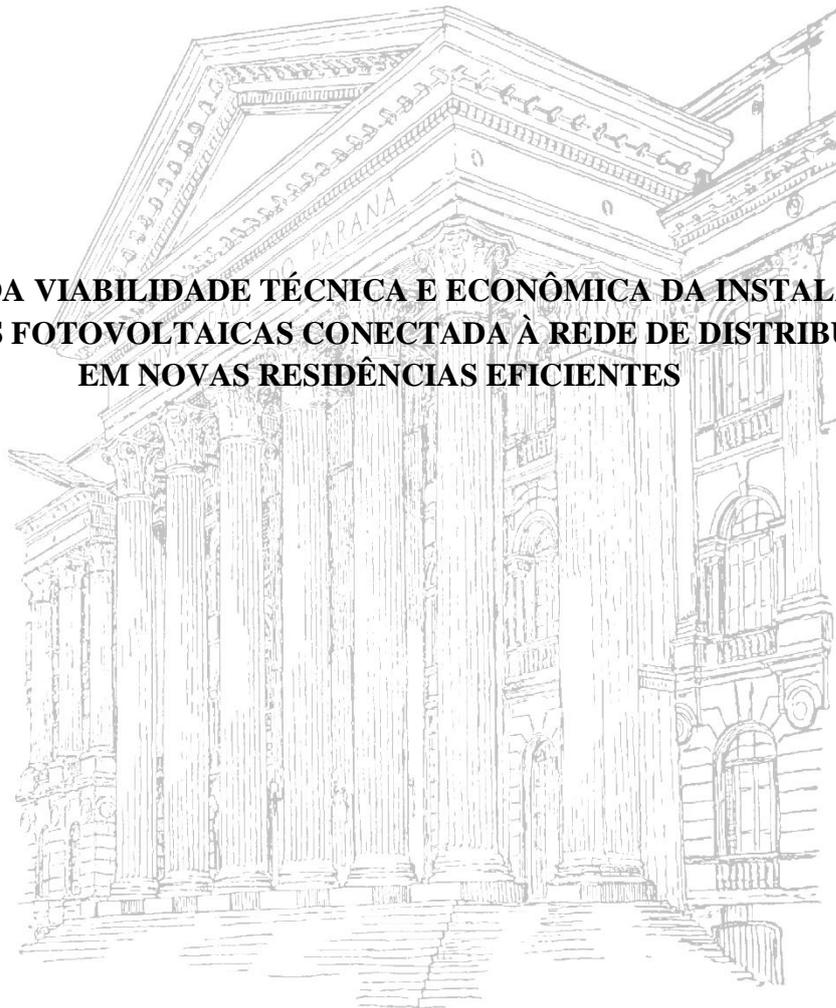


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO
DE TELHAS FOTOVOLTAICAS CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO
EM NOVAS RESIDÊNCIAS EFICIENTES**



CURITIBA

2018

GIOVANI RAGNINI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO
DE TELHAS FOTOVOLTAICAS CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO
EM NOVAS RESIDÊNCIAS EFICIENTES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Clodomiro Unsuhay Vila

CURITIBA

2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Iris e Antônio, pela paciência, incentivo e por terem sido a base de minha educação, sem o apoio de vocês minha graduação não seria possível.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhas pelo companheirismo, acolhida e por preencherem minha vida fora da vida acadêmica.

A minha namorada, Jucieli, por todo suporte, carinho e companheirismo durante todo processo deste trabalho. Seu apoio foi fundamental.

Ao professor Clodomiro, por me orientar e motivar durante todo processo deste trabalho, acreditando no meu potencial, transmitindo conhecimento e exigindo excelência nas atividades.

Aos amigos e colegas que me acompanharam pela minha jornada de graduação dividindo momentos de estudos, diversão e dificuldades.

A todos professores e servidores do curso de Engenharia Elétrica da UFPR que tiveram parte em minha formação acadêmica. Meu "muito obrigado!".

RESUMO

Devido ao despertar para o uso de energias renováveis no mundo, está acontecendo uma crescente demanda por formas alternativas de geração de energia, para seu uso eficiente e que seja economicamente atrativo ao consumidor. O Brasil possui um potencial grandioso para geração através de energias renováveis, porém grande parte ainda não é aproveitada e considerando nosso cenário energético atual de constante importação de energia o uso da Geração Distribuída (GD) se torna uma grande opção para mudar esse cenário. A GD possui entre outras vantagens, a de gerar energia próxima aos centros de carga e de ser de rápida implementação. No presente trabalho apresenta-se uma análise de viabilidade técnica e econômica de uma forma de geração com forte tendência de crescimento dentre as energias renováveis, a energia fotovoltaica proveniente de telhas fotovoltaicas, que possui benefícios semelhantes ao de módulos fotovoltaicos, porém sem prejudicar o projeto arquitetônico da residência, diminuindo a poluição visual do ambiente urbano. Fazendo um estudo de viabilidade técnica e econômica para uma nova residência de médio a alto consumo e aplicado juntamente com outras formas ecologicamente e energeticamente sustentáveis, este trabalho irá concluir se há viabilidade do uso desta alternativa de geração e sugerir em quais condições esta unidade consumidora possa receber um selo de eficiência.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Telhas Fotovoltaicas, Geração Distribuída, Energia solar, Viabilidade Econômica, Eficiência Energética.

ABSTRACT

On account of the awakening for the use of renewable energies in the world, there is a growing demand for clean forms of energy generation, in your efficient use and the form that it is economically attractive for the consumer. Brazil has a great potential for generation through renewable energies, but much of this potential still not exploited and considering the current energy scenario of constant energy imports, the use of Distributed Generation becomes a great option to change this scenario. Distributed generation has among other advantages, to generate energy close to the load that they serve and possess a rapid implementation. This present work shows an analysis of the technical and economic viability of a form of generation with a strong tendency of growth among the renewable energies, photovoltaic energy from photovoltaic roof tiles, which has similar benefits to photovoltaic panels, however without the prejudice in architectural design of the residence, reducing the visual pollution of the urban environment. By doing this technical and economic viability study for a new residence of medium to high consumption and implemented together with other forms ecologically and energetically sustainable, this work will conclude if there is viability for the use of this alternative form of generation and suggest in which conditions this consumer unit can receive an efficiency seal.

Keywords: Renewable Energy, Photovoltaic Roof Tiles, Distributed Generation, Solar Energy, Economic viability, Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta interna de energia (ano base 2016).....	14
Figura 2 - Matriz Energética mundial (2014).....	15
Figura 3 - Matriz Energética brasileira (2014).....	15
Figura 4 - Conceito de Geração Distribuída.....	17
Figura 5 – Calvin Fuller no Bells Laboratories (1954).....	20
Figura 6 – Funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício.....	21
Figura 7 – Esquemático de Geração Distribuída.....	22
Figura 8 – Irradiação Global Horizontal – Média Anual, Brasil.....	24
Figura 9 – Coletor solar para aquecimento de água.....	27
Figura 10 - Logo da certificação PROCEL EDIFICA.....	28
Figura 11 - Diagrama do Projeto.....	33
Figura 12 - Ângulo azimutal de uma superfície.....	35
Figura 13 – Posição solar durante o ano.....	35
Figura 14 - Exemplo de radiação solar com valores equivalentes em HSP.....	38
Figura 15 - Pasta condutiva entre telhas.....	40
Figura 16 – String Box – Sistema de proteção.....	42
Figura 17 – Residência Modelo.....	52
Figura 18 – Ângulo de Azimute.....	52
Figura 19 – Conta de energia usada como referência.....	53
Figura 20 – Função de sombreamento, SketchUp.....	55
Figura 21 – Resultado do dimensionamento para 100%.....	56
Figura 22 – Dimensionamento sem desperdício.....	58
Figura 23 – Dimensionamento para Estudo de Caso.....	59
Figura 24 – Escolha do inversor de frequência.....	60
Figura 25 – Fluxo de caixa para Financiamento SICREDI.....	65
Figura 26 – Fluxo de caixa para Financiamento BNDES.....	67
Figura 27 – Comparação de Área necessária em projeto de 5,55 kWp.....	69
Figura 28 – Comparação entre eficiências.....	69
Figura 29 – Comparativo do custo total.....	70
Figura 30 – Fluxo de caixa para sistema com uso de módulos.....	71
Figura 31 – Fluxo de caixa para sistema com uso de telhas.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Encargos e suas finalidades	31
Tabela 2 – Soluções de eficiência aplicáveis em residências.....	51
Tabela 3 – Irradiação Global Horizontal no local definido.....	54
Tabela 4 – Aproveitamento para diferentes inclinações e azimutes.....	54
Tabela 5 – Custos dos equipamentos e materiais para o projeto.....	61
Tabela 6 – Parâmetros considerados na análise econômica	61
Tabela 7– Planilha de análise econômica, considerando capital próprio	62
Tabela 8 – Métricas de viabilidade econômica com uso de capital próprio.....	62
Tabela 9 – Especificações para financiamento SICREDI	64
Tabela 10 – Viabilidade econômica Financiamento SICREDI.....	64
Tabela 11 – Especificações para financiamento BNDES.....	66
Tabela 12 - Viabilidade econômica Financiamento BNDES	66
Tabela 13 – Planilha de análise econômica, financiamento BNDES	68

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
- AHE – Aproveitamento Hidrelétrico
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
- CA – Corrente Alternada
- CAPEX – Despesas de Capital – *Capital Expenditure*
- CC – Corrente Contínua
- CIH - Centro Internacional de Hidroinformática
- COPEL – Companhia Paranaense de Energia
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
- DIT - Demais Instalações de Transmissão
- DPS - Dispositivos de Proteção contra Surtos
- ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- EUA – Estados Unidos da América
- FDI – Fator de Dimensionamento do Inversor
- FV - Fotovoltaica
- GD – Geração Distribuída
- GHI – Irradiação Global Horizontal – *Global Horizontal Irradiance*
- HSP – Horas de Sol Pleno
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- kWh – quilowatt-hora
- MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
- MME – Ministério de Minas e Energia
- MPPT - Rastreador de Ponto de Máxima Potência - *Maximum Power Point Tracking*

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

NY – Nova York – *New York*

OPEX – Despesas em Manutenção - *Operational Expenditure*

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PEE – Programa de Eficiência Energética

PNEE – Plano Nacional de Eficiência Energética

PR – Paraná

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

QTD. - Quantidade

RAP – Receita Anual Permitida

RMC – Região Metropolitana de Curitiba

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à rede

SFV – Sistema Fotovoltaico

STC – Condições Padrões de Testes - *Standard Testing Conditions*

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUST – Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

UC – Unidade Consumidora

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UHE – Usina Hidrelétrica

VPL – Valor Presente Líquido

Wp – watt-pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO.....	12
1.2	OBJETIVO GERAL.....	13
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1	BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	14
2.2	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	16
2.2.1	CRÉDITOS DE ENERGIA.....	17
2.2.2	CONDIÇÕES PARA ADESÃO.....	18
2.2.3	ANTI-ILHAMENTO.....	18
2.3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
2.3.1	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	20
2.3.2	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE	21
2.3.3	RECURSO SOLAR BRASILEIRO.....	23
2.3.4	ESTADO DA ARTE DA VIABILIDADE DO SFCR.....	24
2.4	EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS	26
2.4.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	27
2.4.2	SELOS DE EFICIÊNCIA.....	28
2.5	TARIFAÇÃO PARA RESIDÊNCIAS BRASILEIRAS.....	29
2.5.1	PARCELA A.....	30
2.5.2	PARCELA B	31
2.5.3	TRIBUTAÇÃO	32
3.	MÉTODOS E MATERIAIS	33
3.1	FLUXOGRAMA.....	33
3.2	PARÂMETROS DA UNIDADE CONSUMIDORA	34
3.2.1	LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	34
3.2.2	MODELO E POSICIONAMENTO DO TELHADO	34
3.2.3	DEMANDA DE CARGA.....	36
3.2.4	RECURSO SOLAR.....	36
3.2.5	SOMBREAMENTO.....	36
3.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
3.4	PARÂMETROS DAS TELHAS FOTOVOLTAICAS.....	38

3.4.1	PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO	41
3.4.2	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	41
3.4.3	SISTEMA DE PROTEÇÃO	42
3.5	PARÂMETROS ECONÔMICOS	44
3.5.1	FRETE.....	45
3.5.2	IMPOSTOS	45
3.5.3	VALOR DAS TELHAS E INSTALAÇÃO.....	46
3.5.4	TARIFA DE ENERGIA	46
3.6	CONCEITOS ECONÔMICOS	47
3.6.1	CAPEX.....	47
3.6.2	OPEX	47
3.6.3	PAYBACK.....	48
3.6.4	VPL	48
3.6.5	TMA – Taxa Mínima de Atratividade	49
3.6.6	TIR – Taxa Interna de Retorno	49
3.6.7	FLUXO DE CAIXA	49
3.7	SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA PARA RESIDÊNCIAS	50
4	ESTUDO DE CASO E RESULTADOS	51
4.1	LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	51
4.2	MODELO E POSICIONAMENTO DO TELhado	51
4.3	DEMANDA DE CARGA	53
4.4	RECURSO SOLAR NO LOCAL.....	54
4.5	SOMBREAMENTO.....	55
4.6	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	56
4.6.1	ESCOLHA DO INVERSOR	59
4.7	PROJETO MULTIFILAR	60
4.8	VIABILIDADE ECONÔMICA	60
4.8.1	LINHAS DE CRÉDITO	63
4.9	COMPARATIVO ENTRE MÓDULOS E TELHAS FOTOVOLTAICAS.....	68
5	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO I – PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO	79
	ANEXO II – DIAGRAMA MULTIFILAR DO PROJETO.....	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

No mundo há um constante crescimento de consumo de energia elétrica e infelizmente ainda a maior parcela dessa energia provém de fontes não renováveis. Dessa forma, a necessidade de incrementar a geração de energia elétrica usando fontes renováveis tem sido cada vez mais necessária, sendo que o setor energético se caracteriza como um dos que mais emite gases do efeito estufa.

O mundo vem apresentando um cenário de crescimento para sistemas alternativos de geração de energia, dentre elas a fotovoltaica possui uma grande relevância. No Brasil o setor cresceu 300% entre 2015 e 2016 mesmo em uma época de recessão econômica, agora com esse início de recuperação e estabilização da economia se espera um crescimento ainda maior (ABSOLAR, 2017).

Segundo um estudo de planejamento energético apresentado pelo Ministério de Minas e Energia, até 2050 aproximadamente 20% das residências brasileiras possuirão geração fotovoltaica. Tendo como base essas estatísticas a poluição visual nas áreas urbanas possa vir a ser um fator relevante a ser considerado na realização de projetos principalmente em áreas residenciais de populações com maiores poderes aquisitivos (MME, 2018).

Por motivo arquitetônico ou posicionamento e direcionamento dos telhados a colocação de painéis acaba se tornando inviável ou desinteressante, porém com o desenvolvimento de telhas com células fotovoltaicas o setor promete alcançar novos patamares e consumidores.

Assim sendo, a geração distribuída através de telhas fotovoltaicas se tornou um grande interesse particular e relevante devido ao promissor cenário que tem apresentado o setor energético brasileiro. Logo, analisar a viabilidade técnico e econômico da elaboração e implantação de projetos com essa tecnologia e estudar outros meios de efficientização para uma unidade consumidora, poderia apresentar uma nova alternativa aos consumidores residenciais.

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo calcular a viabilidade de instalação de telhas fotovoltaicas conectadas à rede considerando os aspectos técnicos e econômicos além de apresentar resultados de forma que seja possível inserir uma nova alternativa para uma geração distribuída renovável no cenário brasileiro.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

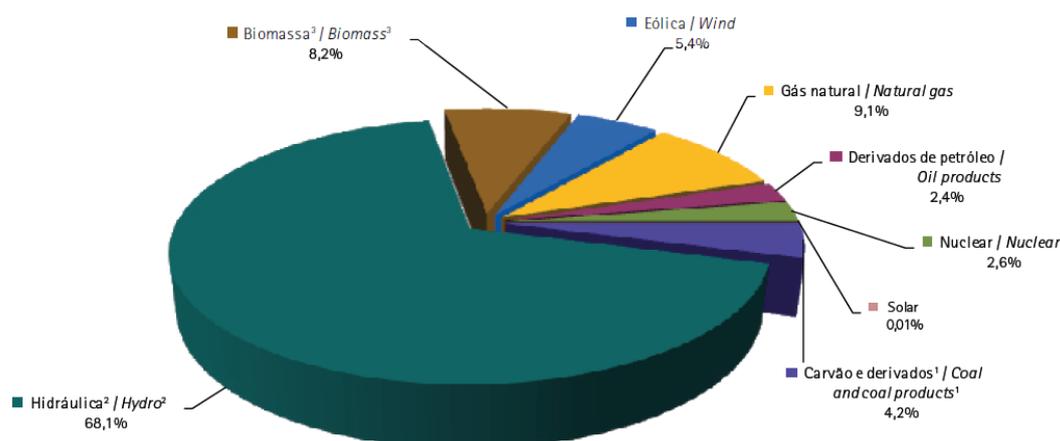
- Estudar o SFCR com telhas fotovoltaicas para residências brasileiras com consumo médio a alto.
- Dimensionar o SFCR com telhas fotovoltaicas para residências brasileiras com consumo médio a alto.
- Mostrar alternativas de eficiência energética de uso residencial como requisitos para possuir um selo de certificação.
- Elaborar estudos comparativos entre painéis solares convencionais e telhas solares
- Compreender em quais aspectos o projeto com telhas fotovoltaicas é viável economicamente

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta fase do relatório apresenta-se os temas e conceitos que envolvem o projeto, buscando de fontes científicas, acadêmicas ou governamentais, dados que me darão consistência e embasamento, servindo como um princípio de coleta de dados para todo o restante do cronograma.

2.1 BALANÇO ENERGÉTICO BRASILEIRO

O Brasil, diferente da maioria dos países contém uma matriz energética predominantemente renovável, tendo como sua principal fonte a geração hidrelétrica. Somente esta fonte representa 68,1% da oferta interna nacional, sendo que juntamente com as outras energias de fontes renováveis (biomassa, eólica, hidráulica e solar) representam a parcela de 81,7% segundo dados do Balanço Energético Nacional – BEN (2017) e demonstrado na Figura 1 (EPE, 2017).



Notas / Notes:

1. Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gas
2. Inclui importação de eletricidade / Includes electricity imports
3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Figura 1 - Oferta interna de energia (ano base 2016) Fonte: EPE (2017)

O BEN é resultado de uma grande pesquisa realizada pelo EPE-Empresa de Pesquisa Energética vinculada ao MME-Ministério de Minas e Energia, esse resultado é divulgado anualmente com dados relevantes da matriz energética, os setores consumidores e emissões de CO₂ (Dióxido de carbono).

Por intuição podemos erroneamente pensar que não há a necessidade de se integrar ao sistema novas formas sustentáveis de geração, visto a vantagem que o país tem em relação ao resto do mundo. A situação mundial pode ser comparada com os gráficos abaixo, na Figura 2, tendo como referência o ano base de 2014.

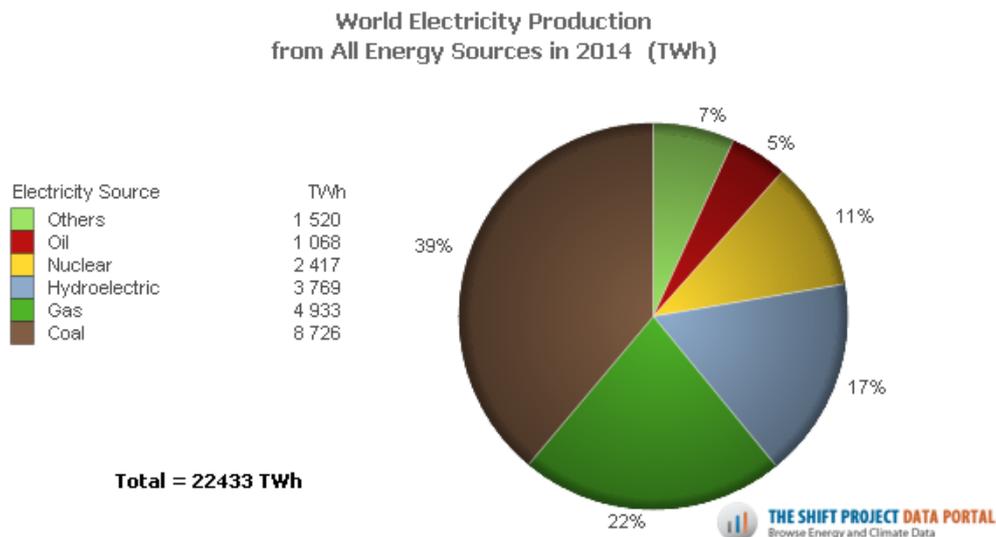


Figura 2 - Matriz Energética mundial (2014) Fonte: THE SHIFT PROJECT (2018)

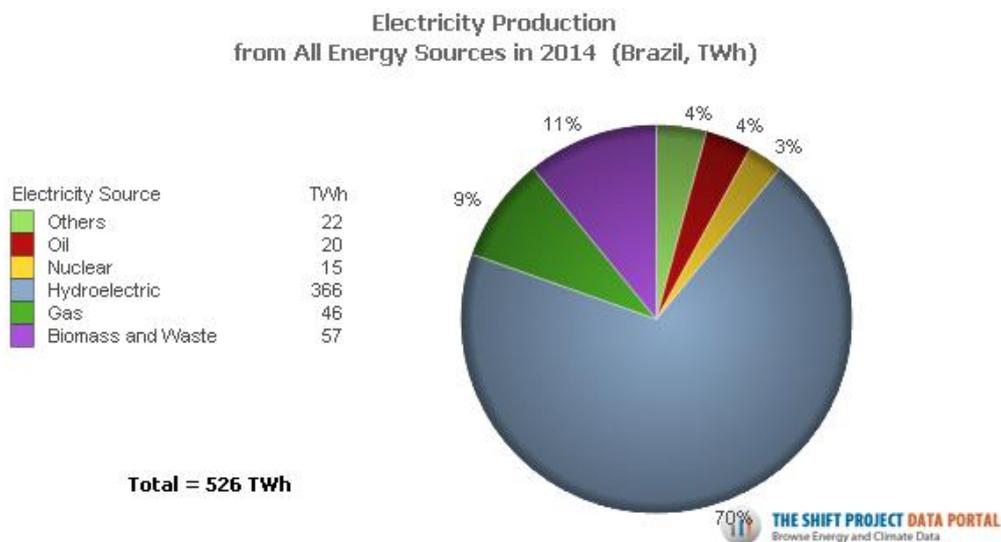


Figura 3 - Matriz Energética brasileira (2014) Fonte: THE SHIFT PROJECT (2018)

Por ser um país em desenvolvimento o Brasil possui uma crescente demanda de energia, por ter passado recentemente por uma crise econômica o setor energético conseguiu se manter devido a estagnada no crescimento de demanda, porém o atual cenário ainda é considerado preocupante, recentemente, com a estabilização da economia e a volta em investimentos no setor industrial será necessário ampliar a capacidade instalada da matriz energética. De acordo com uma portaria divulgada no Diário Oficial da União pelo MME (2017), eles “Reconhecem a necessidade de importação de energia elétrica da República Argentina e da República Oriental do Uruguai, de forma excepcional e temporária até 31 de dezembro de 2018, e de ampliar as possibilidades

dessas importações”. Conseqüentemente isso acarreta uma dependência energética proveniente das Usinas Termoelétricas e dos países vizinhos para suportar a demanda de carga interna.

Mesmo sendo considerada, a usina hidrelétrica, sustentável, o que a caracteriza como uma fonte de energia limpa, sua implementação possui grandes resistências, além da sua construção gerar grandes áreas de alagamento prejudicando fauna e flora, ela também impacta populações ribeirinhas e indígenas que sofrem conseqüências com a realização do projeto.

Devido a maioria dos grandes projetos de hidrelétricas como UHE de Tucuruí, AHE Belo Monte e UHE de Tapajós (em fase de licenciamento ambiental) serem na região norte, região que possui um grande potencial hidráulico não aproveitado, e de estarem localizadas em áreas que vivem povos indígenas, é criada uma grande pressão social e ambiental ao entorno dessas obras (Shayani, Oliveira, 2008).

Considerando esse cenário em paralelo com o grande potencial solar e eólico no Brasil, essas fontes primárias de energia têm sido vistas com boas perspectivas rumo à diversificação da matriz elétrica nacional. Dados apresentados no BEN (2017) já apontam um crescimento para esses meios de geração. Sendo da energia eólica um salto de 12.210 GWh em 2014 para 33.489 GWh em 2016, ou seja, mais que o dobro de sua capacidade de produção. Já a energia solar fotovoltaica teve um crescimento de 16 GWh à 85 GWh no mesmo período. O crescimento da energia solar na matriz energética tem ocorrido principalmente pelo desenvolvimento do conceito de Geração Distribuída que será abordado na próxima seção (EPE, 2017).

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O conceito de geração ao redor dos centros de carga e geralmente por fontes renováveis é conhecido como Geração Distribuída. O presente trabalho irá tratar de geração de energia fotovoltaica em residências conectada à rede de distribuição, caracterizando uma GD. Diversos benefícios ao sistema elétrico são relacionados ao seu uso, como o fato de gerar um grande alívio de carga a ser suprido pelas grandes usinas, reduzindo a energia que circula pelas redes, minimizando perdas e investimentos públicos no sistema de geração e transmissão e por possibilitar ao consumidor final passar de um

estado passivo para ativo no sistema gerando créditos com sua concessionária. A Figura 4 apresenta uma visão conceitual da GD.

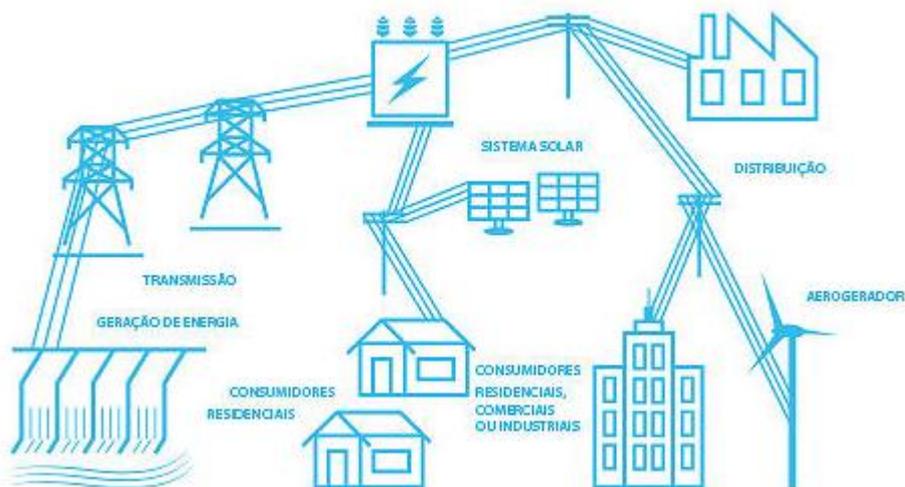


Figura 4 - Conceito de Geração Distribuída Fonte: Energy Green (2015)

Apesar de recentemente a GD ter aparecido como uma alternativa buscada por muitos países, sua concepção já é antiga. Sabe-se que em 1882 Thomas Edison montou o primeiro sistema de geração de energia em Nova York, o qual ele fornecia eletricidade para lâmpadas de 59 clientes em uma área de 1 km² (Dias, Borotni, & Haddad, 2005).

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL publicou no ano de 2012 a resolução normativa nº 482 (ANEEL, 2012) que estabelece os termos e condições para o acesso da micro e mini geração distribuída de energia elétrica à rede, sendo esse um grande feito para o crescimento dessa forma de geração e abrindo espaço para o uso da fonte de energia solar fotovoltaica em residências no Brasil. Nessa resolução normativa, ficaram definidos os intervalos de potência que definem a microgeração e minigeração distribuída conectada à rede, como 75 kW ou menos para microgeração, e minigeração entre 75 kW e 3 MW.

2.2.1 CRÉDITOS DE ENERGIA

Na condição do consumidor estar injetando energia excedente na rede, ou seja, gerar mais do que consumir, cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido

em dinheiro, esse crédito pode ser utilizado para abater o consumo em outros meses ou faturas nominadas a mesma pessoa física ou jurídica, tendo este, um período de validade de 60 meses, ou seja, 5 anos (ANEEL 2012).

A situação de geração de créditos pode ocorrer com muita frequência principalmente se tratando da fonte de geração relacionada ao projeto, a solar fotovoltaica, que durante o dia, a “sobra” da energia gerada é passada para a rede e durante à noite, a rede devolve a energia para a UC (Unidade Consumidora) suprimindo sua demanda. Isso acontece ao fato do medidor instalado possuir bidirecionalidade.

2.2.2 CONDIÇÕES PARA ADESÃO

A ANEEL ressalta que para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B) mesmo sendo a energia injetada na rede superior ao consumo será necessário o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente. Compete ao consumidor todas iniciativas de instalação de micro ou minigeração distribuída, analisar a viabilidade, compra de materiais, etc. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversos componentes, como no caso da energia solar fotovoltaica: custos dos módulos, instalação, inversor, condições de pagamento e valor de tarifação de acordo com a concessionária local em questão (ANEEL, 2018).

2.2.3 ANTI-ILHAMENTO

O ilhamento ocorre quando uma região não abastecida pelo sistema elétrico permanece energizada pelo sistema de geração distribuída. Além da perda de referência de tensão e frequência, o que pode trazer danos aos equipamentos no momento da

reconexão por falta de sincronia, existe o risco de segurança sobre os funcionários que eventualmente possam estar realizando a manutenção das linhas (VIEIRA, 2008).

Os inversores do sistema de geração distribuída devem ser capazes de detectar a formação de uma ilha e interromper o fornecimento. Os métodos de detecção do ilhamento se caracterizam por interromper o fornecimento quando for detectada uma variação nas grandezas elétricas (normalmente tensão e frequência) que extrapole os limites estabelecidos pelos padrões. Estes métodos são mais simples e fáceis de serem implementados, porém podem falhar no caso de a potência requisitada pelas cargas na ilha estar próxima da potência gerada (SEVERO, 2011).

2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é a obtenção de energia através da conversão da luz solar em eletricidade, essa conversão é conhecida como Efeito Fotovoltaico. Esse fenômeno foi relatado por Edmond Becquerel em 1839 que notou que placas metálicas, mergulhadas num eletrólito, geravam uma diferença de potencial quando expostas à luz.

A era moderna da energia fotovoltaica teve início em 1953, quando Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories, em New Jersey nos Estados Unidos, desenvolveu um processo, chamado de “dopagem” que introduz impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas. E em menos de um ano eles produziram uma célula solar de silício com eficiência de 6% (CHAPIN e col., 1954).



Figura 5 – Calvin Fuller no Bells Laboratories (1954) Fonte: AT&T Archive

Em 1973 quando houve a crise do petróleo, foi renovado o interesse em energia solar fotovoltaica. Mas ainda era uma forma de geração inviável economicamente, para a viabilidade dessa forma de geração de energia, seria necessária uma redução muito grande no custo de produção das células fotovoltaicas se comparado as células produzidas para aplicações espaciais.

Atualmente, com a massiva produção em equipamentos de geração de energia solar na China e conseqüentemente constante queda de preço das células fotovoltaicas essa tecnologia está mais acessível e viável com indicativos promissores.

2.3.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula solar é um dispositivo semicondutor que converte a onda eletromagnética da luz solar em eletricidade. A luz incidente sobre a célula fotovoltaica gera uma diferença de potencial nos terminais gerando energia elétrica. É usado nesse processo um material semicondutor dopado, no qual a luz eleva os elétrons do material para uma camada mais elevada e próxima ao condutor liberando-os para se moverem para o circuito externo a célula. Os elétrons então dissipam a sua energia no circuito externo e

retornam para a célula solar. Em diversos materiais semicondutores pode se ocorrer o efeito fotovoltaico, porém, a grande maioria das células fotovoltaicas são constituídas de silício. Isso ocorre porque o intervalo entre a camada de valência e de condução, chamada de “*band gap*” no silício é próxima ao valor ótimo para gerar energia a partir da luz solar (Tiedje, Yablonovitch, Cody & Brooks, 1984). A Figura 6 demonstra de uma forma simplificada o efeito fotovoltaico.

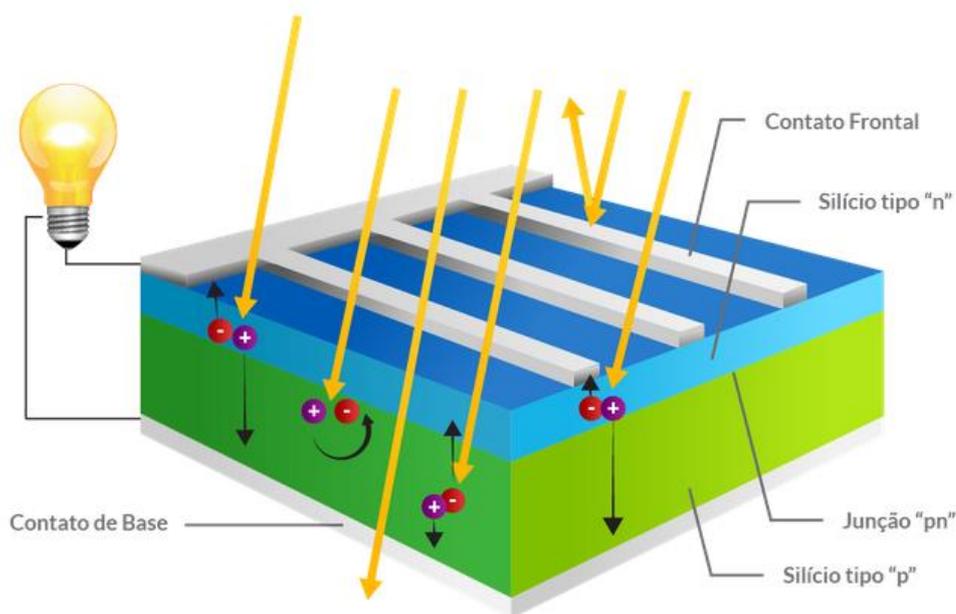


Figura 6 – Funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício Fonte: Blue Sol (2018)

O processo para determinar a eficiência de uma célula fotovoltaica é feito em condições de laboratório, STC (*Standard Testing Conditions*), onde a temperatura é controlada em 25°C e exposto a uma irradiação de 1000 W por m² (PORTAL SOLAR, 2017). Para as células de silício, a eficiência fica na faixa entre 15% e 21% entre as comercializadas. Conforme o Manual de Engenharia Fotovoltaica (CRESESB, 2014), a definição de eficiência de uma célula solar é a relação entre a potência elétrica produzida e a potência de energia incidente. Portanto, a capacidade de geração máxima entre células de silício está entre 150Wp e 210Wp por m².

2.3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

O sistema fotovoltaico conectado à rede opera em paralelo com a rede elétrica da concessionária de energia, conforme a ilustração na Figura 7. Sua grande vantagem é

a não necessidade do uso de baterias e a possibilidade de injetar o excedente da geração na rede de distribuição, porém, o sistema estará sujeito a eventuais quedas de energia juntamente com o sistema da distribuidora devido ao dispositivo de anti-ilhamento como citado anteriormente na seção 2.2.3.

Pode-se também utilizar baterias em sistemas conectados à rede para a operação ilhada do sistema fotovoltaico, no caso de alguma falta de energia da rede elétrica, nesse caso, seria utilizado um inversor de frequência híbrido (PHB, 2018). Como este trabalho visa uma maior economia para o projeto e o sistema híbrido gera um aumento considerável do custo de investimento, assim, apenas será realizado a viabilidade para um sistema conectado à rede sem banco de baterias.

O sistema conectado à rede de distribuição é constituído, basicamente, dos seguintes itens:

Gerador Solar: dispositivo gerador onde ocorre o efeito fotovoltaico. A diferença de potencial gerada é em CC.

Inversor de Frequência: Aparelho responsável por converter a tensão contínua para a tensão alternada com frequência e sincronia compatível com da rede de distribuição. É onde está o mecanismo de segurança de anti-ilhamento.

Medidor Bidirecional: Permite a medição do fluxo de energia para as duas direções. Desta forma é possível gerar créditos de energia ou compensar a energia consumida em horários de pouca ou nenhuma geração.

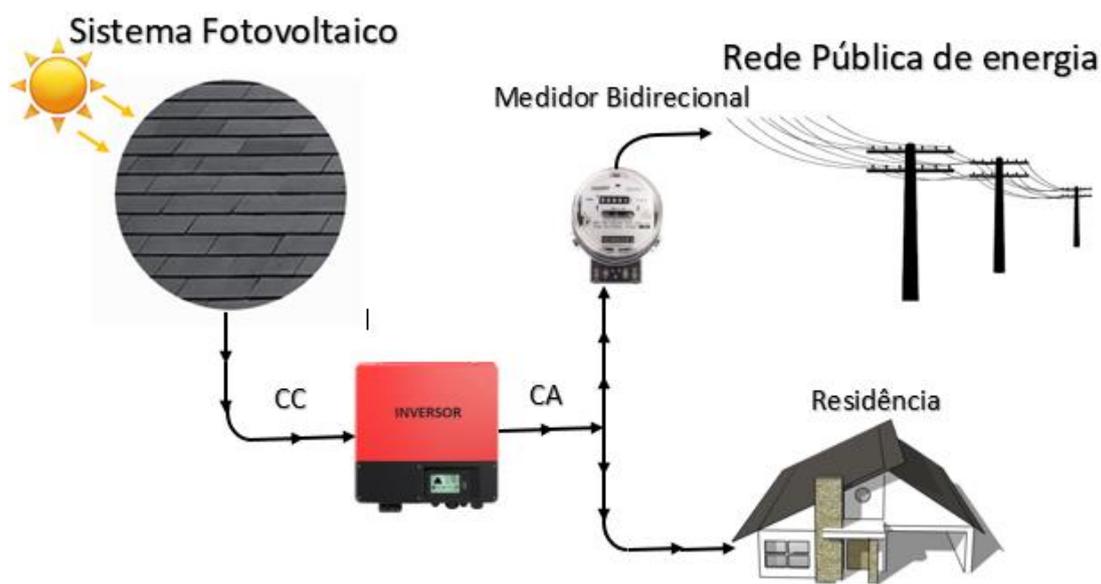


Figura 7 – Esquemático de Geração Distribuída Fonte: Autor (2018)

Uma outra grande vantagem ao uso do SFCR é que devido o fato da carga estar próximo a geração, custos com o sistema de transmissão e distribuição são minimizados, visto que, uma menor corrente circula no sistema. Usando um olhar massificando o uso do sistema conectado à rede, investimentos no setor energético poderiam ser adiados devido ao sistema ficar menos carregado por possuir sua carga suprida localmente (SHAYANI, R. A., 2010).

2.3.3 RECURSO SOLAR BRASILEIRO

O Brasil possui um grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica ainda pouco explorado. Na região menos ensolarada do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo.

O principal fator a ser considerado quanto a disponibilidade do recurso energético solar é a variabilidade espacial e temporal. O fato do Brasil estar posicionado em maior parte entre os trópicos faz dele um país de grande potencial energético solar, que pode ser usado tanto para geração elétrica quanto para energia térmica ou produção de biomassa. Em consequência de fatores como a vegetação, o relevo e a dinâmica das massas de ar, o clima muda de região para região, influenciando muito na irradiação local. Para um projeto fotovoltaico é importante saber os dados solares do local da UC.

Os dados de radiação solar geralmente são especificados com valores de fluxo de potência ou energia por unidade de área. A irradiância solar influencia muito mais do que a temperatura quando se trata de um sistema fotovoltaico. Isso porque a irradiância pode variar significativamente em curtos intervalos de tempo como com uma passagem de nuvem, já a variação da temperatura é amortecida pela capacidade térmica dos módulos (CRESESB, 2014).

Expressa-se a irradiância por valores médios diários ao longo de um mês ou ano, com esses dados é possível dimensionar um sistema fotovoltaico com exclusividade para cada localização.

Na Figura 8 é possível ver um panorama nacional da irradiação global horizontal solar.

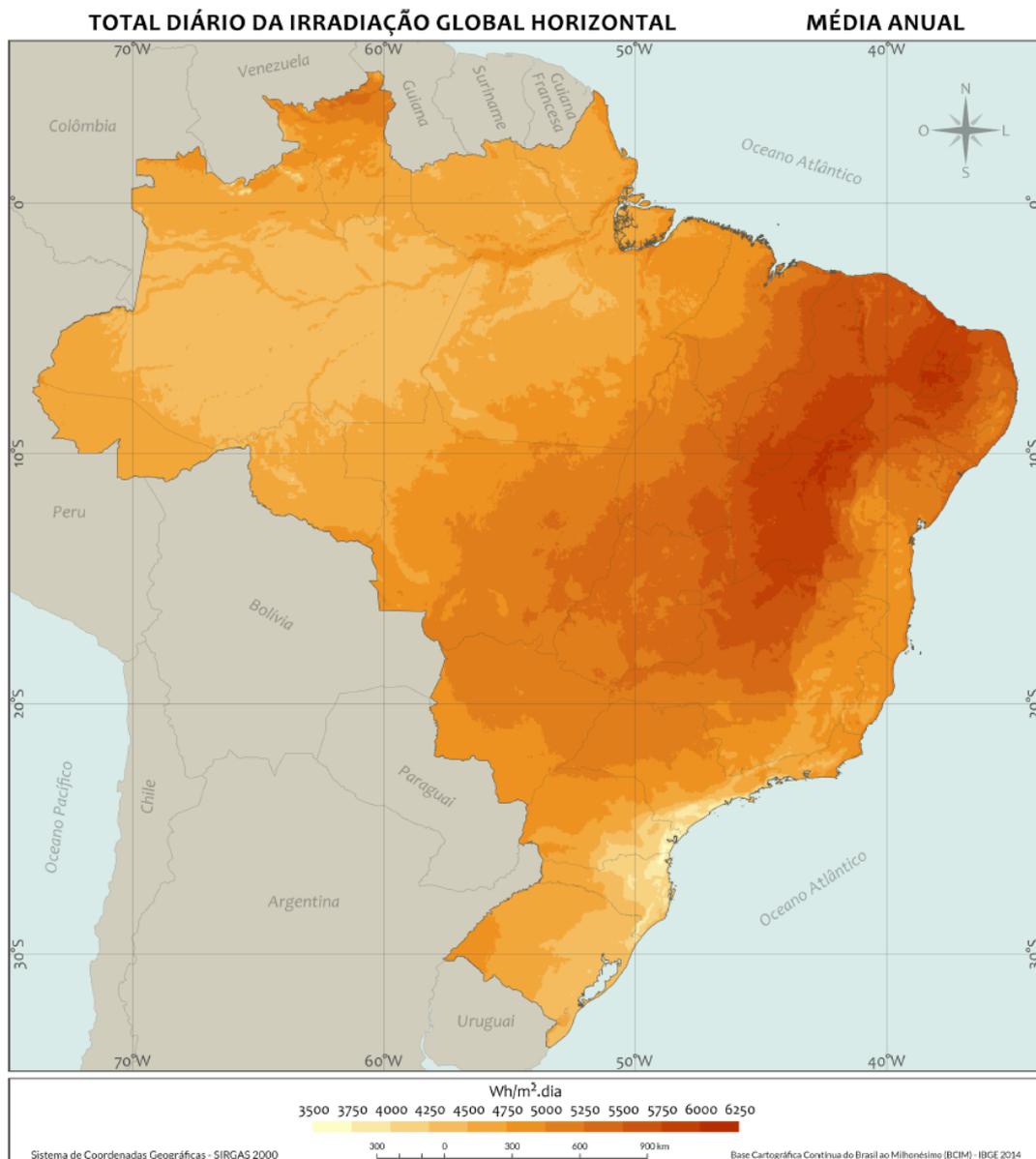


Figura 8 – Irradiação Global Horizontal – Média Anual, Brasil Fonte: INPE (2006)

2.3.4 ESTADO DA ARTE DA VIABILIDADE DO SFCR

O estado da arte em estudos de viabilidade técnica e econômica em sistemas fotovoltaicos conectados à rede é de resultados positivos, ou seja, viáveis, principalmente para trabalhos acadêmicos recentes. Isso ocorre devido ao constante aumento de tarifas e redução de valor do material gerador.

Alguns trabalhos acadêmicos relevantes podem ser citados, como o trabalho da autora Thais Dias Garcia, a “Análise técnica e econômica de geração distribuída

fotovoltaica residencial conectada à rede de distribuição”, como trabalho de graduação pela Universidade de Brasília. No trabalho foi realizado um estudo de caso para uma UC situada na cidade de Brasília, o material utilizado foi de módulos fotovoltaicos. O resultado foi de um *payback* simples próximo de 7 anos, sendo considerado que o tempo de vida útil do sistema é de 30 anos, o resultado demonstrou a viabilidade para o projeto (GARCIA, 2015).

Demais trabalhos acadêmicos que abordam a mesma proposta, para casos residenciais conectados à rede de distribuição podem ser citados, como, “Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: Estudo de caso.” Escrito por Felipe Goetze (2017) onde o estudo foi concluído com um *payback* descontado de 10 anos. E o trabalho de Bruno Cordeiro Chamma, “Projeto de uma microgeração Fotovoltaica aplicada a uma residência” (2017) no qual foi alcançado um *payback* de 7 anos.

Outro trabalho acadêmico relevante é o trabalho realizado pelos autores Felippo Centemero e Pedro Z. B. Bastos, o “ Projeto e estudo de viabilidade econômica da instalação de uma unidade de minigeração distribuída solar e eólica em uma indústria”, como trabalho de conclusão de curso pela Universidade Federal do Paraná (CENTEMERO; BASTOS, 2017). Neste trabalho foram realizados o projeto e o estudo de caso para uma minigeração distribuída, ou seja, acima de 75kWp. No caso do trabalho em questão foi dimensionado um sistema FV para um cliente Classe A, uma indústria, cujo a energia já possui um custo menor quando comparado à clientes residenciais (classe B).

Apesar da menor tarifa, os autores concluíram através da análise econômica que tanto a energia fotovoltaica quanto a eólica possuem viabilidade para implementação na indústria, mas que a fotovoltaica se tornou mais atrativa. No estudo de caso realizado a energia fotovoltaica usada para suprir parcialmente a demanda da fábrica, com um potencial máximo de 162 kWp, teve seu *payback* simples em torno de 7 anos.

Com a constante crescente do desenvolvimento e uso da energia solar fotovoltaica seu estado da arte se torna cada vez mais rico e trabalhos acadêmicos desenvolvidos sobre o tema têm se tornado cada vez mais frequentes.

2.4 EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS

O conceito de edifício ou residência sustentável é considerar que aquela edificação que atende as necessidades do presente, sem comprometer as gerações futuras. O uso de equipamentos mais eficientes nas residências cresce com a evolução do mercado e pode-se demonstrar que além de propiciar um menor gasto energético, eles também são viáveis economicamente em um horizonte de médio-longo prazo. Segundo Yeang (1999, apud PALO, 2006, p.21) edificação sustentável é um projeto que leva em consideração o meio ambiente de forma que seu uso reduza impactos diretos e indiretos ao meio ambiente. A edificação sustentável procura reduzir gastos energéticos, aumentar a eficiência da ventilação, iluminação natural e a durabilidade dos equipamentos ou materiais.

Cerca de metade do consumo de energia no território nacional acontece em edificações residenciais ou comerciais. Apesar de esse consumo ser um valor muito significativo o setor possui ao mesmo tempo um alto potencial de economia energética como, por exemplo, a melhoria de aproveitamento da água, vento e irradiação solar (PROCELINFO, 2018).

O chuveiro elétrico é o equipamento que possui um dos maiores gastos energéticos nas residências. Devido à grande potência necessária para o aquecimento da água seu consumo é relevante e tem grande parcela nas faturas de energia. Considerando a grande incidência solar que o Brasil possui por possuir seu território predominantemente em uma região tropical do globo, o uso de placas solares para o aquecimento da água é uma alternativa viável, mesmo sendo necessário um investimento inicial, diversos bancos ou fundos incentivam, através de financiamentos, investimentos que visam diminuir consumo energético. Na Figura 9 mostra uma dessas alternativas de aquecimento, que possibilita evitar o uso do chuveiro elétrico.

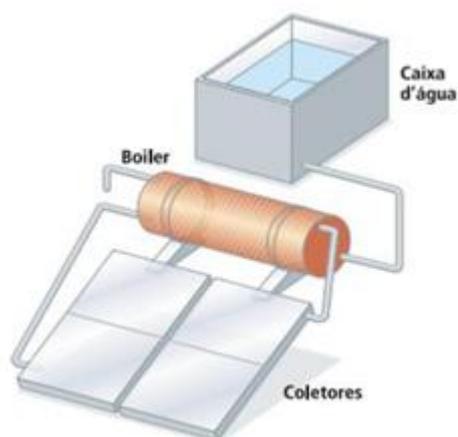


Figura 9 – Coletor solar para aquecimento de água Fonte: ANEEL (2018)

2.4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Segundo Ribeiro (2005) entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas que possuem como objetivos reduzir os custos da energia oferecida, sem que afete e altere a qualidade, são elas: planejamento integrado, eficiência na geração, transmissão, distribuição e por fim a eficiência no uso final da energia. Desta forma a energia que não foi gasta está diretamente ligada ao consumo que foi evitado ou consumo que foi reduzido, resultando em um consumo líquido de energia menor.

A preocupação em desenvolver meios sustentáveis e eficientes energeticamente surgiu com a alta do valor do petróleo na década de 70. Isso acarretou em uma alta dos preços dos recursos energéticos, todavia, esta dificuldade criou a necessidade de gerar energia por meios alternativos e também em valorizar programas para uma maior eficiência energética e uso racional de energia. Para garantir confiabilidade e segurança no atendimento da carga consumidora nessa época foi iniciada uma maior diversificação da matriz energética no mundo.

Programas de eficiência energética existem no Brasil a pelo menos duas décadas, o Programa de Eficiência Energética, o PEE, divulga inúmeros projetos de incentivo ao uso racional de energia no Brasil tanto na substituição por equipamentos mais eficientes quanto pelo estímulo nos desenvolvimentos de técnicas eficientes, desenvolvendo tecnologias que não afeta a qualidade da energia oferecida. Um dos programas de eficiência é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2018),

coordenado pelo MME e executado pela Eletrobras. Ele foi criado apenas em 1985 tendo como funções iniciais o desenvolvimento tecnológico e a adequação da legislação e de normas técnicas (PNEE, 2011).

2.4.2 SELOS DE EFICIÊNCIA

As Certificações Ambientais, também conhecidas como Selos Verdes são atestados de cumprimento de requisitos na arquitetura, construção ou uso da edificação no sentido de gerar o menor impacto ambiental possível e de possuir meios para um menor consumo de energia. Essa certificação tem se valorizado perante a sociedade e diversos países possuem seu próprio método de certificação ambiental para edificações.

No Brasil foi estabelecido em novembro de 2014 o selo “PROCEL Edifica”, selo responsável por classificar a eficiência energética em edificações. Este selo tem como principal objetivo identificar as edificações com eficiência energética a fim de motivar o mercado consumidor a adquirir imóveis sustentáveis. A Figura 10 apresenta o logo do programa de eficiência Procel Edifica.



Figura 10 - Logo da certificação PROCEL EDIFICA FONTE: MME

Juntamente com o INMETRO, a PROCEL determina diversos critérios para a certificação. Dentre eles estão o condicionamento do ar, o projeto elétrico, o projeto luminotécnico, o aquecimento de água como também o aproveitamento da luz e ventilação natural na residência. A geração distribuída e o uso racional da água entram como bonificações no sistema de pontuação para a certificação (INMETRO, 2018).

Para obter o Selo Procel Edifica, é recomendável que desde a concepção do projeto da edificação seja planejada e realizada de forma eficiente, sendo assim pode ser

otimizado a eficiência da residência em até metade do seu consumo. A metodologia completa de avaliação da conformidade está descrita na portaria nº 50/2013 publicada pelo INMETRO em seu portal online.

Hoje em dia muitos critérios são envolvidos na certificação de uma edificação sustentável, ao analisarmos o cenário internacional, vemos que não foi sempre assim, inicialmente a expressão Edifícios Verdes (*Green Buildings*) foi utilizada para intitular construções que utilizassem recursos de maneira eficiente, tivesse uma longa durabilidade, e que possuísse uma redução no consumo de energia. Porém não levavam em conta a construção e realização do projeto desde o início, que frequentemente eram construídos consumindo ainda mais energia do que aqueles resultantes de práticas comuns de projeto e construção. Ao longo do tempo os selos de certificações foram sendo mais criteriosos e coerentes quanto a eficiência e impactos ambientais em seus requisitos gerando credibilidade e valorização ao selo (SILVA, 2003).

2.5 TARIFICAÇÃO PARA RESIDÊNCIAS BRASILEIRAS

Um dos principais parâmetros para se calcular a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico é a Tarifa de energia, regiões com tarifas maiores garantem que um SFCR tenha um retorno financeiro mais rápido. A ANEEL é o órgão responsável por garantir um valor justo aos consumidores, criando um equilíbrio ao mercado.

A estrutura tarifária do setor elétrico brasileiro é dividida em duas classes: A e B. Os consumidores de classe A, correspondem aos que são atendidos pela alta tensão, acima de 2,3kV. Já os consumidores do grupo B, que será o foco deste trabalho, corresponde aos consumidores ligados a tensões inferiores a 2,3kV.

As contas de energia passaram, a partir de 2015, a aderir uma nova modalidade, o Sistema de Bandeiras Tarifárias, em que há um acréscimo ao valor destinado as distribuidoras decorrentes da diminuição dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas. Com isso um valor de acréscimo é cobrado para suprir os custos das termoelétricas que passam a entrar em funcionamento. O sistema é dividido por bandeiras: A verde, em que não há acréscimo na tarifa; a amarela em que a tarifa sofre um acréscimo de R\$ 0,01 para cada quilowatt-hora (kWh); a vermelha de patamar 1 em que a tarifa sofre acréscimo de

R\$ 0,03 para cada kWh e a vermelha de patamar 2 onde a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,05 para cada kWh consumido (ANEEL, 2018).

As informações na sequência são informações retiradas da página da ANEEL referente as parcelas dos valores que constituem uma tarifa residencial.

2.5.1 PARCELA A

Na Parcela A está embutida os custos relacionados com a aquisição de energia, sua transmissão e os encargos setoriais previstos por lei. Os custos de aquisição estão fora do gerenciamento das distribuidoras e são decorrentes da contratação de montantes de energia por meio dos leilões regulados, sendo assim, as distribuidoras contratam a quantidade de energia compatível com a demanda de seus consumidores.

Os custos referentes ao transporte da energia estão relacionados com o uso das instalações de transmissão das centrais geradoras, instalações de distribuição, conexões às redes das distribuidoras, uso da rede básica fronteira ou Demais Instalações de Transmissão (DIT) de uso compartilhado. A Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) é a tarifa que engloba essas necessidades de manutenção e ampliação, conforme Resolução Normativa ANEEL - REN nº 559/2013 a TUST é reajustada todo ano no mesmo período em que são reajustadas a Receita Anual Permitida (RAP) das concessionárias de transmissão.

Encargos Setoriais entende-se pelas contribuições, previstas por lei, que não se enquadram como tributos. Seus valores são estabelecidos pela ANEEL e cada encargo visa receber recursos para finalidades específicas dentro do setor elétrico nacional. Na Tabela 1, a seguir, é explicada a finalidade de cada encargo incluso na tarifa de energia.

Encargo	Pra que serve?
CCC - Conta de Consumo de Combustíveis (extinto pela MP 579, com principais atribuições encampadas pela CDE)	Subsidiar a geração térmica dos sistemas isolados (principalmente na região norte).
RGR - Reserva Global de Reversão (extinto pela MP 579, com principais atribuições encampadas pela CDE)	Indenizar ativos vinculados à concessão e fomentar a expansão do Setor Elétrico.
TFSEE - Taxa de fiscalização de Serviços de E. Elétrica	Prover recursos para o funcionamento da ANEEL.
CDE - Conta de Desenvolvimento Energético	Propiciar o desenvolvimento energético a partir das fontes alternativas; prover a universalização do serviço de energia; e subsidiar a tarifa dos consumidores residenciais de baixa renda.
ESS - Encargos de Serviço do Sistema	Subsidiar a manutenção da confiabilidade e estabilidade do SIN
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas	Subsidiar as fontes alternativas de energia, em geral mais caras que as fontes convencionais
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética	Promover pesquisas científicas e tecnológicas relacionadas à eletricidade e ao uso sustentável dos recursos naturais.
ONS - Operador Nacional do Sistema	Prover recursos para o funcionamento do ONS
CFURH - Compensação Financeira pelo Uso de Recursos Hídricos	Compensar financeiramente o uso da água e terras produtivas para fins de geração de energia elétrica

Tabela 1 – Encargos e suas finalidades Fonte: ABRADDEE (2018)

4.6.2 PARCELA B

Na parcela B estão os custos cujo a distribuidora gerencia, como seus custos operacionais, cota de depreciação, remuneração de capital e receitas irre recuperáveis. Esses custos estão sujeitos a uma revisão tarifária, processo que ocorre a cada 4 anos. Em meio

as revisões a Parcela B é atualizada ano a ano pelo índice de correção monetária, esse processo é chamado de Reajuste Tarifário.

Os Custos operacionais são os custos vinculados às atividades desde administrativas às de manutenção ou operação. Manutenção como podas de árvores e dispositivos de segurança queimados no sistema de distribuição também entram como custos operacionais. Estes custos estão incluídos na TUSD, a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição.

A Depreciação e a Remuneração dos investimentos dependem das taxas aplicadas sobre cada uma e do custo de capital. A ANEEL impõe regras a essas taxas através dos Procedimentos de Regulação Tarifária detalhados no documento: “Revisão Tarifária Periódica de Concessionárias de Distribuição”, Submódulo 2.3.

As receitas irrecuperáveis são aquelas que devido a inadimplência sobre a tarifa possui uma baixa expectativa de arrecadação. A ANEEL visando um equilíbrio econômico financeiro, elabora uma metodologia que dimensiona o percentual de inadimplência a ser reconhecido na tarifa cobrada.

3.4.2 TRIBUTAÇÃO

A tarifa paga pelo consumidor residencial é constituída a partir da tarifa cobrada pela concessionária, estabelecida pela ANEEL, na qual os encargos setoriais estão inclusos. A esta tarifa soma-se também, os tributos, PIS/COFINS, ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) e a contribuição para iluminação pública. Vale ressaltar que, somente o ICMS, varia de estado para estado e em alguns casos ele pode corresponder em até 30% da conta de luz.

3. METODOS E MATERIAIS

O estudo de viabilidade técnica e econômica de um projeto de geração de energia através de um sistema fotovoltaico é um estudo complexo que depende de muitas variáveis. Nas seções a seguir serão apresentados os métodos, parâmetros e os materiais utilizados na determinação das variáveis que serão usadas no dimensionamento e análise de viabilidade do projeto.

3.1 FLUXOGRAMA

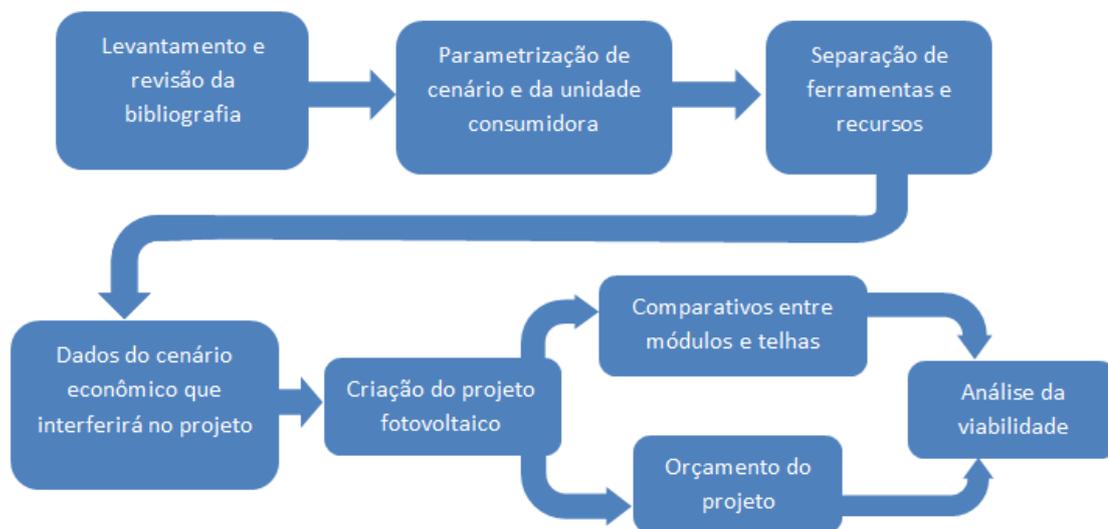


Figura 11 - Diagrama do Projeto Fonte: Autor (2018)

O Fluxograma apresentado na Figura 11 representa visualmente o processo metodológico utilizado durante este trabalho. Como base e início do processo foi realizado um levantamento de informações necessárias para o embasamento teórico. As próximas 3 etapas descritas no fluxograma serão abordadas nesta seção 3 do trabalho. Quanto as demais etapas abordadas, elas serão apresentadas durante a seção de resultados.

3.2 PARÂMETROS DA UNIDADE CONSUMIDORA

Os parâmetros da residência foram escolhidos usando a premissa de que o público alvo das telhas fotovoltaicas sejam clientes de classe média à alta, na sequência será detalhado como foi definido esses parâmetros.

3.2.1 LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O local da residência tem grande importância para o dimensionamento do SFV, pois a irradiação do local é um dos principais parâmetros quando se trata de geração de energia fotovoltaica. É frequentemente usado para representar o local, sua latitude e longitude, expressando exatamente sua posição no globo terrestre, desta forma, geralmente é possível utilizar a um banco de dados de irradiação provenientes de estações solarimétricas localizados nas imediações do local em questão, também pode ser usado atlas de potencial solar e softwares específicos que possuem dados de irradiação.

3.2.2 MODELO E POSICIONAMENTO DO TELHADO

Para esta etapa do projeto será utilizado o software SketchUp (Trimble Inc, 2000) a fim de que seja criado uma residência modelo para este projeto, será projetada uma estrutura com telhado suficiente para que seja alocado o SFV.

O posicionamento desejável a um telhado que irá receber um sistema fotovoltaico é que possua o ângulo de azimute da superfície com menor inclinação possível. O ângulo de azimute se define como o ângulo entre a projeção do eixo normal da superfície e a direção norte-sul, usando o norte geográfico como ponto de partida (0°), ele é representado pela sigla γ (*gamma*). A Figura 12 demonstra o ângulo de azimute de uma superfície.

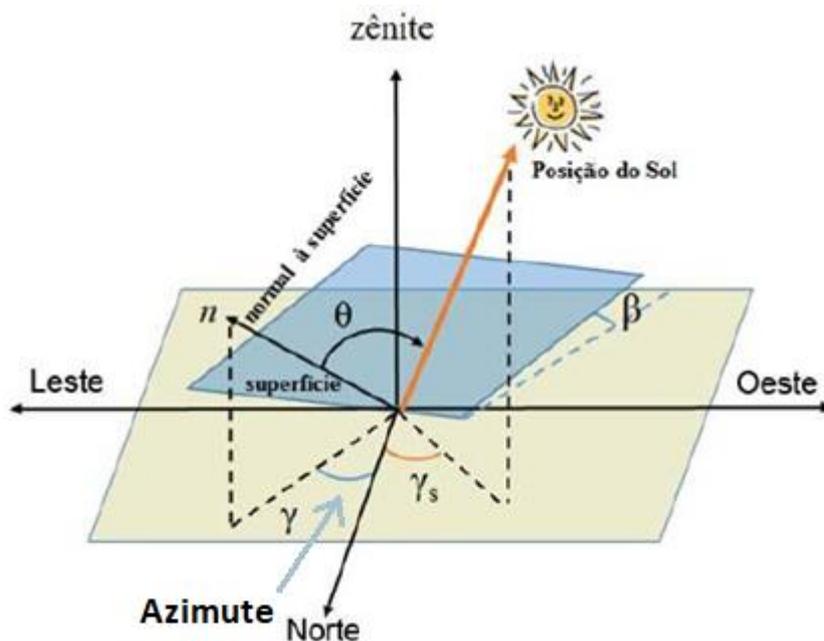


Figura 12 - Ângulo azimutal de uma superfície Fonte: CRESESB, 2014

Como a cidade de Curitiba está situada no hemisfério sul do globo terrestre, a posição solar está em maior parte do ano situada ao norte do local, com essa premissa quanto menor for a inclinação azimutal da aba do telhado maior a irradiação recebida ao longo do ano. A Figura 13 demonstra um exemplo de como se direciona o sol em uma residência localizada no hemisfério sul.

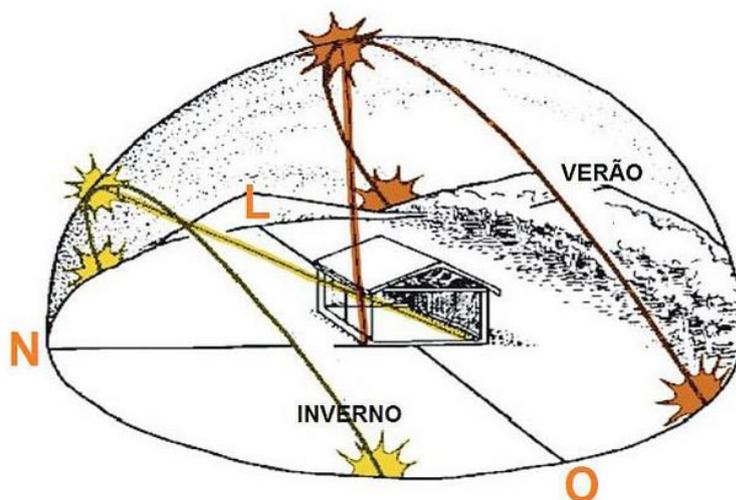


Figura 13 – Posição solar durante o ano Fonte: Portal Solar (2018)

Nota-se através da Figura 13 que o sol é predominantemente posicionado ao norte durante o ano, portanto, um ângulo azimutal da superfície do telhado próximo a 0° possui um melhor aproveitamento da irradiação solar.

3.2.3 DEMANDA DE CARGA

A demanda de carga é a variável que define o tamanho do sistema que será dimensionado para a residência. Para determinar uma estimativa de demanda de carga de forma simples é requisitado uma conta de energia da concessionária para uma residência equivalente em equipamentos e número de moradores. Através da conta mensal de energia é possível adquirir uma média anual com o histórico informado na conta.

Enfatizando que para novas residências as cargas com maior interferência na previsão de demanda são chuveiros elétricos, ar-condicionado, aquecedores e geladeiras.

3.2.4 RECURSO SOLAR

Neste trabalho a irradiação no local escolhido será coletada a partir da página do Atlas de energia Solar do Paraná (CIH, 2018), uma ferramenta interativa desenvolvida pelo CIH (Centro Internacional de Hidroinformática) e financiada pela Itaipu Binacional. Serão utilizados os valores de irradiação global horizontal no local a partir do Atlas e na sequência utilizado o software Radasol (UFRGS, 2001), desenvolvido pela Escola de Engenharia da UFRGS, para obter dados mais precisos para diferentes inclinações e variações no ângulo de azimute nas superfícies que receberão a irradiação solar.

3.2.5 SOMBREAMENTO

Um dos parâmetros que interferem a eficiência de um SFV é o sombreamento, obstáculos como árvores, chaminés, ou edifícios maiores próximos ao sistema de geração causam diminuição na geração dimensionada previamente para o sistema. Por isso deve

ser previsto quais as possibilidades do sistema ser sombreado em alguma época do ano para que haja fidelidade nos resultados.

Novamente usando o software SketchUp é possível reproduzir para qualquer hora durante o ano onde a edificação será sombreada por obstáculos da sua própria estrutura. Para utilizar essa funcionalidade do software é necessário colocar a localização e a posição da UC através das abas de comandos, desta forma a sombra resultante terá fidelidade ao posicionamento desejado da residência.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento de um SFV é o momento onde se define o tamanho do projeto e seus objetivos finais. Nessa fase da metodologia é necessário saber a geração dos equipamentos, a média de irradiação diária que incide sobre as telhas e a quantidade de energia a ser gerada para suprir a demanda. A potência instalada é muitas vezes representada por sua capacidade de pico de geração, com a unidade Wp (watt-pico), ela pode ser calculada através da equação (1) a seguir (CRESESB, 2014):

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

Onde:

P_{FV} – Potencia de pico do SFV [Wp]

E – Energia [Wh/dia]

TD – Taxa de Desempenho [adimensional]

HSP_{MA} – Média Diária Anual de HSP sobre o plano das telhas FV [h]

A taxa de Desempenho é definida pela relação entre o desempenho real sobre o máximo teórico possível. Nela está inclusa perdas por temperatura, eficiência do inversor de frequência, sujeira, incompatibilidade entre conectores e perdas por aquecimento de cabeamento. Esse valor para residências com SFCR bem ventilados e sem sombreamentos costuma ficar entre 70% e 80% (CRESESB, 2014).

A variável HSP é uma grandeza usada para expressar o valor de energia solar acumulado durante o dia, ela demonstra em quantas horas a energia acumulada no local

em questão durante o dia pode ser representada se normalizada em 1kW/m^2 . Exemplos de perfis de HSP são apresentados na Figura 14.

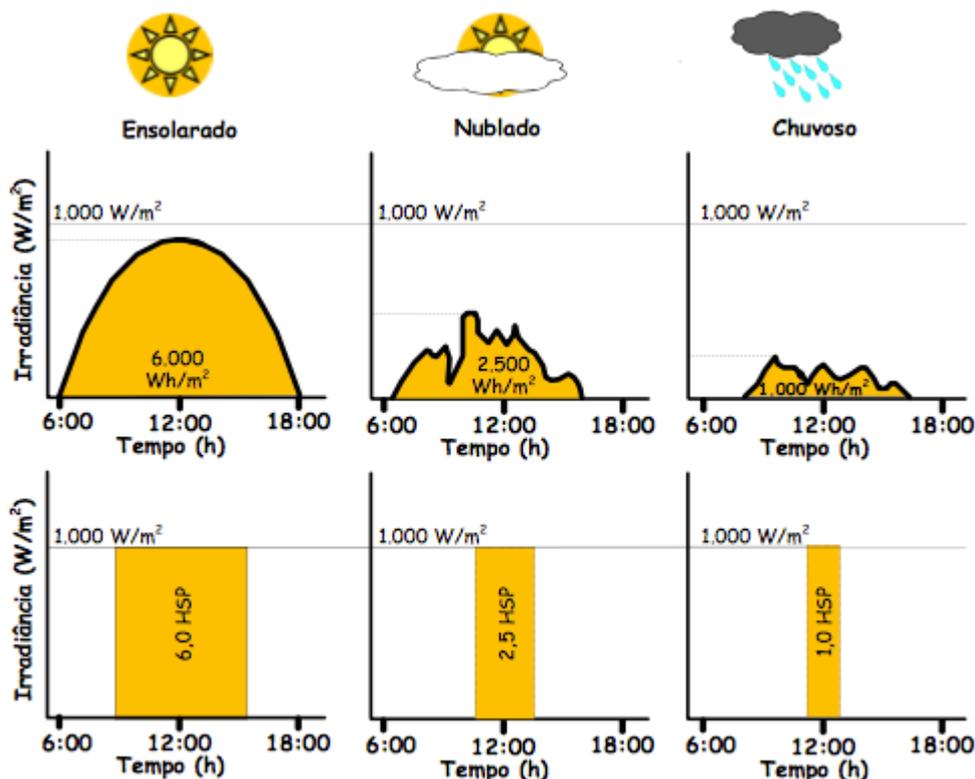


Figura 14 - Exemplo de radiação solar com valores equivalentes em HSP Fonte: CRESESB (2014)

3.4 PARÂMETROS DAS TELHAS FOTOVOLTAICAS

Para a definição da eficiência e da geração das telhas fotovoltaicas produzidas pela TESLA foi necessário um processo de engenharia reversa usando dados das calculadoras disponíveis no site da fabricante. Isso devido ao fato de que não foi divulgado oficialmente pela fabricante TESLA até a presente data de desenvolvimento deste relatório todas as especificações do equipamento de geração.

Assim sendo, o parâmetro necessário para dimensionamento é a geração das telhas por unidade de área, a engenharia reversa foi feita da seguinte forma: Primeiramente foi escolhido um endereço em um local nos Estados Unidos da América no qual os valores de irradiação são próximos ao da região escolhida para a residência

modelo. Foi escolhida a cidade de Nashville estado do Tennessee com GHI de valor médio mensal de 4,25 [kWh/m².dia].

Na sequência foi utilizada a calculadora do site para obter o valor que o sistema irá economizar mensalmente, e como resultado para o uso de uma parcela de 30% de um telhado de 250m² obtemos uma economia de \$71,00 mensais em preço de energia, valor em dólares. Usando a tarifa média da cidade de Nashville, TN o valor \$0,1033 por quilowatt-hora (SOLAR ENERGY LOCAL), podemos usar a equação (2) para adquirir o valor de Energia gerada:

$$PE = T * Eg \quad (2)$$

Onde:

PE - Preço da Energia [\$ (unidade monetária)]

T - Valor da Tarifa [\$/kWh]

Eg – Energia Gerada [kWh]

Obtemos então $Eg = 687,3$ kWh mensais em média. Como o resultado foi para 30% de um telhado de 250m², temos que 687,3kWh foi gerado mensalmente para uma área de 75m² de telhas fotovoltaicas, ou seja, 9,16 kWh/m² ou 305 Wh/m²/dia. Agora utilizando o valor de 75% como taxa de desempenho e aplicando a equação (1) podemos chegar a um valor de uma densidade de potência de pico da telha.

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{305}{0,75}\right)}{4,25} = 95,7 [Wp/m^2] \quad (3)$$

Juntamente com a potência máxima produzida, o grau de eficiência do equipamento é um parâmetro fundamental de comparação entre as diferentes tecnologias de geração de energia fotovoltaica. A representação matemática para definição da eficiência em geradores fotovoltaicos é representada através da equação (4) (CRESESB, 2014).

$$\eta = \frac{P_{MP}}{A \cdot G} \cdot 100\% \quad (4)$$

Onde:

η – Eficiência [%]

P_{MP} – Potência máxima [Wp]

A – Área [m²]

G – Irradiância Solar Incidente [W/m²]

Com o resultado em densidade de potência apresentado na equação (3) e aplicando os valores na equação (4), sob as condições STC, realizamos:

$$\eta = \frac{95,7}{1.1000} \cdot 100\% = 9,57\% \quad (5)$$

Chegamos a uma eficiência inferior às eficiências dos módulos fotovoltaicos, que podem chegar ao do dobro desse valor. Esse resultado era previamente esperado devido ao menor aproveitamento da relação espacial das células fotovoltaicas integradas a telha, diferente dos módulos em que é otimizado a disposição das células para maior geração.

Outro parâmetro técnico referente a telha fotovoltaica utilizada nesse trabalho é a forma de condução de eletricidade entre telhas. É utilizado uma pasta condutiva patenteada pela fabricante das telhas, TESLA. A figura 15 mostra uma imagem da patente do material usado entre os encaixes das telhas.

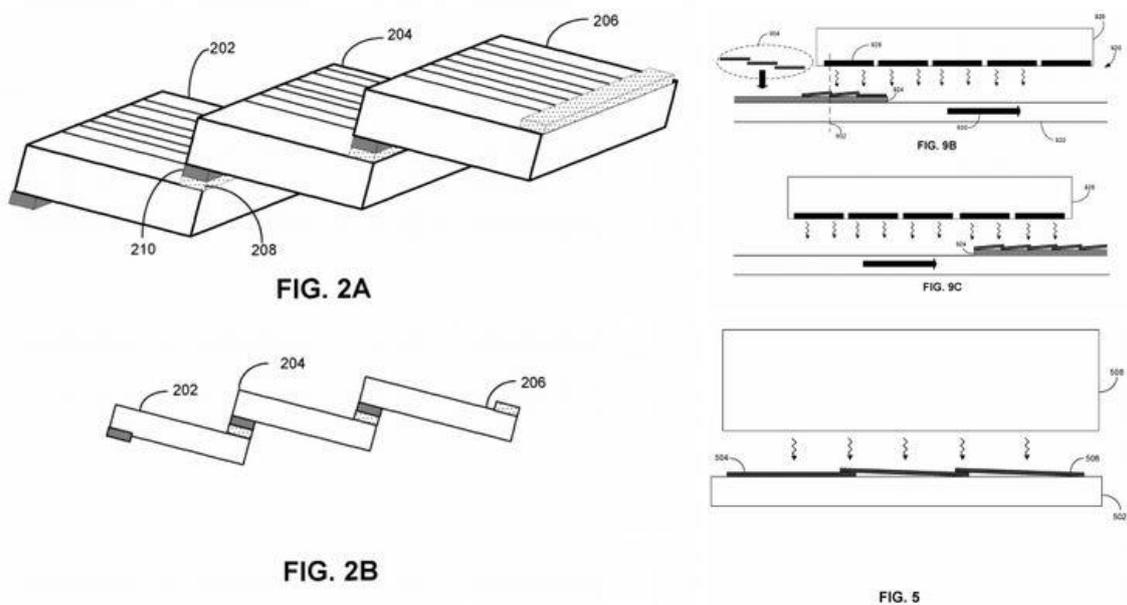


Figura 15 - Pasta condutiva entre telhas Fonte: *Free Online Patent* (2017)

3.4.1 PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO

Foi desenvolvida para dimensionar o SFCR uma planilha com o uso da ferramenta Excel do pacote Microsoft Office. Nela é colocada dados de entrada como a irradiação média mensal do local, histórico de consumo da UC, o número de fases da conexão proveniente da concessionária, taxa de desempenho do SFV, eficiência e potência das telhas. Como saída recebemos o tamanho da área destinada a geração juntamente com a análise mês a mês.

Com a ajuda dessa ferramenta é possível receber os resultados de geração por consumo mês a mês sabendo assim os meses que irão gerar créditos de energia, desperdícios e economia. A imagem da planilha pode ser vista em anexo.

3.4.2 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Dentro do SFV o inversor de frequência possui a função de condicionar a energia gerada pelas telhas a fim de que possa ser utilizada na residência ou injetada na rede de distribuição. Além da principal função, que é transformar a corrente contínua em corrente alternada, há também a função de anti-ilhamento, citada no item 2.2.3, e a sincronização com os parâmetros da rede de distribuição.

A maioria dos inversores no mercado hoje também contam com funcionalidades como compartilhamento dos dados de geração através de software ou aplicativos para aparelhos smartphones. Graças aos avanços da eletrônica de potência os inversores possuem eficiência de conversão acima de 95%.

A escolha do inversor de frequência para o SFV depende principalmente da potência máxima gerada pelo sistema gerador. Para encontrar a escolha apropriada do inversor deve ser calculado o fator de dimensionamento do inversor (CRESESB, 2014). O FDI representa a relação entre a potência nominal do inversor e a potência gerada conforme apresentado na equação (6).

$$FDI = \frac{P_{n,CA}}{P_{fv}} \quad (6)$$

Onde:

$P_{n, CA}$ - Potência nominal em CA do inversor [W]

P_{fv} - Potência gerada [W]

Um FDI ótimo se dá para uma faixa entre 0,75 e 1,2. Pode-se observar que um FDI inferior a 1 representa que a potência do arranjo é superior a potência nominal do inversor, isso se torna usual pelo fato de o painel dificilmente operar em sua região nominal, logo o mesmo operara com uma potência inferior à nominal (CRESESB, 2014).

Com a finalidade de não sobrecarregar uma única linha de entrada do inversor, a maioria deles possuem duas ou mais entradas de linhas, as *strings*, essas *strings* possuem internamente ao inversor diferentes MPPT's, Rastreadores de Ponto de Máxima Potência, que são dispositivos da eletrônica de potência que otimizam a energia que será convertida para CA no inversor.

3.4.3 SISTEMA DE PROTEÇÃO

O sistema de proteção de um SFVR consiste principalmente no uso de uma *string box*, um equipamento que aglomera nele os Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS's), disjuntores e aterramento de todo SFV tanto na parte CC quanto CA, como exemplificado na Figura 16. De forma adicional ao sistema deve ser utilizado uma sinalização correta e chaves seccionadoras para manutenção ou casos de emergência.

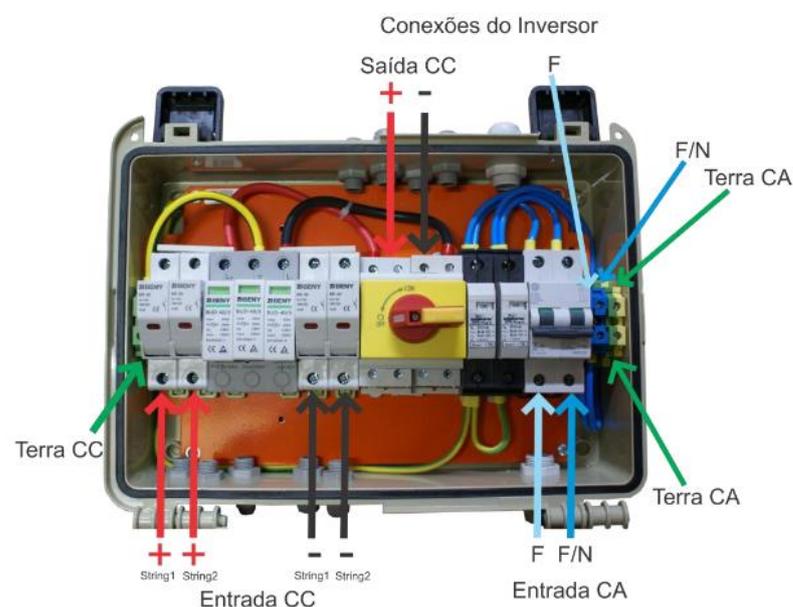


Figura 16 – String Box – Sistema de proteção Fonte: PHB (2018)

Algumas concessionárias exigem DPS's no padrão de entrada ou outras proteções que fazem parte das normativas, portanto, é necessário conhecer as normas de cada concessionária para adequar o projeto.

O dimensionamento do sistema de proteção é feito de acordo com as normas da NBR 5410 e as especificações do equipamento gerador e inversor. Na sequência será apresentada a metodologia de dimensionamento utilizada para a proteção do SFV.

Para o lado CC serão dimensionados, fusíveis para as duas polaridades, chave seccionadora e o DPS. O fusível tem o intuito de proteger e isolar o sistema de geração contra uma possível sobrecorrente. Mesmo que a maioria dos inversores já possuem internamente dispositivos de desconexão contra curto circuitos e sobre corrente, eles são colocados para uma proteção extra e de maior confiabilidade. Eles são dimensionados através da equação (7) (CRESESB, 2014):

$$I_{fusivel} = 1,5 * I_{SC} \quad (7)$$

Onde:

I_{SC} – Máxima corrente na string [A]

$I_{fusivel}$ – Corrente nominal máxima tolerável pelo fusível [A]

A chave seccionadora é um dispositivo feito para ser facilmente visível externamente quando ligada ou desligada, a fim de que seja possível dar manutenção com segurança ou abrir o circuito no caso de emergência. Ela é facilmente dimensionada, conforme a equação abaixo (8):

$$I_{nominal\ da\ chave} \geq I_{carga\ máxima} \quad (8)$$

O DPS do lado de Corrente contínua protege os equipamentos de surtos indiretos propagados na rede. Ele é ativado em momentos que ocorrem sobre tensões no sistema, seu dimensionamento é feito com o uso da equação (9):

$$V_{DPS} = 1,2 * V_{SF} \quad (9)$$

Onde:

V_{DPS} – Tensão máxima para o DPS entrar em funcionamento [V]

V_{SF} – Tensão máxima de circuito aberto para a string [V]

Para o lado CA temos o disjuntor do que funciona para isolar o SFV. Dimensionado através da equação (10) (CRESESB, 2014):

$$I_N \leq I_{DISJ,CA} \leq I_{CAP} \quad (10)$$

Onde:

I_N – Corrente de saída do inversor [A]

I_{CAP} – Corrente máxima suportada pelo cabo [A]

Já o DPS do lado CA é dimensionado através da seguinte equação (11):

$$V_{DPS} = 1,1 * V_{rede} \quad (11)$$

Onde:

V_{rede} – Tensão de linha da rede de alimentação do inversor [V]

3.5 PARÂMETROS ECONÔMICOS

Diversos parâmetros são envolvidos em um cálculo de viabilidade econômica, como no caso do presente trabalho demonstra o estudo dos custos de um material gerador produzido no exterior, outros custos como o frete e a conversão de moeda também serão

parâmetros. Na sequência será demonstrado algumas dessas variáveis que interferem na economia e no custo total do projeto.

3.5.1 FRETE

Como o produto atualmente é uma novidade no mercado e ainda não comercializado ou distribuído no Brasil, para a metodologia desse trabalho acadêmico foi optado por calcular a importação do produto via container. Para obter uma estimativa no custo do frete foi utilizado uma calculadora de fretes internacionais, *World Freight Rates*, para uma quantidade suficiente para um projeto residencial, foi resultado um valor entre \$350,00 e \$430,00, convertendo para reais, chegamos a um valor entre R\$1.197,00 e R\$1.470,00.

Incluindo valores dos transportes da fábrica na cidade de Buffalo, NY ao porto e do porto destinatário à cidade de Curitiba, PR, além de taxas adicionais como agente aduaneiro e diária de container ao porto, podemos chegar a um valor final adicionado ao custo do projeto de aproximadamente R\$2.200,00. Esse valor pode variar muito devido a diferentes empresas de frete, peso do produto e tamanho da caixa ou pacote em que será enviado. Por isso esse valor é considerado apenas para a estimativa da viabilidade econômica em um projeto residencial.

3.5.2 IMPOSTOS

Políticas públicas direcionadas a geração de energia através de fontes alternativas tem sido cada vez mais frequente em todo mundo. No Brasil não está sendo diferente, isenções em impostos em produtos para geração FV fomentam e viabilizam o mercado.

Através do decreto 6.233/2007 e 8.247/2014 é possível constar com detalhes quais os produtos incentivados. É completamente isento dos impostos de importação (II), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Contribuições do Programa de Integração Social (PIS) e de Financiamento da Seguridade Social (COFINS) em qualquer equipamento, aparelho, software, instrumentos, acessórios ou matéria prima que são usados para geração FV, sendo eles importados ou adquiridos no mercado local (MDIC).

3.5.3 VALOR DAS TELHAS E INSTALAÇÃO

O Preço das telhas fotovoltaicas foi retirada através da página da empresa fabricante (TESLA, 2017), como uma expectativa de preço final ao consumidor, no valor de \$21,85 por pé quadrado, ao converter para metros quadrados e multiplicado pela taxa de cambio, R\$3,42 na data de 20 de abril de 2018, chegamos ao valor de R\$804,35 por m². O valor da pasta condutiva utilizada na instalação do equipamento gerador é incluído nesse montante.

A mão de obra para SFV deve ser qualificada e possuir os cursos das normas regulamentadoras tanto para Trabalho em alturas (NR 35) quanto para trabalhos com eletricidade (NR 10). Para SFV convencionais, com o uso de módulos, o custo da instalação do sistema costuma ficar entre 8% e 11%, se tratando de um sistema com o uso de telhas fotovoltaicas devido novidade do produto, para custos relacionados ao projeto desse trabalho acadêmico será considerado 11% do valor do projeto.

Outro parâmetro econômico importante é o valor das telhas não fotovoltaicas que serão economizadas no projeto, telhas semelhantes ao modelo gerador da TESLA. No Brasil as telhas similares custam entre R\$60,00 e R\$80,00 por m², incluindo o valor de sua instalação. Portanto, para o projeto será considerado o valor da média, R\$70,00 por m².

3.5.4 TARIFA DE ENERGIA

O valor da tarifa tem grande importância no cálculo da viabilidade econômica, o aumento dos valores tarifários fomenta o mercado de geração alternativa como a fotovoltaica e torna investimentos na área viáveis.

A tarifa vigente para clientes de Classe B1 (Residencial), para consumidores atendidos pela distribuidora COPEL, seguem a Resolução ANEEL N° 2.255, desde junho de 2017, com o valor de R\$ 0,44056 por kWh. Com a incidência dos impostos: ICMS e PIS/COFINS o valor final da tarifa é de R\$ 0,69118 (COPEL, 2018).

3.6 CONCEITOS ECONÔMICOS

Alguns conceitos econômicos serão utilizados durante toda a análise de viabilidade econômica como forma de avaliar os investimentos de capital, através de alguns desses conceitos é possível decidir a viabilidade de um investimento. Na sequência serão apresentados os principais termos que serão usados no restante do trabalho.

3.6.1 CAPEX

CAPEX, vem da expressão inglesa *capital expenditure*, que, em português, significa as despesas de um investimento em capital. Portanto, é o conceito que expressa o montante de dinheiro gasto na aquisição de bens em um investimento.

No caso específico de energia solar, CAPEX está relacionado com a compra do material gerador, inversor de frequência, sistema de proteção, cabeamento e seu valor de instalação.

3.6.2 OPEX

OPEX, sigla da expressão inglesa *operational expenditure*, que, em português designa o custo referente à manutenção dos equipamentos e aos gastos e despesas operacionais necessários ao bom funcionamento.

Em um gerador solar, o OPEX está relacionado com a limpeza do telhado ou da superfície que recebe a irradiação solar, ou também, podas de árvores que sombreiam o local gerador.

3.6.3 PAYBACK

Payback é o período de tempo necessário para que o investidor readquira o investimento inicial feito no projeto, medindo através das entradas de caixa. No caso desse trabalho, em que os períodos de viabilidade econômica são calculados anualmente, o *payback* pode ser encontrado dividindo-se o investimento inicial pela entrada de caixa anual.

Payback é um método bastante utilizado como indicativo em investimentos em energias alternativas, apontando que, quanto mais rápido o retorno sobre o investimento inicial, mais atrativo é o investimento.

Para Souza (2007) existem duas condições para o *payback*, o *payback* simples, em que não é aplicado qualquer taxa de desconto sobre os valores de entrada de caixa. E o *payback* descontado, que trata das entradas de caixa futuras apresentadas sob valores presentes.

3.6.4 VPL

A maioria dos investidores empregam o conceito do VPL para tomadas de decisões. Isso ocorre devido ao conceito considerar os fluxos de caixa esperados do projeto juntamente com o valor do capital no tempo, considerando taxas de juros. Ou seja, para cada período o VPL traz um valor representado no ano zero descontado a uma taxa base, a TMA. Quanto maior o VPL de um projeto no final do período desejado, maior o retorno em capital.

Para tomadas de decisões é feito que:

- Se $VPL > R\$ 0,00$ o projeto é aceito.
- Se $VPL < R\$ 0,00$ o projeto será rejeitado

3.6.5 TMA – Taxa Mínima de Atratividade

A taxa mínima de atratividade é a melhor taxa com baixo nível de risco disponível para aplicação de capital. Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2000), caso possua uma proposta de investimento é necessário que seja analisado o fato de se estar perdendo a chance de ter retornos pelo aproveitamento do mesmo investimento em outros projetos. Portanto, para que um investimento se torne atrativo, a proposta precisa render, no mínimo, um percentual equivalente ao rendimento das aplicações correntes e de pouco risco. No Brasil as taxas mais utilizadas como TMA são os Certificados de Depósito Bancário (CDB), títulos do tesouro direto e a tradicional poupança.

3.6.6 TIR – Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno é a taxa que representa o retorno do investimento ao longo do tempo a partir de determinado fluxo de caixa do projeto. É a taxa em que relaciona o VPL do projeto com o investimento feito inicialmente para determinado período. É considerado um projeto viável e atraente aquele que possui o TIR acima da TMA. Ou seja, no caso de uma diferença negativa entre as taxas TIR e TMA o projeto é visto como inviável.

3.6.7 FLUXO DE CAIXA

Fluxo de caixa são os valores em moeda que refletem as entradas e saídas dos recursos por um determinado período de tempo que constituem uma proposta de investimento. É o instrumento que permite ao administrador financeiro planejar, organizar, coordenar, dirigir e controlar os recursos financeiros para determinado período.

3.7 SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA PARA RESIDÊNCIAS

Nesta etapa será exposta algumas maneiras sustentáveis aplicáveis em edificações residenciais, a fim de que seja possível diminuir custos com energia e água além de poder receber a certificação, ou selo Procel.

Por exemplo, a envoltória de uma residência, ou seja, a parte da edificação que está em contato com a área externa, é um dos pontos de maior valor quando se trata de uma edificação eficiente energeticamente. Fachadas ou coberturas com materiais opacos ou translúcidos servem para um maior aproveitamento da iluminação externa para a residência.

Abaixo na Tabela 2 é apresentado os principais critérios de eficiência considerados para obtenção de um selo Procel Edifica.

ENVOLTÓRIA	Como a edificação aproveita a ventilação e iluminação externa para o bem-estar de seus ocupantes.
ILUMINAÇÃO NATURAL	Arranjo das janelas e outras aberturas para aproveitamento da iluminação solar.
ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	É considerado a potência e a eficiência das luminárias dos ambientes.
CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL DO AR	É levado em consideração a quantidade, potência e eficiência de acordo com a etiqueta do PBE.
ELETRODOMÉSTICOS	O uso de aparelhos etiquetados com boa eficiência energética.
AQUECIMENTO DE ÁGUA	Uso de coletores solares para aquecimento da água utilizada

USO RACIONAL DE ÁGUA

É levado em consideração se a residência possui cisternas de armazenamento e condições para seu uso.

Tabela 2 – Soluções de eficiência aplicáveis em residências Fonte: INMETRO (2018)

Iniciativas como as listadas acima não são somente satisfatórias para ser certificado como também para economia, pequenos detalhes no projeto de sua residência podem transformar em uma grande economia a longo prazo.

4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA

O local definido para esse projeto foi escolhido arbitrariamente respeitando a condição de ser em um bairro predominantemente residencial dentro da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). A região escolhida para o projeto, ao sul do bairro Santa Felicidade, possui diversos condomínios fechados compatíveis com a classe econômica do público alvo. A latitude no local é de 49,334° Sul e longitude de 25,417° Oeste, posição a 973 metros de altitude.

4.2 MODELO E POSICIONAMENTO DO TELHADO

Como a nova casa seria desde sua concepção planejada para ser uma residência eficiente energeticamente, o modelo foi criado com estrutura para telhado espaçosa e com inclinação próxima a inclinação da latitude do local, no caso 25°, garantindo assim uma boa eficiência. A Figura 17 representa o modelo de residência criado para o projeto em questão.

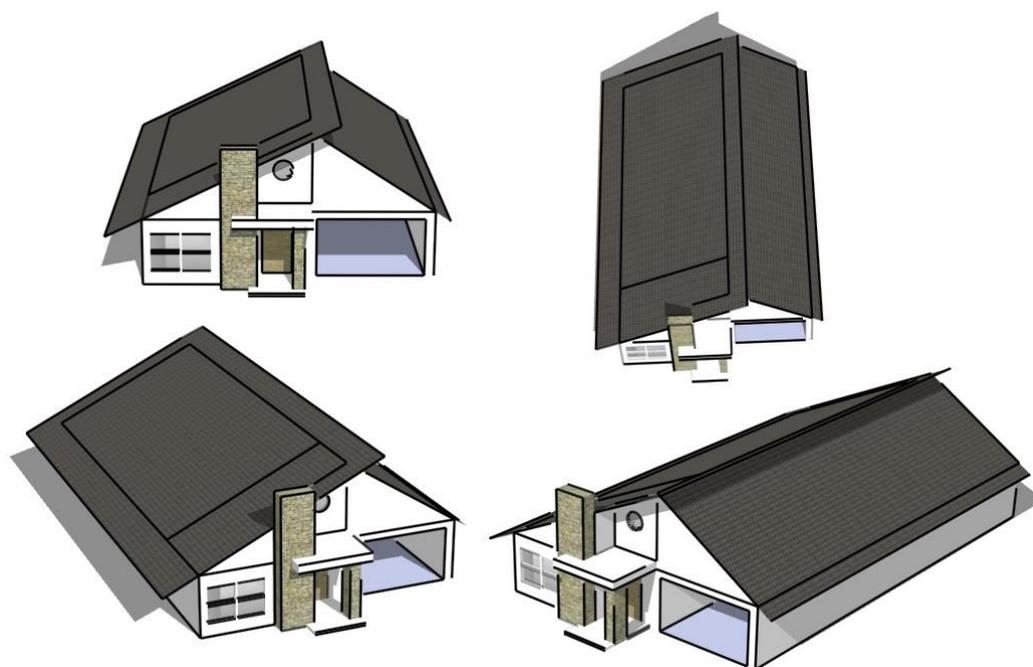


Figura 17 – Residência Modelo Fonte: Autoria própria (2018)

Outro ponto que foi levado em consideração foi o ângulo de azimute da aba norte do telhado. Como nem sempre é possível um projeto com ângulo de azimute em 0° foi considerado que a casa modelo estudada possui a maior aba do telhado com ângulo de azimute em 7° , tal como é mostrado na Figura 18.

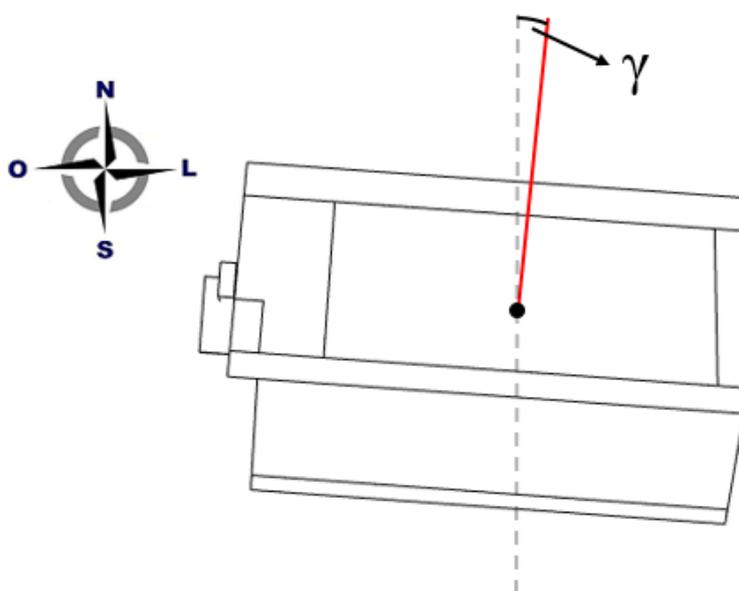


Figura 18 – Ângulo de Azimute Fonte: Autoria Própria (2018)

4.3 DEMANDA DE CARGA

Para o dimensionamento do SFV que será realizado nesse trabalho será utilizado a demanda da residência do autor deste trabalho no qual possui 3 moradores adultos e 2 crianças, chuveiro a gás, portanto, sem consumo de eletricidade, com ar condicionado quente e frio nos quartos. Na sequência é demonstrada na Figura 19 a conta de energia que será usada como referência no estudo de caso deste trabalho. Nota-se que há um aumento visível no consumo em meses onde há uma maior necessidade de aquecedores, junho e julho.

Informações Técnicas												
No. Medidor: 0293443824 - TRIFASICO						Mes Referência: 06/2017						
Leitura Anterior 16/06/2017 61271	Leitura Atual 14/06/2017 52025	Medido 29 dias 754 kWh	Constante de Multiplicação 1,00	Total Faturado 754 kWh	Consumo Medio/Dia 26,00 kWh	Data Apresentação 14/06/2017						
Proxima Leitura Prevista: 17/07/2017						RESIDE/RESIDENCIAL						
Indicadores de Qualidade												FS [1.7.74.2]
Conjunto: UBERABA			Mes 04/2017				Tensão Contratada:					
	DIC	FIC	DMIC	EUSD (R\$)	127 / 220 volts							
Realizado Mensal:	0,00 h	0,00	0,00 h	120,51	Limite faixa adequada de Tensão:							
Limite Mensal:	4,59 h	3,11	2,52 h		117 - 133 / 202 - 231 volts							
Limite Trimestral:	9,19 h	6,22										
Limite Anual:	18,38 h	12,45										
MES	05/17	04/17	03/17	02/17	01/17	12/16	11/16	10/16	09/16	08/16	07/16	06/16
CONS	863	634	813	775	472	560	484	653	653	677	724	907
PGTO		16/06	28/04	27/03	23/02	27/01	14/12	14/11	27/10	15/09	10/08	13/07
Valores Faturados												
NOTA FISCAL CONTA DE ENERGIA ELETRICA no. 2469997 Serie B												
Emitida em 14/06/2017												
Produto	Descricao	Un.	Consumo	Valor Unitario	Valor Total	Base de Calculo	Aliq. ICMS					
01	ENERGIA ELETRICA CONSUMO	kWh	754	0,643050	484,86	484,86	29,00%					
02	ENERGIA CONS. B. VERMELHA	kWh			18,07	18,07	29,00%					
03	CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPI				49,26							
04	MULTA SOBRE ILUMINACAO PUBLI				0,84							
05	MULTA POR ATRASO NO PAGAMENT				8,23							
06	JUROS CONTA ANTERIOR				0,96							
07	GOTINHA Q SALVA 08006456900				10,00							
Base de Calculo do ICMS:		502,93	Valor ICMS:		145,85	Valor Total da Nota Fiscal:		672,21				

Figura 19 – Conta de energia usada como referência

Fonte: Autor (2018)

4.4 RECURSO SOLAR NO LOCAL

Através do mapa interativo, o Atlas solar Paranaense, foi coletado os valores de irradiação Global Horizontal (GHI) no local determinado. A Tabela 3 abaixo mostra os dados de GHI retirados do Atlas solar, os valores são médias diárias mensais em kWh/m².dia.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
5,25	5,16	4,56	3,8	3,03	2,73	2,9	3,92	3,85	4,42	5,3	5,61	4,21

Tabela 3 – Irradiação Global Horizontal no local definido Fonte: Autor (2018)

Na sequência é utilizado esses dados de irradiação no software Radiasol para que fosse calculado qual o aproveitamento em diferentes inclinações e ângulos de azimute.

		Ângulo de Azimute												
		-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
INCLINAÇÃO	0°	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%	94,2%
	5°	97,6%	98,0%	98,3%	98,6%	98,8%	99,0%	99,0%	99,0%	98,8%	98,6%	98,3%	98,0%	97,6%
	10°	97,0%	97,7%	98,4%	99,0%	99,4%	99,7%	99,8%	99,7%	99,4%	99,0%	98,4%	97,7%	97,0%
	15°	96,0%	97,1%	98,1%	98,9%	99,5%	99,9%	100,0%	99,9%	99,5%	98,9%	98,1%	97,1%	96,0%
	20°	94,7%	96,1%	97,3%	98,4%	99,1%	99,6%	99,8%	99,6%	99,1%	98,4%	97,3%	96,1%	94,7%
	25°	92,9%	94,6%	96,1%	97,3%	98,3%	98,8%	99,0%	98,8%	98,3%	97,3%	96,1%	94,6%	92,9%
	30°	90,8%	92,7%	94,4%	95,8%	96,9%	97,5%	97,7%	97,5%	96,9%	95,8%	94,4%	92,7%	90,8%
	35°	88,3%	90,4%	92,3%	93,8%	94,9%	95,6%	95,9%	95,6%	94,9%	93,8%	92,3%	90,4%	88,3%
	40°	85,5%	87,8%	89,7%	91,4%	92,5%	93,3%	93,5%	93,3%	92,5%	91,4%	89,7%	87,8%	85,5%
	45°	82,4%	84,8%	86,8%	88,5%	89,7%	90,4%	90,7%	90,4%	89,7%	88,5%	86,8%	84,8%	82,4%
	50°	79,1%	81,5%	83,5%	85,2%	86,4%	87,1%	87,4%	87,1%	86,4%	85,2%	83,5%	81,5%	79,1%
	55°	75,5%	77,8%	80,0%	81,5%	82,7%	83,5%	83,7%	83,5%	82,7%	81,5%	80,0%	77,8%	75,5%
60°	71,7%	74,1%	76,1%	77,6%	78,7%	79,4%	79,7%	79,4%	78,7%	77,6%	76,1%	74,1%	71,7%	

Tabela 4 – Aproveitamento para diferentes inclinações e azimutes Fonte: Autoria Própria (2018)

Observando a Tabela 4 é possível notar que para baixas inclinações de superfícies menor a influência do ângulo de azimute sobre a eficiência da irradiação no local, já para ângulos de telhados acima de 40° ocorre uma perda significativa de aproveitamento do sistema.

O melhor caso de aproveitamento da irradiação para o local do estudo de caso, ocorre para um ângulo de azimute em 0° e inclinação do telhado em 15° , com o valor de média diária anual de $4,45 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$, a Tabela 4 utiliza o valor desta situação para normalização dos demais.

4.5 SOMBREAMENTO

Nesta etapa foi utilizado o software SketchUp para analisar se durante o ano algum sombreamento ocorreria na aba do telhado que receberia o sistema.

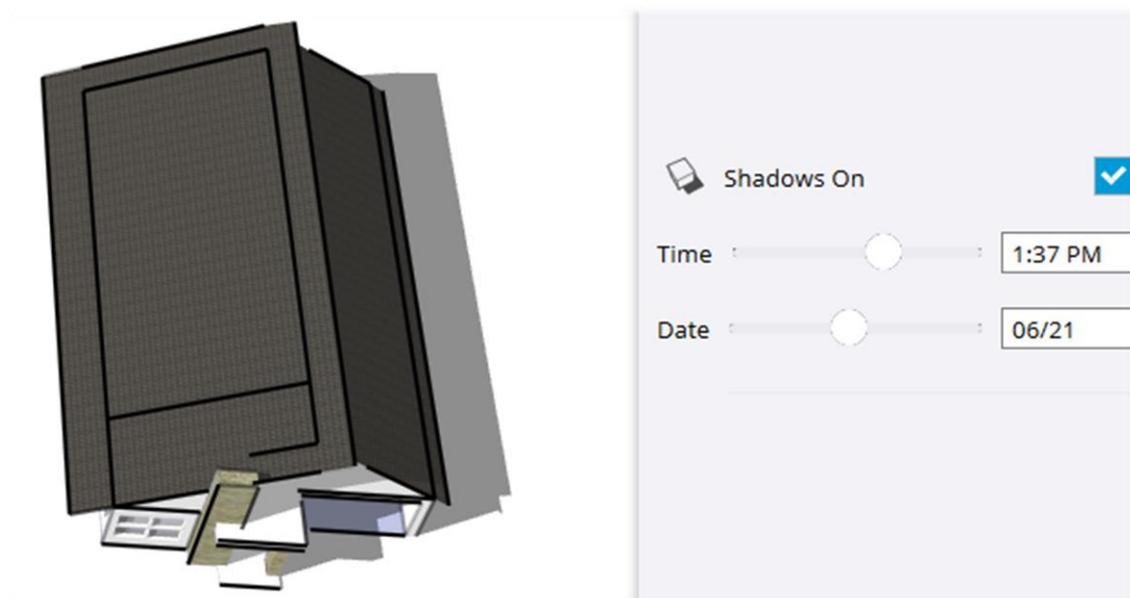


Figura 20 – Função de sombreamento, SketchUp Fonte: Autor (2018)

Foi separado uma área no telhado da casa modelo em que é minimizado ou anulado o surgimento de sombras. O local da residência escolhido como parâmetro no trabalho não possui grandes prédios ou grandes torres, portanto, o sombreamento será mínimo nesse caso. A Figura 20, mostra como é feito o controle da função de sombras no software, dando a opção de escolher qualquer horário e data durante o ano.

4.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do SFV foram consideradas três casos de estudo: i) o caso em que é gerado 100% do que é consumido na UC; ii) o caso com sistema maior, porém, sem que haja qualquer desperdício pela taxa da disponibilidade da distribuidora e iii) o caso com um melhor tempo de retorno financeiro.

A) Caso i

Dimensionando o sistema através da equação (1) chegamos que para a potência pico necessária para suprir 100% da demanda é de 6,6 kWp, sendo necessários 69 m² de telhas FV. A Figura 21 demonstra o resultado mês a mês para o sistema de 6,6 kWp, é possível perceber que há desperdícios consideráveis para essa primeira opção.

Por exemplo, para o mês de janeiro: O consumo foi de 472 kWh, para uma geração de 725 kWh, nesta situação foi gerado um crédito de 253 kWh, porém, devido a taxa de disponibilidade foi faturado 100 kWh, sendo assim, como o valor faturado não foi realmente consumido, ele entra como desperdício na contabilidade do dimensionamento.

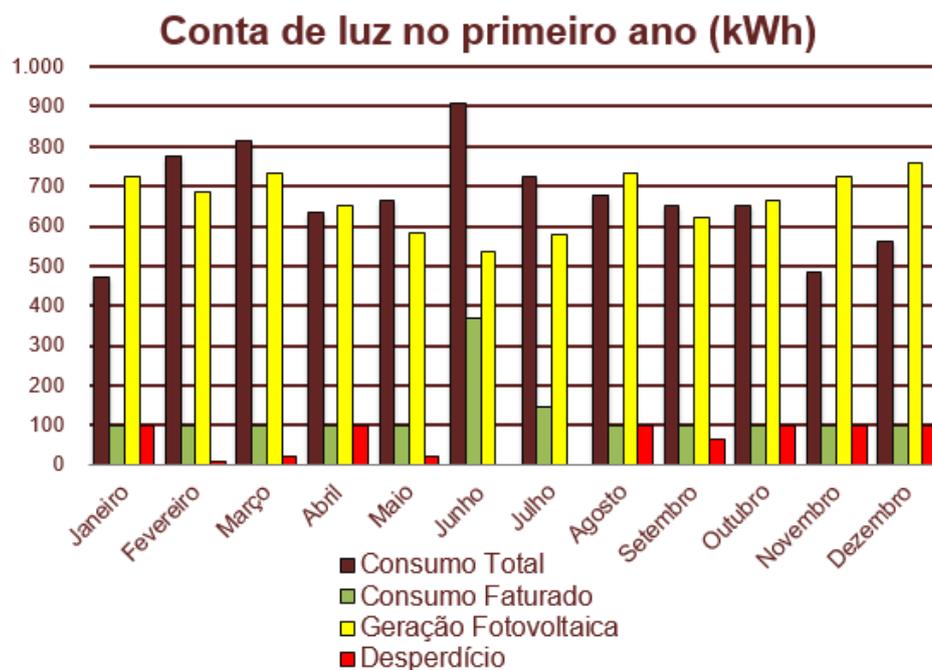


Figura 21 – Resultado do dimensionamento para 100% Fonte: Autoria própria (2018)

B) Caso ii

No caso ii é considerada a opção do SFV sem desperdícios para a demanda apontada nesse estudo de caso. Para este caso é calculado qual seria o sistema sem desperdícios para cada mês, através da equação (12):

$$P = \frac{C_T - T_{DIS}}{D_M * HSP_D * TD} \quad (12)$$

Onde:

P – Potência do sistema gerador [kWp]

C_T – Consumo total durante o mês [kWh]

T_{DIS} – Taxa de disponibilidade da UC [kWh]

D_M – Número de dias durante o mês

HSP_D – Média diária de Horas de Sol Pleno durante o mês [kWh/m²]

TD – Taxa de Desempenho [adimensional]

Após o cálculo mês a mês é escolhido o sistema de menor potência, desta forma não haverá desperdício durante qualquer mês do ano. No estudo de caso deste trabalho o mês em que ocorreu o pior caso foi o mês de janeiro que pode ser exemplificado através da equação (13):

$$P = \frac{472 - 100}{31 * 4,72 * 0,75} = 3,39 \text{ kWp} \quad (13)$$

Resultando em um sistema de 3,39 kWp, ou seja, 35,4m² de telhas FV. Aplicando a equação (1) podemos obter o valor de energia gerada pelo sistema dimensionado durante todo o ano através da equação (14):

$$3390 = \frac{\left(\frac{E}{0,75}\right)}{4,43} \rightarrow E = 4.111,1 \text{ kWh} \quad (14)$$

Somando o consumo de todos os meses, e realizando a relação da energia gerada por este consumo este caso gera uma quantidade equivalente a 51,3% da energia consumida pela UC durante o ano. Na Figura 22 podemos visualizar o sistema dimensionado sem desperdícios por taxa de disponibilidade.

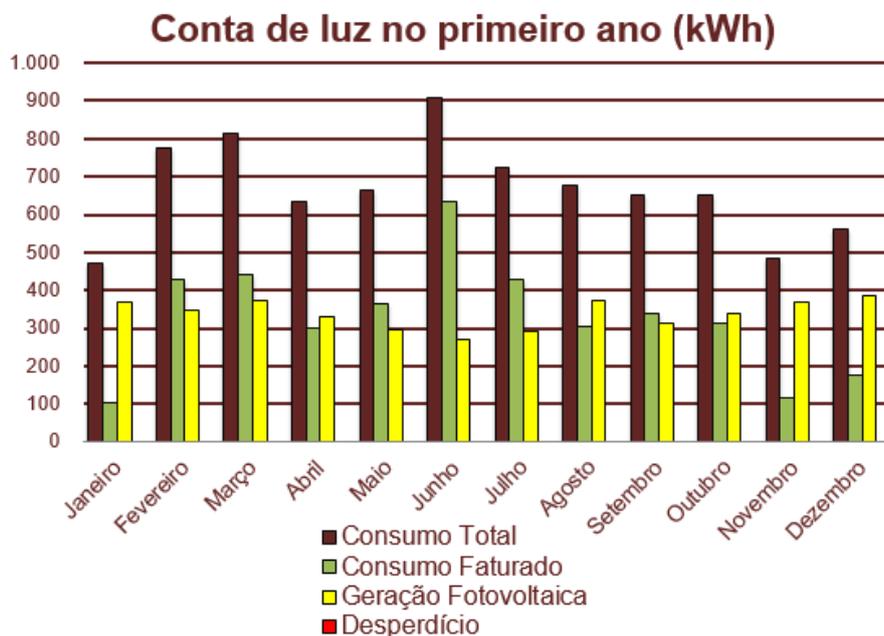


Figura 22 – Dimensionamento sem desperdício Fonte: Autoria própria (2018)

C) Caso iii

O terceiro e último caso foi levado em consideração o tempo de *payback* resultante para o investimento no projeto. Para isso foi utilizado como custo apenas o valor do m² das telhas fotovoltaicas em adição com o valor do inversor adequado, de forma a definir um tamanho de sistema mais atraente economicamente. Os melhores resultados se encontraram para um sistema com uso de uma área de telhas fotovoltaicas entre 55m² e 61m².

Para realização deste estudo de caso foi determinado um valor intermédio a esse intervalo, 58 m². Nesse caso o SFV possui uma potência instalada resultante de 5,55 kWp sendo capaz de gerar 83,9% da demanda de carga da UC. A Figura 23, que representa o resultado do dimensionamento, é possível notar que ainda há desperdícios, porém, minimizados em comparação ao dimensionamento que gera 100% da demanda apresentado na Figura 21.

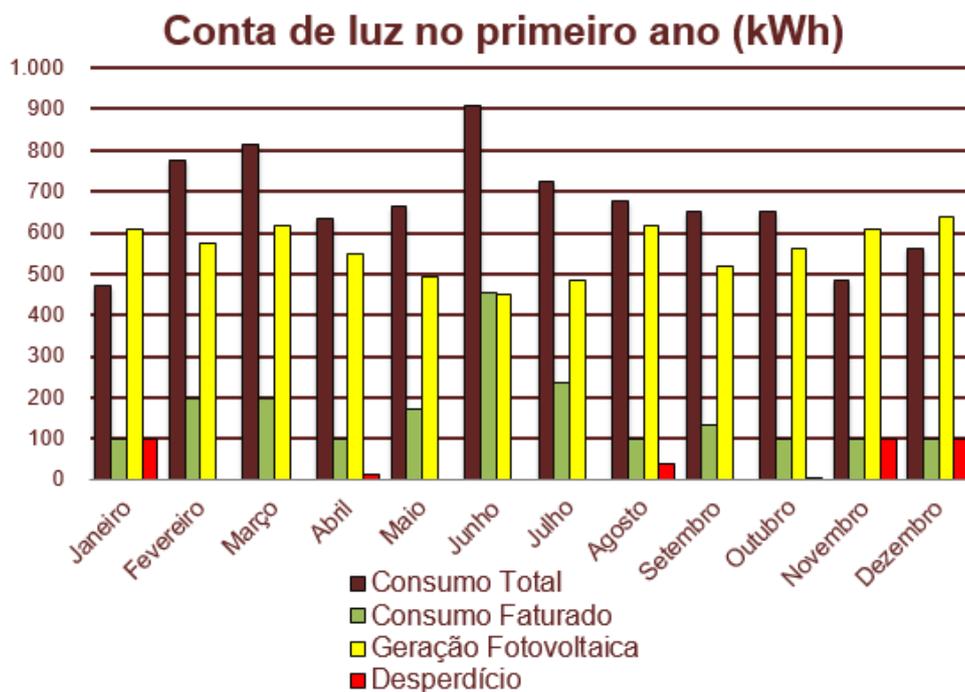


Figura 23 – Dimensionamento para Estudo de Caso Fonte: Autoria própria (2018)

Para o prosseguimento deste estudo de caso foi escolhido o caso iii, já que possuía um melhor retorno financeiro. Desta forma todas seções seguintes serão consideradas e desenvolvidas para um sistema de 5,55 kWp.

4.6.1 ESCOLHA DO INVERSOR

Na escolha do inversor é levado em conta parâmetros técnicos como, tensão e corrente máxima por MPPT (rastreador de máxima potência), potência nominal do sistema fotovoltaico e custo unitário do inversor.

Após ser definida a potência instalada do SFV, foi comparado alguns inversores do mercado, sendo que, seja escolhido o de menor custo unitário, desde que ele se enquadre com as necessidades do sistema do estudo de caso.

Abaixo a Figura 24 demonstra alguns inversores que se enquadram na proposta com suas especificações:



Marca	Fronius	Fronius	ABB	ABB
Modelo	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PVI-4.2-TL-OUTD	PVI-5000-TL-OUTD
Potência Nominal de Saída (W)	5000W	6000W	4200W	5000W
Maior Valor da Faixa de MPP (V)	800V	800V	580V	530V
Eficiência Máxima (%)	98%	98%	96%	97%
Garantia	5 anos	5 anos	5 anos	5 anos
Preço	R\$7.998,00	R\$9.690,00	R\$9.520,00	R\$9.525,00

Figura 24 – Escolha do inversor de frequência Fonte: Autoria própria (2018)

Foi escolhido para uso no devido estudo de caso a opção de menor custo, o modelo PRIMO 5.0-1 da marca Fronius, devido ao seu menor custo e por suas especificações técnicas serem adequadas ao dimensionamento considerado e por estar adequado ao critério do FDI explicado na seção 3.4.2.

4.7 PROJETO MULTIFILAR

Foi realizado o projeto multifilar para o SFCR na plataforma CADe juntamente com um plug-in de banco de dados de módulos (emulando telhas fotovoltaicas) e inversores para SFV, o PV SUITE (2017). O projeto criado para esse estudo de caso, com o uso de telhas fotovoltaicas, possui uma potência de instalação de 5,55 kWp que por sua vez é capaz de suprir 83,9% da demanda da residência. O Projeto também abrange o dimensionamento do sistema de proteção e dos cabos para as devidas conexões, ele está disponível em anexo a este documento.

4.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

Primeiramente para o cálculo de viabilidade econômica foi realizado o dimensionamento técnico do sistema, na sequência foi levantado os custos dos equipamentos utilizados no projeto, na Tabela 5 é exposto os custos relacionados ao projeto FV.

EQUIPAMENTO	PREÇO UNITARIO	QTD.	MODELO	PREÇO PARCIAL
TELHAS FV (m ²)	R\$804,35	58	TESLA	R\$46.652,30
FRETE	R\$2.088,41	1	-	R\$2.088,41
INVERSOR	R\$7.998,00	1	PRIMO 5.0-1	R\$7.998,00
INSTALAÇÃO	R\$5.131,73	1	-	R\$5.131,73
FUSIVEL	R\$2,57	12	16A FDW-16S WEG	R\$30,84
DPS CC	R\$130,00	2	1000V/CC 40KA	R\$260,00
DPS CA	R\$54,50	1	275VCA SLIM CLIMPER	R\$54,50
DPS CLASSE 1	R\$54,00	4	175V SLIM CLIMPER	R\$216,00
DISJUNTOR CA	R\$11,76	2	1X40A 5SX1 140-7	R\$23,52
BORNE	R\$5,43	2	3 1422FP Lorenzetti	R\$10,86
STRING BOX	R\$134,25	1	913406 Cemar	R\$134,25
ELETRODUTOS	R\$3,22	50	-	R\$161,00
CHAVE SECCIONADORA	R\$270,00	2	20A ROTATIVA	R\$540,00
CABO 4mm ² (m)	R\$5,20	60	-	R\$312,00
CABO 10mm ² (m)	R\$6,83	35	-	R\$239,05
TELHAS NÃO FV	-R\$95,00	58	-	-R\$5.510,00
TOTAL				R\$58.342,46

Tabela 5 – Custos dos equipamentos e materiais para o projeto Fonte: Autor (2018)

Na próxima etapa é levantado os valores dos parâmetros que interferem na viabilidade econômica do projeto. A Tabela 6 mostra os parâmetros que foram considerados na proposta.

Tarifa com encargos	0,6911	R\$/kWh
Reajuste da tarifa	9%	ao ano
Degradação no 1º ano	2,5%	
Degradação após o 1º ano	0,7%	ao ano
Manutenção (OPEX) - % do CAPEX	0,5%	ao ano
Reajuste OPEX	10%	ao ano
Juros (TMA)	8,00%	ao ano

Tabela 6 – Parâmetros considerados na análise econômica Fonte: Autor (2018)

Utilizando esses parâmetros na planilha de estudo de viabilidade, obtém-se a Tabela 7, onde é mostrado os resultados ano a ano dos valores de fluxo de caixa, ao longo da vida útil do sistema. Para os resultados desta tabela foi considerado o uso de capital próprio.

Geração			Receitas		Despesas			Fluxo de Caixa		
Ano	Geração útil	Tarifa	Reembolso	CAPEX	OPEX	TOTAL		FC anual	FC Descontado	FC Acumulado
0	-	0,69	-	(58.342,46)	-	(58.342,46)	(58.342,46)	(58.342,46)	(58.342,46)	(58.342,46)
1	6.362,66	0,75	4.792,99	-	(291,71)	(291,71)	(270,10)	4.501,27	4.167,85	(54.174,62)
2	6.203,60	0,82	5.093,75	-	(320,88)	(320,88)	(275,11)	4.772,86	4.091,96	(50.082,65)
3	6.160,17	0,89	5.513,32	-	(352,97)	(352,97)	(280,20)	5.160,35	4.096,45	(45.986,20)
4	6.117,05	0,98	5.967,45	-	(388,27)	(388,27)	(285,39)	5.579,18	4.100,87	(41.885,34)
5	6.074,23	1,06	6.458,99	-	(427,10)	(427,10)	(290,67)	6.031,89	4.105,21	(37.780,13)
6	6.031,71	1,16	6.991,02	-	(469,81)	(469,81)	(296,06)	6.521,21	4.109,47	(33.670,66)
7	5.989,49	1,26	7.566,87	-	(516,79)	(516,79)	(301,54)	7.050,08	4.113,65	(29.557,01)
8	5.947,56	1,38	8.190,15	-	(568,46)	(568,46)	(307,12)	7.621,69	4.117,76	(25.439,25)
9	5.905,93	1,50	8.864,77	-	(625,31)	(625,31)	(312,81)	8.239,46	4.121,78	(21.317,47)
10	5.864,59	1,64	9.594,96	-	(687,84)	(687,84)	(318,60)	8.907,12	4.125,72	(17.191,75)
11	5.823,54	1,78	10.385,30	-	(756,63)	(756,63)	(324,50)	9.628,67	4.129,57	(13.062,17)
12	5.782,77	1,94	11.240,74	-	(832,29)	(832,29)	(330,51)	10.408,45	4.133,34	(8.928,84)
13	5.742,29	2,12	12.166,64	-	(915,52)	(915,52)	(336,63)	11.251,12	4.137,01	(4.791,82)
14	5.702,10	2,31	13.168,80	-	(1.007,07)	(1.007,07)	(342,87)	12.161,73	4.140,60	(651,23)
15	5.662,18	2,52	14.253,52	-	(1.107,78)	(1.107,78)	(349,22)	13.145,74	4.144,09	3.492,86
16	5.622,55	2,74	15.427,58	-	(1.218,55)	(1.218,55)	(355,68)	14.209,03	4.147,48	7.640,34
17	5.583,19	2,99	16.698,35	-	(1.340,41)	(1.340,41)	(362,27)	15.357,94	4.150,77	11.791,11
18	5.544,11	3,26	18.073,79	-	(1.474,45)	(1.474,45)	(368,98)	16.599,34	4.153,97	15.945,08
19	5.505,30	3,55	19.562,53	-	(1.621,90)	(1.621,90)	(375,81)	17.940,64	4.157,06	20.102,14
20	5.466,76	3,87	21.173,90	-	(1.784,09)	(1.784,09)	(382,77)	19.389,81	4.160,05	24.262,19
21	5.428,49	4,22	22.917,99	-	(1.962,49)	(1.962,49)	(389,86)	20.955,50	4.162,93	28.425,12
22	5.390,49	4,60	24.805,75	-	(2.158,74)	(2.158,74)	(397,08)	22.647,00	4.165,70	32.590,82
23	5.352,76	5,02	26.849,00	-	(2.374,62)	(2.374,62)	(404,43)	24.474,38	4.168,36	36.759,18
24	5.315,29	5,47	29.060,55	-	(2.612,08)	(2.612,08)	(411,92)	26.448,47	4.170,91	40.930,09
25	5.278,08	5,96	31.454,26	-	(2.873,29)	(2.873,29)	(419,55)	28.580,98	4.173,33	45.103,42
26	5.241,14	6,50	34.045,15	-	(3.160,62)	(3.160,62)	(427,32)	30.884,54	4.175,64	49.279,07
27	5.204,45	7,08	36.849,45	-	(3.476,68)	(3.476,68)	(435,23)	33.372,77	4.177,83	53.456,90
28	5.168,02	7,72	39.884,74	-	(3.824,35)	(3.824,35)	(443,29)	36.060,39	4.179,89	57.636,79
29	5.131,84	8,41	43.170,05	-	(4.206,78)	(4.206,78)	(451,50)	38.963,27	4.181,83	61.818,63
30	5.095,92	9,17	46.725,96	-	(4.627,46)	(4.627,46)	(459,86)	42.098,50	4.183,64	66.002,26

Tabela 7– Planilha de análise econômica, considerando capital próprio Fonte: Autor (2018)

Utilizando os resultados do fluxo de caixa apresentados na Tabela 7, é realizada a análise da viabilidade econômica propriamente dita. Na Tabela 8 estão os resultados para o sistema do estudo de caso, apresentando os valores do VPL, TIR e *payback* descontado.

Anos	VPL	TIR
30	R\$ 66.002,26	14%
25	R\$ 45.103,42	13,38%
20	R\$ 24.262,19	11,84%
15	R\$ 3.492,86	8,79%
10	-R\$ 17.191,75	1,64%
05	-R\$ 37.780,13	-21,23%
Payback	14 anos e 2 meses	

Tabela 8 – Métricas de viabilidade econômica com uso de capital próprio Fonte: Autor (2018)

A Tabela 8 apresenta valores de VPL e TIR que indicam que o projeto é viável, porém somente à longo prazo, um investimento que se paga em 14 anos e 2 meses não é considerado atrativo quando se trata de geração de energia solar, mesmo ele sendo viável.

4.8.1 LINHAS DE CRÉDITO

Quando há a necessidade de grandes investimentos, é importante estudar a opção do uso de linhas de financiamento para assim precisar um menor investimento próprio inicial, tornando assim o projeto mais acessível, nesta etapa foram consideradas as linhas de crédito do banco Santander, da cooperativa de crédito SICREDI e do BNDES.

Para cada caso será exposto suas condições iniciais e os resultados de seu *payback*, VPL e TIR.

- SANTANDER

Para que um projeto seja financiado pelo Santander não é necessário que seja um correntista no banco. O banco oferece 3 opções para financiamento de sistemas fotovoltaicos, listadas abaixo:

- Entrada + 9 parcelas, sem juros.
- Entrada + 23 parcelas, juros de 13,2% ao ano.
- Entrada + 35 parcelas, juros de 17,4% ao ano.

A opção mais atrativa é a opção sem juros, já em nosso estudo de caso, que necessita de um custo de investimento total de R\$ 58.342,46, este valor ficaria dividido em 9 parcelas e uma entrada com valores de R\$ 5.834,25 cada, tornando o investimento inicial em algo menos preocupante. As duas opções para maiores prazos não são tão atraentes devido a existência de outras modalidades de financiamento de outras entidades que serão listadas a seguir.

- SICREDI

O SICREDI é uma instituição financeira cooperativa, para usufruir dos benefícios de seus financiamentos é necessário que seja um cooperado, para isso é preciso realizar uma aplicação mínima de R\$ 300,00. A cooperativa possui uma das melhores taxas de juros para financiamento em energia solar para pessoa física.

Na Tabela 9 é apresentado as especificações do financiamento realizado pelo SIDREDI:

LIMITE DO FINANCIAMENTO	100%
TAXA DE JUROS A.A.	14,4%
PRAZO PARA PAGAMENTO	5 anos
INVESTIMENTO INICIAL	R\$ 300,00
VALOR FINANCIADO	R\$ 58.342,46
TIPO DO FINANCIAMENTO	SAC
VALOR DA AMORTIZAÇÃO (ANUAL)	R\$ 11.668,49
CARENCIA	SEM CARENCIA

Tabela 9 – Especificações para financiamento SICREDI Fonte: Autor (2018)

Os resultados obtidos para o uso dessa modalidade estão expressos na Tabela 10, abaixo:

Anos	VPL	TIR
30	R\$ 48.610,90	12%
25	R\$ 27.712,07	11,23%
20	R\$ 6.870,83	9,09%
15	-R\$ 13.898,50	4,71%
10	-R\$ 34.583,11	-6,50%
05	-R\$ 55.171,49	-63,18%
Payback	18 anos e 5 meses	

Tabela 10 – Viabilidade econômica Financiamento SICREDI Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 10 nota-se que o financiamento com essas condições não é atraente para este caso, comparando o resultado obtido com a Tabela 8 verificamos que o tempo de *payback* aumenta além de possuir um VPL menor.

O fluxo de caixa resultante, como mostrado pela Figura 25, é notável quão insatisfatório é o uso deste financiamento para esse projeto.

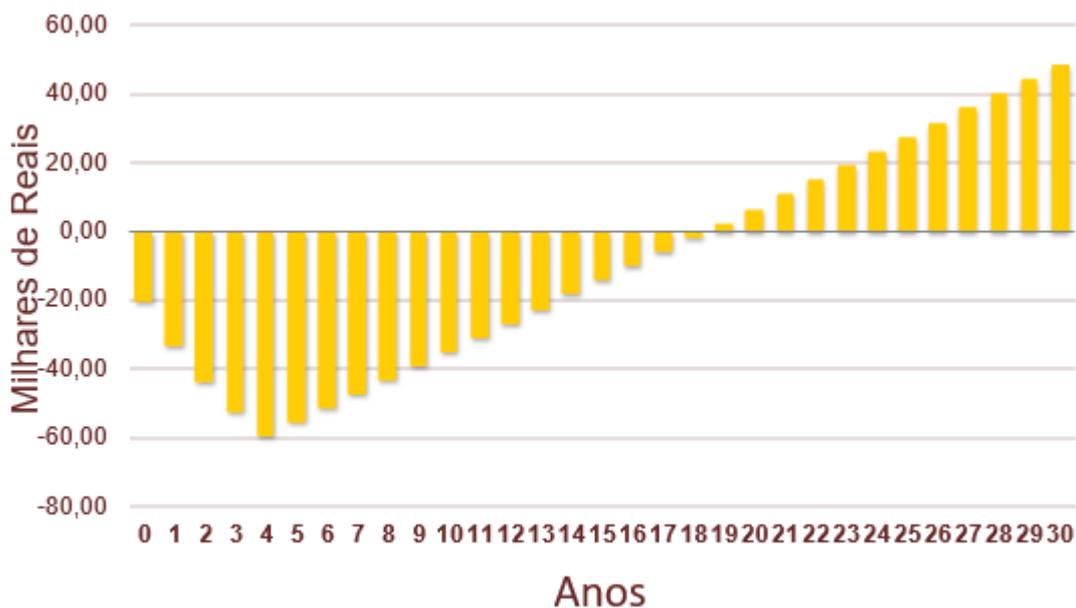


Figura 25 – Fluxo de caixa para Financiamento SICREDI Fonte: Autor (2018)

Nota-se que o tempo de *payback* aumenta para esse caso se comparável ao investimento com capital próprio, e o valor de fluxo de caixa chega próximo a R\$ 60 mil negativos ao fim do ano de número 4.

- BNDES

O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, o BNDES, sempre possuiu boas taxas de juros para financiamentos em energia renovável, porém esse benefício possuía taxas vantajosas somente para pessoas jurídicas.

No início do mês de junho do ano de 2018, a instituição divulgou o programa de crédito denominado Fundo Clima, benefício disponível para pessoas

físicas e com taxas de juros baixas se comparadas as que são encontradas em demais instituições financeiras. O programa inclui possibilidade de carência entre 3 e 24 meses além de prazo de pagamento de até 144 meses.

Muitos parâmetros são negociáveis com o agente financeiro, para este trabalho utiliza-se valores de carência em 1 ano e prazo de pagamento em 7 anos. Na Tabela 11 será listada as especificações dessa linha de financiamento:

LIMITE DO FINANCIAMENTO	80%
TAXA DE JUROS A.A.	4,03%
PRAZO PARA PAGAMENTO	7 anos
VALOR FINANCIADO	R\$ 46.673,97
TIPO DO FINANCIAMENTO	SAC
VALOR DA AMORTIZAÇÃO (ANUAL)	R\$ 6.667,71
CARENCIA	1 ano

Tabela 11 – Especificações para financiamento BNDES Fonte: Autor (2018)

Pode-se extrair como resultados desse financiamento os valores das métricas de viabilidade econômica apresentados na Tabela 12:

Anos	VPL	TIR
30	R\$ 71.937,12	18%
25	R\$ 51.038,28	17,06%
20	R\$ 30.197,05	15,44%
15	R\$ 9.427,71	11,62%
10	-R\$ 11.256,89	-0,76%
05	-R\$ 23.257,49	-
Payback	12 anos e 9 meses	

Tabela 12 - Viabilidade econômica Financiamento BNDES Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 12 é possível notar que o financiamento é atraente, comparando o resultado com a Tabela 8 verificamos que o tempo de *payback* diminui em 1 ano e 5 meses além de possuir um VPL maior.

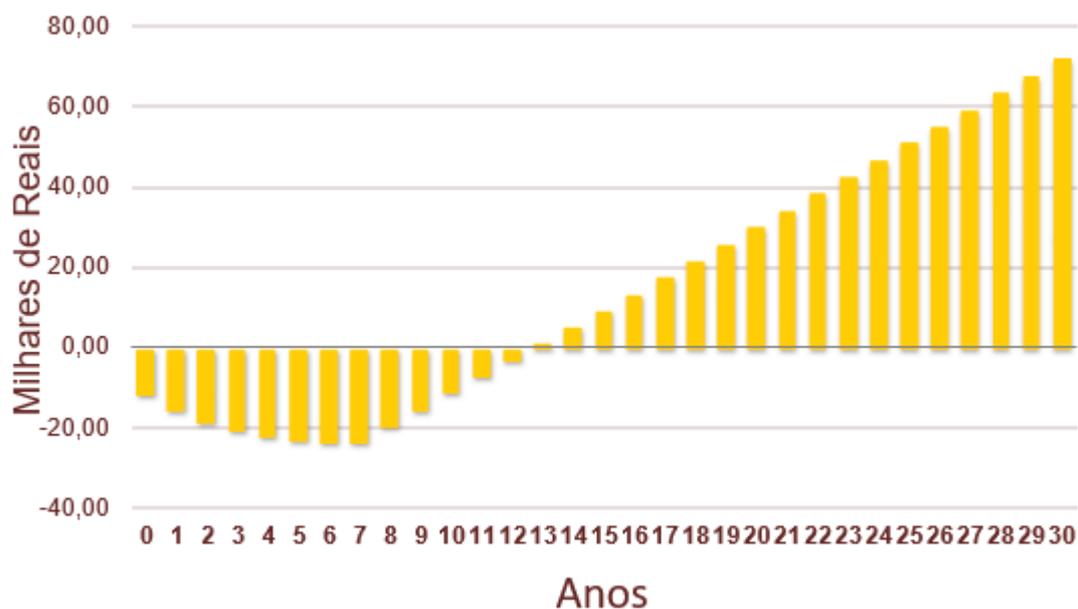


Figura 26 – Fluxo de caixa para Financiamento BNDES Fonte: Autor (2018)

Outro parâmetro benéfico ao uso dessa modalidade de financiamento é o apresentado na Figura 26, o fluxo de caixa. Seu valor mínimo com o uso do financiamento do BNDES fica em R\$ -23.688,48, que pode ser melhor visualizado através da Tabela 13. Valor bem inferior ao de R\$ 58.342,46 investido inicialmente no caso do projeto realizado somente com capital próprio.

Ano	Geração		Receitas		Despesas			Fluxo de Caixa			
	Geração útil	Tarifa	Reembolso	Financeira	CAPEX	OPEX	Financeira	TOTAL	FC anual	FC Descontado	FC Acumulado
0	-	0,69	-	46.673,97	(58.342,46)	-	-	(58.342,46)	(58.342,46)	(11.668,49)	(11.668,49)
1	6.362,66	0,75	4.792,99	-	-	(291,71)	(8.548,67)	(8.840,38)	(8.185,54)	(4.047,40)	(3.747,59)
2	6.203,60	0,82	5.093,75	-	-	(320,88)	(8.279,96)	(8.600,85)	(7.373,84)	(3.507,10)	(3.006,77)
3	6.160,17	0,89	5.513,32	-	-	(352,97)	(8.011,25)	(8.364,23)	(6.639,79)	(2.850,91)	(2.263,14)
4	6.117,05	0,98	5.967,45	-	-	(388,27)	(7.742,54)	(8.130,81)	(5.976,39)	(2.163,36)	(1.590,14)
5	6.074,23	1,06	6.458,99	-	-	(427,10)	(7.473,84)	(7.900,93)	(5.377,24)	(1.441,94)	(981,36)
6	6.031,71	1,16	6.991,02	-	-	(469,81)	(7.205,13)	(7.674,93)	(4.836,51)	(683,92)	(430,98)
7	5.989,49	1,26	7.566,87	-	-	(516,79)	(6.936,42)	(7.453,20)	(4.348,87)	113,66	66,32
8	5.947,56	1,38	8.190,15	-	-	(568,46)	-	(568,46)	(307,12)	7.621,69	4.117,76
9	5.905,93	1,50	8.864,77	-	-	(625,31)	-	(625,31)	(312,81)	8.239,46	4.121,78
10	5.864,59	1,64	9.594,96	-	-	(687,84)	-	(687,84)	(318,60)	8.907,12	4.125,72
11	5.823,54	1,78	10.385,30	-	-	(756,63)	-	(756,63)	(324,50)	9.628,67	4.129,57
12	5.782,77	1,94	11.240,74	-	-	(832,29)	-	(832,29)	(330,51)	10.408,45	4.133,34
13	5.742,29	2,12	12.166,64	-	-	(915,52)	-	(915,52)	(336,63)	11.251,12	4.137,01
14	5.702,10	2,31	13.168,80	-	-	(1.007,07)	-	(1.007,07)	(342,87)	12.161,73	4.140,60
15	5.662,18	2,52	14.253,52	-	-	(1.107,78)	-	(1.107,78)	(349,22)	13.145,74	4.144,09
16	5.622,55	2,74	15.427,58	-	-	(1.218,55)	-	(1.218,55)	(355,68)	14.209,03	4.147,48
17	5.583,19	2,99	16.698,35	-	-	(1.340,41)	-	(1.340,41)	(362,27)	15.357,94	4.150,77
18	5.544,11	3,26	18.073,79	-	-	(1.474,45)	-	(1.474,45)	(368,98)	16.599,34	4.153,97
19	5.505,30	3,55	19.562,53	-	-	(1.621,90)	-	(1.621,90)	(375,81)	17.940,64	4.157,06
20	5.466,76	3,87	21.173,90	-	-	(1.784,09)	-	(1.784,09)	(382,77)	19.389,81	4.160,05
21	5.428,49	4,22	22.917,99	-	-	(1.962,49)	-	(1.962,49)	(389,86)	20.955,50	4.162,93
22	5.390,49	4,60	24.805,75	-	-	(2.158,74)	-	(2.158,74)	(397,08)	22.647,00	4.165,70
23	5.352,76	5,02	26.849,00	-	-	(2.374,62)	-	(2.374,62)	(404,43)	24.474,38	4.168,36
24	5.315,29	5,47	29.060,55	-	-	(2.612,08)	-	(2.612,08)	(411,92)	26.448,47	4.170,91
25	5.278,08	5,96	31.454,26	-	-	(2.873,29)	-	(2.873,29)	(419,55)	28.580,98	4.173,33
26	5.241,14	6,50	34.045,15	-	-	(3.160,62)	-	(3.160,62)	(427,32)	30.884,54	4.175,64
27	5.204,45	7,08	36.849,45	-	-	(3.476,68)	-	(3.476,68)	(435,23)	33.372,77	4.177,83
28	5.168,02	7,72	39.884,74	-	-	(3.824,35)	-	(3.824,35)	(443,29)	36.060,39	4.179,89
29	5.131,84	8,41	43.170,05	-	-	(4.206,78)	-	(4.206,78)	(451,50)	38.963,27	4.181,83
30	5.095,92	9,17	46.725,96	-	-	(4.627,46)	-	(4.627,46)	(459,86)	42.098,50	4.183,64

Tabela 13 – Planilha de análise econômica, financiamento BNDES Fonte: Autor (2018)

4.9 COMPARATIVO ENTRE MÓDULOS E TELHAS FOTOVOLTAICAS

Nesta seção do trabalho será explicita as diferenças de valores técnicos e econômicos para os casos de um projeto em que se utilizada módulos fotovoltaicos em comparação com o uso de telhas.

Para este estudo comparativo foi utilizado os módulos do modelo CS6U-325P da marca Canadian, com geração unitária de 325 Wp (Watt-pico) e valor de R\$ 899,00. Considerando nosso estudo de caso como 5,55 kWp, para um sistema equivalente serão necessários 17 módulos, resultando em um sistema de 5,52 kWp. O sistema de proteção e cabeamento serão considerados os mesmos para as duas situações do comparativo.

Na Figura 27 podemos notar a redução da área necessária para o projeto se utilizado módulos fotovoltaicos.

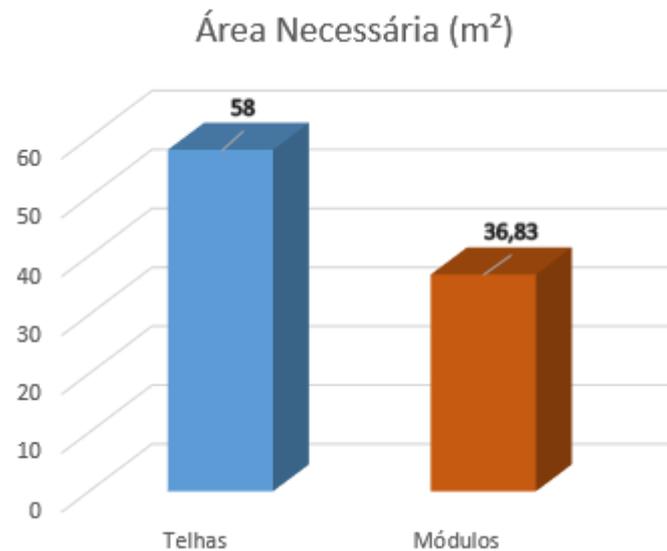


Figura 27 – Comparação de Área necessária em projeto de 5,55 kWp Fonte: Autor (2018)

A quantidade de marcas e modelos de módulos hoje no mercado é extensa, com isso há uma grande variação de eficiências dentre os módulos comercializados pelas distribuidoras no território brasileiro. Considerando o custo por produção dos módulos, os melhores modelos possuem eficiência entre 15% e 20%. Na Figura 28 está o comparativo entre a eficiência da telha fotovoltaica, calculada na equação (5), e do módulo escolhido para este comparativo.

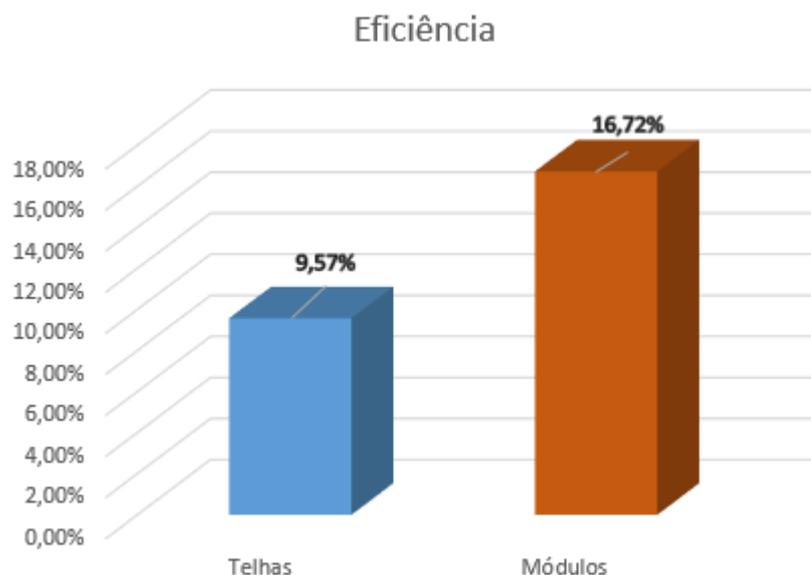


Figura 28 – Comparação entre eficiências Fonte: Autor (2018)

Devido ao mercado dos módulos estar bem estabelecido e com grande concorrência entre marcas, os preços estão em uma contínua decrescente, portanto, é natural que o valor de um projeto com o uso de módulos seja mais acessível que o mesmo com uso de telhas. No próximo comparativo exposto na Figura 29, demonstra a diferença de custo total do projeto realizado com os diferentes materiais, considerando valores de frete, impostos, materiais e instalação. E no caso das telhas, está incluso a economia com o telhado não fotovoltaico para os 58 m².



Figura 29 – Comparativo do custo total Fonte: Autor (2018)

Na sequência, conseguimos extrair o *payback* descontado de cada caso pelo gráfico do fluxo de caixa. Apresentado na Figura 30 está o fluxo de caixa referente ao estudo com o uso de módulos. Em ambas situações foram considerados apenas o uso de capital próprio.

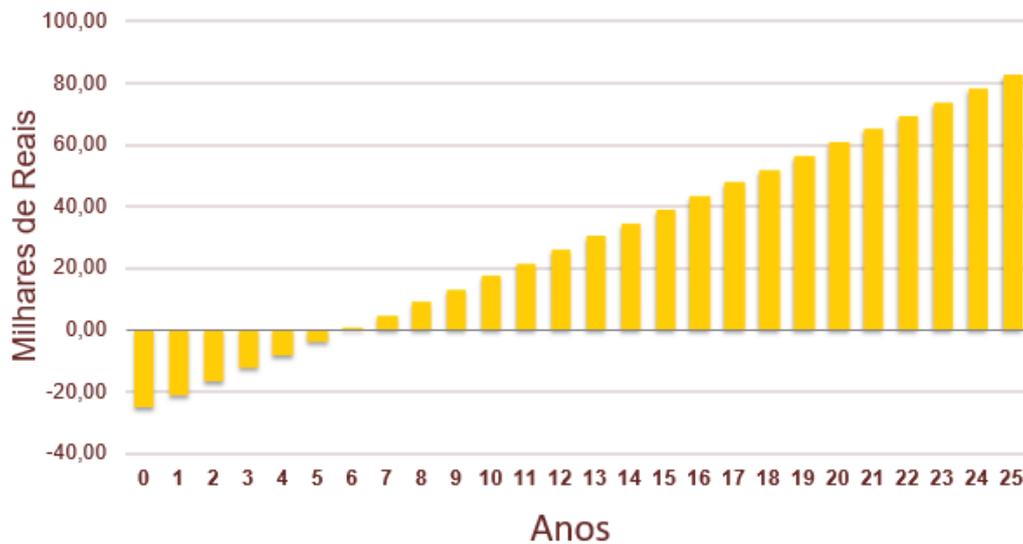


Figura 30 – Fluxo de caixa para sistema com uso de módulos Fonte: Autor (2018)

No caso do uso de módulos chegamos a um *payback* descontado de 5 anos e 11 meses, já para o uso de telhas, apresentado na Figura 31, a seguir, o resultado é de 14 anos e 2 meses.

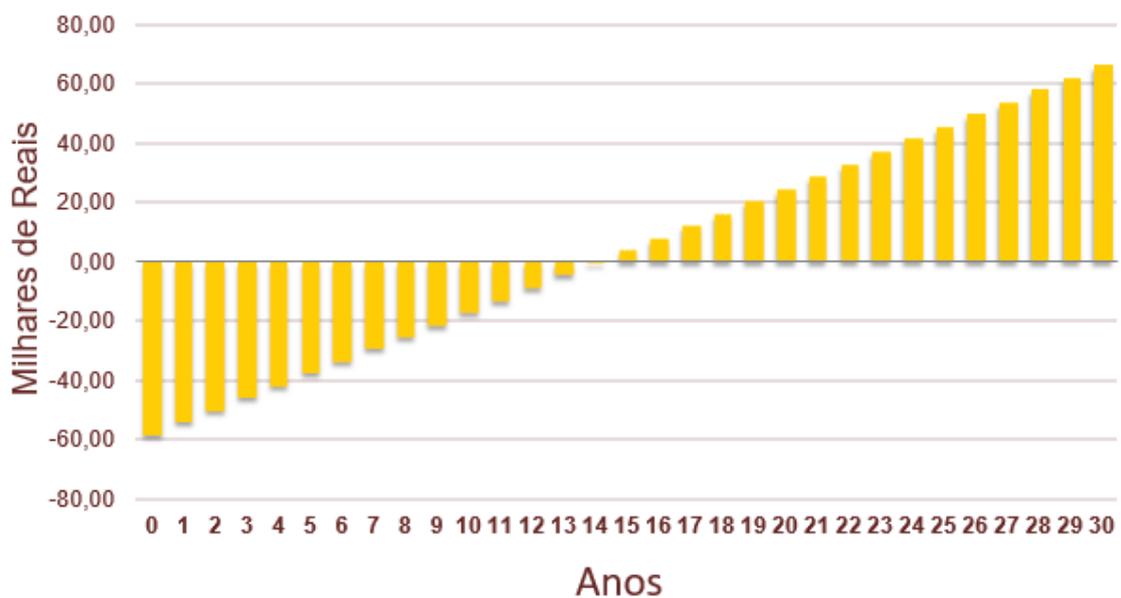


Figura 31 – Fluxo de caixa para sistema com uso de telhas Fonte: Autor (2018)

Após a observação das figuras podemos destacar que os módulos possuem um custo por benefício muito maior, porém, vale salientar que o uso das telhas possui também seus pontos positivos. Em casos onde há necessidade de uma fonte de geração de energia

elétrica integrada ao projeto arquitetônico, o uso de telhas se torna uma boa opção, além de possuir uma garantia maior, de 30 anos, comparada com 25 anos da maioria das garantias de módulos no mercado.

5 CONCLUSÕES

O cenário energético atual, apresenta um novo rumo, e novos desafios tanto no Brasil quanto no mundo. Por isso há uma necessidade por uso de infraestruturas eficientes e sustentáveis. As tecnologias que englobam o tema têm evoluído e cada vez mais novos equipamentos de geração de energia limpa entram no mercado.

O presente trabalho fez a análise de viabilidade de implementação de geração distribuída através de telhas fotovoltaicas na cidade de Curitiba, PR. Após o levantamento dos parâmetros técnicos e econômicos foi possível fazer o dimensionamento e o projeto do sistema conectado à rede para o estudo de caso. Posteriormente após realizado a análise da viabilidade econômica foi possível concluir que é viável o uso desse material para geração de energia elétrica. Portanto, para um futuro proprietário de uma residência com um projeto arquitetônico que necessita um sistema de geração integrado ao visual, o uso das telhas fotovoltaicas se torna uma boa alternativa.

O fato do produto ainda não ser comercializado em território nacional gerou um aumento nos custos do projeto feito durante o estudo de caso. Como as telhas da marca estudada está aos poucos entrando no mercado, é possível que, futuramente, possa ser distribuída no Brasil e ter seus custos reduzidos e torne-se competitivo com os módulos fotovoltaicos.

Um ponto que chamou a atenção é que mesmo em uma nova residência em que haveria a economia do investimento do telhado não fotovoltaico, o uso de módulos demonstrou, através do comparativo feito, um potencial econômico muito superior ao projeto com uso de telhas. Como o público alvo para as telhas fotovoltaicas é muito restrito, nos próximos anos, o mercado da energia solar fotovoltaica deve manter seu foco ao uso de módulos.

No caso para uma nova residência é interessante o acompanhamento do projeto desde sua concepção seguindo os critérios do documento dos requisitos para certificação

da residência quanto a eficiência energética global da edificação, seu contexto de edificação sustentável e não poluente. Estes aspectos valorizam a residência perante a sociedade e futuros compradores dessa edificação, além de diminuir custos e melhorar o bem-estar do ocupante.

Alguns fatores podem tornar o uso das telhas fotovoltaicas ainda mais atraentes, dentre eles estão, o aumento da tarifa energética, a diminuição dos custos do material, evolução dos materiais geradores e incentivos financeiros e tributários para sua importação ou sua fabricação nacional.

É esperado que o desenvolvimento desse trabalho contribua e possibilite o desenvolvimento dos estudos em sistemas fotovoltaicos em geração distribuída, tanto no meio acadêmico quanto para profissionais do mercado de energia.

A seguir é listado algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Estudo de viabilidade para um sistema com o uso de telhas fotovoltaicas sem conexão com a rede de distribuição (off-grid).
- Estudo de viabilidade para um sistema com o uso de telhas fotovoltaicas em um sistema híbrido, com uso de baterias.
- Economia gerada e aumento no valor intrínseco da residência que possui selo de certificação de eficiência energética.
- Quantificação das vantagens endógenas tais como a beleza arquitetônica, a não poluição da arquitetura urbana, o apelo de edificação sustentável entre outros aspectos.

REFERÊNCIAS

ABRADEE – **Tarifas de energia**, disponível em: < <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>> acesso em: 20 de abril de 2018.

ABSOLAR - **Palavra da Absolar**, disponível em: < <http://absolar.org.br/palavra-da-absolar.html> >. Acesso em: 21 de março de 2018.

ANEEL – **Informações Técnicas com relação a mini e microgeração distribuída**, disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/>>. Acesso em: abril de 2018.

ANEEL – **Resolução Normativa N° 482**, de 17 de abril de 2012, disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >, acesso em 14 de junho de 2018.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CENTEMERO, F.; BASTOS, P. Z. B. – **Projeto e estudo de viabilidade econômica da instalação de uma unidade de minigeração distribuída solar e eólica em uma indústria**, Curitiba, 2017.

CHAMMA, B. C. - **Projeto de uma microgeração fotovoltaica aplicada a uma residência**, Rio de Janeiro, 2017.

CHAPIN, D. M., Fuller, C. S. and Pearson, G. L., - *A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power*, *Journal of Applied Physics* 25 (1954) 676.

CIH – **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**, disponível em <<http://www.atlassolarparana.com/>> , acesso em: 2 de abril de 2018.

COPEL – **Tarifa convencional, subgrupo B1**, 2017. Disponível em: <<http://www.copel.com.br/>> acesso em: 24 de abril de 2018.

CRESESB - **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, março 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 15 de março. 2018.

MME - **Diário Oficial da União, 20 de setembro de 2017** - Portaria do Ministério de Minas e Energia. Em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/161272318/dou-secao-1-20-09-2017-pg-35?ref=goto>>.

DIAS, Marcos Vinícius Xavier; BOROTNI, Edson da Costa; HADDAD, Jamil. - **Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**. Revista Brasileira de Energia, Itajubá, 2005.

Energy Green Brasil – **Geração distribuída**, disponível em: <<http://energygreenbrasil.com.br/?p=6381>>, acesso em: março de 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**, Rio de Janeiro 2017. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016>> , acesso em: março de 2018.

Free Patents Online - **Patente US 9.748.434B1**, 2017. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com>>, acesso em: 15 de abril de 2018.

GARCIA, T. D. - **Análise técnica e econômica de geração distribuída fotovoltaica residencial conectada à rede de distribuição**, 2015.

GOETZE, F. - **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: Estudo de caso**, Porto Alegre, 2017.

INMETRO - **Requisitos da Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética para Edificações – Portaria nº 50/2013** - Disponível em: <
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/Edificacoes.asp> >, acesso em 22 de maio de 2018.

INPE - **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, Disponível em: <
http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>, acesso em: 15 de março de 2018.

MDIC - **Energia Solar Fotovoltaica**, Disponível em:
<<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/sustentabilidade/energia-renovavel>>, acesso em: 15 de maio de 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - **(PEE) Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e diretrizes**. Outubro de 2011.

ABNT - **Normas brasileira para Coordenação modular para edificações (NBR15873)**, disponível em:
<<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=78347>>.

PHB – **Inversor híbrido**, disponível em: <
http://www.phb.com.br/produtos/solar/inversores/OnOFFgrid_br.aspx>, acesso em: 02 de junho de 2018.

PHB – **String Box, Sistema de proteção**, disponível em:

<<http://www.phb.com.br/PDFs/Produtos/Solar/StringBox/StringBoxPHBCC-CA02xStrings1000V.pdf>>, acesso em: 25 de maio de 2018.

PORTAL SOLAR - **A posição ideal para os seus painéis fotovoltaicos**, disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>, acesso em: 25 de maio de 2018.

PROCEL – **PROCELINFO**, Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>, acesso em 10 de março de 2018.

PV SUITE. Versão 2.0. São José, SC, 2017. Disponível em <<http://pvsuite.com.br/>>.

RADIASOL. Version 2. [S.l.]: UFRGS, 2001. Disponível em: <www.solar.ufrgs.br/>, acesso em: 15 de abril de 2018.

RIBEIRO, Zenilda Barbosa. **Parâmetros para Análise de Projetos de Eficiência Energética em Eletricidade.** São Paulo, 2005. Disponível em:

<http://www.iee.usp.br/producao/2005/Teses/Parametros_para_analise_de_projetos_de_eficiencia_energetica_em_eletricidade.pdf>, acesso em 5 dez. 2017.

SEVERO, L. - **Estudo e implementação de métodos de proteção de anti-ilhamento aplicados a sistemas fotovoltaicos.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. - **Externalidades da geração de energia com fontes convencionais e renováveis.** In: VI Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. SBPE: 2008.

SILVA, V. G. - **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese de Doutorado – USP. São Paulo, 2003.

SKETCHUP. **Version 2018**. [S.l.]: Trimble Inc., 2018. Disponível em: <<https://www.sketchup.com>> , acesso em: 7 de abril de 2018.

SOLAR ENERGY LOCAL – *Solar power in Nashville ,TN*, disponível em: <<https://solarenergylocal.com/states/tennessee/nashville/>>, acesso em: 13 de maio, 2018.

SOUSA, Almir Ferreira de. - **Avaliação de investimentos: uma abordagem prática**. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.

TESLA – *Solar Roof*, Disponível em: < <https://www.tesla.com/blog/solar-roof>>, acesso em: 21 de maio de 2018.

THE SHIFT PROJECT – *Electricity Generation Statistics*, disponível em < <http://www.tsp-data-portal.org>>, acesso em: 22 de novembro de 2017.

TIEDJE, T.; YABLONOVITCH, E.; CODY, G. D. ; BROOKS, B. G. – *Limiting efficiency of silicon solar cells*, 1984.

VIEIRA, J. C. M. - **Um método prático para a definição dos ajustes de relés baseados em medidas de frequência usados para detecção de ilhamento de geração distribuída**, 2008.

World Freight Rates – **Freight**, Disponível em: <<http://worldfreightrates.com/freight>>, acesso em: 21 de maio de 2018.

ANEXO I – PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO



Dados de Consumo e Irradiação

Projeção de telhado	m²	226,6
Inclinação do telhado	°	25
Área de telhado	m²	250,03

Caracterização da Medição Gerador/Consumo

Consumo anual de energia elétrica	kWh	8.035,00
irradiação Total Anual	kWh/m²	1.635,47
Taxa de Despermiço	%	75%

2 - DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA

Características da gerador fotovoltaico	66
Numero de Módulos*	96
Potência das telhas (Wp/m²)	10%
Efficiência da telha	6,316
Potência Instalada (kWp)	6,316

Resumo do Sistema Escolhido

Potência fotovoltaica calculada	kWp	6,316
Geração anual estimada	kWh	7.652,72
Relação Geração X Consumo		95,48%

1 - DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA A INSTALAR

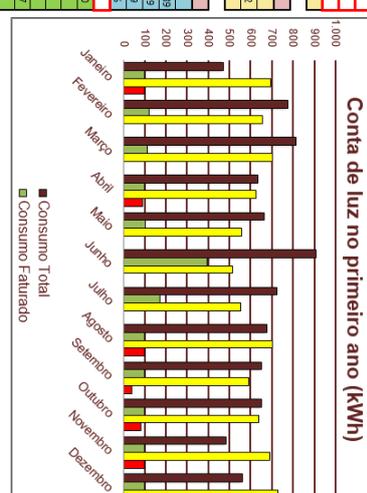
Projeção de telhado	m²	226,6
Inclinação do telhado	°	25
Área de telhado	m²	250,03

Caracterização da Medição Gerador/Consumo

Consumo anual de energia elétrica	kWh	8.035,00
irradiação Total Anual	kWh/m²	1.635,47
Taxa de Despermiço	%	75%

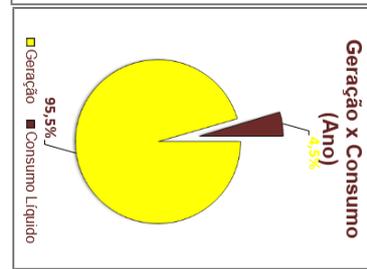
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Out	Nov	Dez	Soma Anual	
Consumo total	472,00	775,00	813,00	634,00	653,00	907,00	724,00	677,00	653,00	484,00	560,00	8.015,00	Consumo total	
Geração de Energia	683,14	655,24	701,95	625,30	559,50	513,03	553,63	701,95	592,62	637,34	728,92	7.652,72	Geração de Energia	
Consumo Líquido	-221,14	119,76	111,05	8,70	103,50	393,97	170,37	-24,95	60,38	15,66	-208,10	-168,92	362,28	Consumo Líquido
Consumo futuro	100,00	119,76	111,05	100,00	103,50	393,97	170,37	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1.598,64	Consumo futuro
Economia sem crédito	372,00	655,24	701,95	534,00	559,50	513,03	553,63	577,00	553,00	384,00	460,00	6.416,36	Economia sem crédito	
Credito para crédito	221,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,95	0,00	0,00	208,10	168,92	621,10	Credito para crédito
Abatido com crédito	0,00	-19,76	-11,05	-5,00	-3,50	-293,97	-70,37	0,00	0,00	0,00	0,00	388,64	-89,03%	Abatido com crédito
Economia TOTAL	593,14	655,24	701,95	534,00	559,50	513,03	553,63	601,95	553,00	553,00	592,10	6.815,00	93,03%	Economia TOTAL
Despermiço	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	39,62	84,34	100,00	100,00	615,26	Despermiço

Conta de luz no primeiro ano (kWh)



Geração x Consumo (Ano)

95,5% (Ano) 4,5%



DESEJADO POSSÍVEL

Maxima Potência na área disponível	kWp	21,53
Numero de módulos instaláveis	m²	225,02289
Geração Anual Estimada	kWh	26.091,49
Geração Mensal Estimada	kWh	2.174,29
Percentual atendido	%	325,35%

PERDA DO SISTEMA ESCOLHIDO

Percentual despermiço do Consumo	%	100,00
Geração Anual Desejada	kWh	8.035,90
Numero de módulos necessários		69,12
Numero de módulos possíveis		69
Potência fotovoltaica calculada	kWp	6,60
Geração Anual Estimada	kWh	8.000,57
Geração Mensal Estimada	kWh	666,71
Percentual Possível	%	99,82%
Max. Potência sem despermiço	kWp	3,290
Maximo de módulos*		35
Geração Anual Estimada	kWh	4.058,26
Geração Mensal Estimada	kWh	338,19
Percentual atendido	%	50,63%

