. **ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE EDIFÍCIO DE ALVENARIA ESTRUTURAL E DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL**. Orientador: Gihad Mohamad. 2014. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - A Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Lei nº 14.300, de 7 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. [S. l.], 14 fev. 2023. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 13 abr. 2022.

DÓRIA, Luís Eduardo Santos. **Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier**. Orientador: Flávio Barboza de Lima. 2007. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceio, 2007.

DE MEDEIROS, RAUL CÉSAR SILVA. **Estudo sobre a Importância da Produção Elétrica com Painéis Solares no Meio Ambiente**. Orientador: PROF. DR. ANDRES ORTIZ SALAZAR. 2022. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2022.

DOS SANTOS, Marco Aurélio Cassemiro; ZAMPERIN, João Luiz Bergamo. Estudo do Desperdício de Água em Sistemas de Aquecedores Solares e uma Solução para o caso. **Revista Engenharia em Ação**, ARAÇATUBA, ano 2017, v. 2, n. 1, 1 ago. 2017. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*, p. 32-44.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2020 (BEN):** Relatório Síntese / Ano Base 2019. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 20 maio 2021.

FLORES, KELYTON BRANDÃO. **ALVENARIA CONVENCIONAL X ALVENARIA ESTRUTURAL: VANTAGENS E DESVANTAGENS.** Orientador: Edgor Brandão. 2018. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade de Cuiabá, Cuiabá, 2018.

FURQUIM, João Pedro Claudino. **Comparação entre Energia Solar Térmica e Energia Solar Fotovoltaica: Estudo de Caso em uma Residência na Cidade de São Lourenço-MG.** Orientador: Geisla Aparecida Maia Gomes. 2020. 23 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário do Sul de Minas, Minas Gerais, 2020.

GALAN, Jair Ramos. **Avaliação da Utilização de Aquecimento Solar de Água para Casas do Programa Minha Casa Minha Vida no Conjunto Habitacional Milton De Paula Walter na Cidade de Campo Mourão - Paraná.** Orientador: Prof. Msc. Roberto Widderski. 2016. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

HIOKI, André Tsuyoshi et al. Performance Analysis of Small Grid Connected Photovoltaic Systems. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], ano 2019, v. 62, 26 jul. 2019. Smart Energy, p. 1-10.

LANNOY, Camilo Pablo de. **O descompasso das políticas públicas para a solução do déficit habitacional.** Orientador: Paulo Castilho Lima. 2006. 152 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Brasília, Brasília, 2006.

LELIS, Gaspar Junqueira Dias; MIGLIORE JUNIOR, Angelo Rubens. ESTUDO DE CASO DE UTILIZAÇÃO DE RADIER PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL. **Ciência e Cultura**, [s. l.], v. 16, p. 1-6, 2020.

LIMA, Daniela Ramos Barbosa; MEIRA, Leomar Rodrigues; DANTAS, Alexon Braga. Alvenaria estrutural e método 3D: comparativo de custo para construção de habitações de interesse social. **Revista Integralização Universitária**, n. 22, p. 94-110, 2020.

LOCATELLI, Piero Boeira. As disputas, o desenho e a aplicação dos recursos do FGTS entre 1998 e 2017. **Cadernos Metrópole**, v. 22, p. 787-810, 2020.

LOGSDON, N. B. – **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997.** Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2002.

MACEDO, ELIAS BARBOSA. **Análise Comparativa da Produtividade real entre**

dois Microgeradores Fotovoltaicos Instalados no Instituto Federal De Goiás – Câmpus Itumbiara e Uruaçu. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Batista Silva. 2019. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Goiás, Goiás, 2019.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, ano 2014, v. 7, ed. 1, p. 126-143, 14 ago. 2014.

MAIA, Doralice Sátyro et al. Energia Solar Em Habitações Populares: Uma Experiência na Política Habitacional Brasileira. **V Simposio Internacional de la Historia de la Electrificación**, [S. l.], ano 2019, 11 maio 2019. La electricidad y la transformación de la vida urbana y social, p. 861-879.

MARQUES, Eduardo; RODRIGUES, Leandro. O Programa Minha Casa Minha Vida na metrópole paulistana: atendimento habitacional e padrões de segregação. **Revista brasileira de estudos urbanos e regionais**, v. 15, n. 2, p. 159-159, 2013.

MELO, Sarah Silva de. **Análise Comparativa entre Programas Governamentais de Habitação: Programa Minha Casa Minha Vida e Programa Casa Verde e Amarela.** Orientador: Prof. Alexandre de Carvalho Paranaíba. 2021. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

MIGLIOLI, A. M. **Os impactos do programa habitacional “Minha Casa, Minha Vida”: uma análise dos casos de São Paulo e Recife.** 2016. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, São Paulo, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Portaria nº 660, de 16 de agosto de 2018.** Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos e estabelece as especificações técnicas mínimas da unidade habitacional e as especificações urbanísticas dos empreendimentos destinados à aquisição e alienação com recursos advindos da integralização de cotas no Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, e contratação de operações com recursos transferidos ao Fundo de Desenvolvimento Social - FDS, no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV. Brasília: Diário Oficial da União, ano 2018, p. 105-109, 16 ago. 2018. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/11/2018&jornal=515&pagina=105&totalArquivos=186>. Acesso em: 21 ago. 2022.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira.** 4. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2010. 251 p.

MONTEIRO, Adriana Roseno; VERAS, Antônio Tolrino de Rezende. A questão habitacional no Brasil. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, 2017.

MORAES, Bruna Demétrio. **Comparação de custos de unidades habitacionais de interesse social produzidas por sistemas construtivos convencional e paredes de concreto.** 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MORAIS, Fabrício Higo Monturil de et al. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], ano 2021, p. 1982-4351, 6 dez. 2021.

MOREIRA JÚNIOR, Orlando; SOUZA, Celso Correia de. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Interações (Campo Grande)**, v. 21, p. 379-387, 2020.

MOURA, Gerusa Gonçalves; FERREIRA, Leilaine de Fátima. Plano nacional de habilitação: atual cenário do programa minha casa minha vida. **CaderNAU**, v. 7, n. 1, p. 65-80, 2014.

NEOSOLAR. **SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 22 set. 2021.

OLIVEIRA, Luciane Marcela Filizola de. **Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural**. Orientador: Márcio Roberto Silva Corrêa. 2014. 272 p. Tese (Doutorado em Engenharia das Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

OZDEN, Talat; AKINOGLU, Bulent G.; TURAN, Rasit. Desempenhos externos de longo prazo de três matrizes fotovoltaicas on-grid diferentes na Anatólia central – uma análise estendida. **Energia renovável**, v. 101, p. 182-195, 2017.

PANSANATO, CRISTIANO. **Análise Experimental do Desempenho Térmico de um Sistema Acoplado de Coletores Solares Planos**. Orientador: Prof. Dr. Vicente Luiz Scalon. 2016. 76 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” CAMPUS DE BAURU, Bauru - SP, 2016.

PARLAK, Koray Şener. PV array reconfiguration method under partial shading conditions. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, [S. l.], ano 2014, v. 63, p. 713-721, 2014.

PEREIRA, Jefferson Félix. **POLÍTICAS DE HABITAÇÃO NO BRASIL: impactos na indústria da construção civil no início do século XXI**. Orientador: Annielli Araújo Rangel Cunha. 2021. 23 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2021.

PEREIRA, RAFAEL MORAIS. **DIMENSIONAMENTO DE UMA RESIDÊNCIA POPULAR EM ALVENARIA ESTRUTURAL**. Orientador: Natalia Gonçalves Torres. 2022. 52 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos – Uniceplac, Gramma - DF, 2022.

PÉREZ-HIGUERAS, P.; MUÑOZ, E.; ALMONACID, G.; VIDAL, P.G. High Concentrator PhotoVoltaics efficiencies: Present status and forecast. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], ano 2011, v. 15, p. 1810-1815, 5 maio 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 03/2014. 530 p.

POÇAS, CARLA CAROLINE CARVALHO. **Estudo de Viabilidade de Implementação de Energia Solar Térmica e Fotovoltaica no Restaurante Universitário em Rio Verde-Go**. Orientador: Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Júnior. 2021. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde - Goiás, 2021.

RAMOS, Jefferson da Silva; NOIA, Angye Cássia. A construção de políticas públicas em habitação e o enfrentamento do déficit habitacional no Brasil: uma análise do Programa Minha Casa Minha Vida. **Desenvolvimento em Questão**, v. 14, n. 33, p. 65-105, 2016.

RIBAS, Leonardo. **Aquecedor VS Fotovoltaico**. Ensolare - Energia Solar, 2020. Disponível em: <https://www.ensolare.com.br/blog/aquecedor-vs-fotovoltaico>. Acesso em: 13 jul. 2022.

RIGO, Paula D. et al. Um Modelo para medir o Sucesso de Projetos de Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos de Pequena Escala. **Energia Solar**, v. 205, p.241-253, 2020.

ROSA, LMP; DANZIGER, BR; CARVALHO, EML. Análise da interação solo-estrutura considerando fluência e retração do concreto Interação solo-estrutura: análise contemplando fluência e retração do concreto. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.11, n. 3, p. 564-585, 2018.

ROSSIGNOLO, João Adriano; FABRÍCIO, Márcio Minto. **COBERTURAS: NOTAS DE AULA DA DISCIPLINA SAP0653 - TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES II**. São Carlos: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2007. 94 p.

SÁ, Andressa de Luca Heredia de. Ocupar o centro: Vivências no processo de reconversão de imóveis abandonados em áreas centrais. **Revista Prumo**, v. 6, n. 09, p. 13, 2021.

SACARDO, RAFAEL. **ALVENARIA ESTRUTURAL E ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CUSTOS E SATISFAÇÃO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**. Orientador: Elvira Luiza A. Ribeiro Mancini. 2014. 105 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

SALES, TALISON ROBERTO RODRIGUES. **O Uso da Energia Solar nas Obras Civas: Um Estudo sobre o Aquecimento de Água por Sistema de Coletores**

Solares em Edifícios Residenciais. Orientador: Prof. Norma Beatriz Camisão Schwinden, Esp. 2017. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Palhoça - SC, 2017.

SAMPAIO, RAIMUNDO FURTADO. **Sistema de Automação Distribuído: Uma Abordagem Baseada em Multiagente Aplicada a Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica em Média Tensão.** Orientador: Profa. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão. 2017. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SANTOS, Gianluca da Silva; FERREIRA, Leandro de Souza; VIEIRA, Guilherme Pires; DE FARIAS, Bruno Matos; PIRES, Rachel Cristina Santos. Estudo de Viabilidade de Integração dos Sistemas: Aproveitamento da Água da Chuva, Aquecimento da Água através da Energia Solar e Energia Fotovoltaica em um Projeto Residência. *In*: PIRES, Rachel Cristina Santos; DE ALMEIDA, Iara da Silva; DE FARIAS, Bruno Matos. **Construção Civil: Engenharia e Inovação.** Rio de Janeiro: Epitaya, 2020. v. 4, cap. XI, p. 1-22. ISBN 978-65-87809-01-4.

SCHULTZ, Alexandre. **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização do Sistema Fotovoltaico em Habitações de Interesse Social em Belo Horizonte, MG.** Orientador: Dr.a Eleonora Sad de Assis. 2021. 90 p. Monografia (Especialista em Sustentabilidade em Cidades) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SCOLARI, Bruno Sabino; JUNIOR, Jair Urbanetz. Panorama dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica amparados pela REN nº482/2012 da ANEEL no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n. 2, p. 151-160, 2018.

SILVA, Lara Raquel de Jesus Rodrigues; SHAYANI, Rafael Amaral; DE OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. *In*: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018.** 2018.

SOLAR, Canadian. **Canadian Solar Datasheet HiKu CS3W-P.** 2021. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-P_EN.pdf>. Acesso em 30 de abril de 2022.

SOLDERA, Denis; KÜHN, Daniela Dias. Indicadores de viabilidade financeira: considerações sobre instrumentos de análise. WIVES, Daniela Garcez; KÜHN, Daniela Dias (Org.). Gestão e planejamento de agroindústrias familiares. Porto Alegre: **Editora da UFRGS**, 2018. p. 41-59, 2018.

TEIXEIRA, Josué Ivan Honório; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques. Processo executivo de uma fundação do tipo radier: um estudo de caso na cidade de Iranduba-AM: Executive process of a radier type foundation: a case study in the city of Iranduba-AM. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 12, p. 76749-76765, 2022.

TORETI, Letícia Scarabelot; RAMPINELLI, Giuliano Arns; RAMBO, Carlos Renato. Avaliação econômica e energética de unidades prosumidoras residenciais com sistemas fotovoltaicos em operação no sul do Brasil. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, Argentina, ano 2018, v. 22, p. 15-24, 19 set. 2018.

TAKIGAWA, F. Y. K.; ARANHA NETO, E. A. C.; FERNANDES, R. C.; CAMPOS, D.; CARDOSO, M.. Analysis of the financial viability of a photovoltaic system to a consumer unit in South Brazil. **Ingeniare**, v.27, n.1, p.131-141, 2019.

URBANETZ JUNIOR, JAIR. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que possam afetar a Conectividade**. 2010. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2010.

WANG, Chao et al. Trade characteristics, competition patterns and COVID-19 related shock propagation in the global solar photovoltaic cell trade. **Applied Energy**, v. 290, p.17,2021.

ZEB, Ali; SULTAN, Fahad; HUSSAIN, Khawar; JAVAID, Mudaser; ABBAS, Zaheer; IMRAN, Muhammad. The Influence of Compensation and Benefits and Employees' Involvement on Employees' Outcomes-Evidence from PTCL. **International Journal of Research and Review**, [S. l.], ano 2018, v. 5, p. 98-103, 11 nov. 2018.

ZILLES, Roberto. Energia solar fotovoltaica. *In*: ENERGIA Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede. 2. ed. rev. [S. l.]: **Érica**, 04/06/2014. cap. 13, p. 116-120.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Consumo de energia elétrica das famílias de baixa renda

Nome do Logradouro	nº	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Marc.	Abr.	Maio	Média do Consumo em kWh
Saldanha Marinho	120	-	-	150	188	298	360	331	281	268
Saldanha Marinho	140	153	165	189	176	145	192	187	148	170
Reinaldo Turra	30	107	71	110	100	94	102	94	60	93
Reinaldo Turra	40	176	123	159	130	121	172	161	107	144
Reinaldo Turra	50	113	89	129	103	102	145	154	84	115
Reinaldo Turra	60	142	87	132	120	101	118	119	92	114
Reinaldo Turra	70	-	83	102	88	74	100	87	73	87
Dirceu de Souza Pereira	73	217	136	178	159	163	181	177	137	169
Dirceu de Souza	53	159	71	116	135	162	176	157	160	142
Dirceu de Souza	43	216	135	158	149	125	163	148	115	152
Dirceu de Souza	33	151	97	117	122	128	151	148	105	128
Dirceu de Souza	82	75	89	85	87	63	91	83	76	82
Dirceu de Souza	92	193	105	143	125	130	165	136	112	139
Dirceu de Souza	102	126	84	108	98	86	103	101	87	99

Dirceu de Souza	122	31	47	86	81	93	124	107	66	79
Dirceu de Souza	132	84	78	93	89	76	90	93	80	85
Dirceu de Souza	142	136	97	138	107	100	113	125	63	110
Dirceu de Souza	152	162	185	231	248	234	270	253	226	226
Dirceu de Souza	162	229	184	285	210	255	331	273	279	256
Dirceu de Souza	182	210	154	207	179	151	177	156	139	172
Dirceu de Souza	202	180	135	178	153	150	183	160	139	160
Antonio Revelin	155	72	177	252	216	193	262	234	143	194
Antonio Revelin	145	203	137	187	159	169	0	123	107	155
Antonio Revelin	121	31	67	120	95	79	98	103	61	82
Antonio Revelin	111	400	226	285	250	213	307	241	187	264
Antonio Revelin	101	278	174	216	175	167	195	159	141	188
Antonio Revelin	146	163	132	164	166	124	148	154	102	144
Reinaldo Turra	211	135	80	99	86	74	91	78	64	88
Reinaldo Turra	221	184	133	147	143	118	105	134	93	132
Reinaldo Turra	231	166	118	190	165	120	154	145	103	145

Reinaldo Turra	241	283	195	203	132	110	123	167	141	169
Reinaldo Turra	251	192	170	219	165	160	204	218	179	188
Reinaldo Turra	261	182	141	179	133	133	153	165	179	158
José Barbiero	17		108	170	160	134	173	189	154	155