

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS**

JOSUÉ KAMINSKI MARTINS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA EMPRESA
DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS-PR**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2021

JOSUÉ KAMINSKI MARTINS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA EMPRESA
DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS-PR**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, do Departamento Acadêmico da Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA EMPRESA DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS-PR

Por

JOSUÉ KAMINSKI MARTINS DE OLIVEIRA

Esta monografia foi apresentada em 27/05/2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Júnior
Orientador

Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Júnior
Membro Titular

Prof. Dr. José Alberto Cerri
Membro Titular

Curitiba
2021

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

A minha família, meu pai Josué, minha mãe Acácia e meu irmão André, por sempre apoiarem meus estudos, mesmo que isso prive nossos encontros. Por terem compreensão da minha ausência no período de elaboração do trabalho, inclusive o dia das mães.

Também agradeço a minha namorada, Laise, pela compreensão em minha ausência nos finais de semana de aulas.

Agradeço a Deus pelas oportunidades e por todas as pessoas que entram em meu caminho.

Ao professor Jair, por ter aceitado me orientar neste curto período de tempo e também pelas excelentes aulas ministradas, que despertaram o interesse no tema do presente trabalho.

Agradeço também à equipe organizadora do curso, especificamente professor Cerri.

RESUMO

OLIVEIRA, Josué K. M. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede em uma empresa de São José dos Pinhais-PR**. 71f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

As mudanças no cenário energético nacional ocorrem historicamente por algum desequilíbrio. A crise do petróleo (1973) fez com que hidroelétricas fossem construídas, em 2001 os baixos níveis dos reservatórios de hidroelétricas forçaram a implantação políticas de redução no consumo. Hoje, se sabe da crescente demanda, e já existem iniciativas para fomentar a diversificação da matriz energética mundial, como a Agenda 2030. Portanto, é inevitável pensar em energia solar fotovoltaica com geração descentralizada como forma de evitar a saturação do sistema, principalmente para os estabelecimentos comerciais que operam em horário praticamente concomitante com o período de geração de energia solar. Nesse contexto, o objetivo do trabalho é a análise de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFCR). Na primeira etapa da monografia é apresentada uma revisão sobre o efeito fotovoltaico, tecnologias dominantes no mercado, aplicação em construções sustentáveis através das certificações e o potencial privilegiado do estado do Paraná em geração fotovoltaica. A segunda etapa do trabalho é o estudo de caso. A análise de viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede é feita para a empresa CASA VIVA PRE MOLDADOS LTDA, atuante no ramo de casas pré-fabricadas e lajes treliçadas. Com a avaliação da fatura de energia elétrica, observou-se que, em média, 434 kWh/mês poderiam ser supridos por geração fotovoltaica anualmente. Assim, com auxílio do Atlas Solar do Paraná e do programa RADIASOL, foi estimada a necessidade de 4,23 kWp de potência fotovoltaica instalada, em função da irradiação incidente no plano da cobertura mais favorável da edificação. Dessa forma, para atender a demanda prevista, foram escolhidos 12 módulos com 365 W e inversor de 4 kW. Assim, validando a viabilidade técnica do projeto. Ainda, se faz uma estimativa de orçamento com base no valor médio entre três empresas e calcula-se o tempo de retorno do investimento por *payback* descontado. Por fim, se conclui que a implantação do sistema solar fotovoltaico no valor de R\$ 22.501,46 é técnica e economicamente viável, sendo o *payback*, atingido em 6 anos e 1 mês.

Palavras-chave: Sistema solar fotovoltaico. Viabilidade técnica. Viabilidade econômica. *Payback*.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Josué K. M. **Technical and economic feasibility study for implementation of a on grid photovoltaic system in a company from São José dos Pinhais-PR.** 2021. 71p. Monografia (Graduation in Sustainable Constructions) - Federal Technology University - Parana. Curitiba, 2021.

Instability in the Brazilian energy scenario have brought some changes, historically. In 1973, hydroelectric plants were built because of the oil crisis, and in 2001 the low levels of reservoirs made it necessary to implement policies to reduce consumption. Today, it is known about the growing energy demand, and initiatives such as the 2030 Agenda, encourage the world's energy matrix diversification. So, it is inevitable to think about photovoltaic energy and decentralized generation as a way of avoiding crisis in the future, mainly for commercial buildings that operate almost concomitant with the period of solar energy generation. In this context, the objective of the study is to analyze the technical and economic feasibility of implementing a on grid photovoltaic solar system. The first step is a review of the photovoltaic effect, dominant technologies in the market, its connection with sustainable buildings and the generation potential of the state of Paraná. Then, it comes the case study. It is analyzed the feasibility of having a on grid solar system for the company CASA VIVA PRE MOLDADOS LTDA that sells pre-fabricated houses. The company's electric energy bill when evaluated, provides the information that photovoltaic generation can supply the annual average of 434 kWh/mês. Therefore, with the Atlas Solar do Paraná and the RADIASOL program, the photovoltaic power needed is estimated in 4,23 kWp according to the radiation on the best roof plane. In this way, 12 modules with 365 W and a 4-kW inverter were chosen to provide the energy required. Thereby, the technical feasibility is validated. Also, the average value between three companies is used as budget and the project *payback* is calculated. Finally, it is come to the result that R\$ 22.501,46 is economically viable to set up the on grid solar system with 6 years and 1 month payback

Keywords: Photovoltaic solar system. Technical feasibility. Economic feasibility. Payback.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 - Ranking mundial de capacidade fotovoltaica instalada.....	12
Figura 2 - Matriz energética brasileira x mundial (2018)	14
Figura 3 - Esquema da junção p-n	19
Figura 4 - Efeito fotovoltaico.....	19
Figura 5 - Área necessária (m ²) para instalar 1kWp das tecnologias FV	22
Figura 6 - Ângulos notáveis em energia solar	26
Figura 7 - Projeto sede RAC Engenharia	29
Figura 8 - Leroy Merlin Curitiba	30
Figura 9 - PBE Edifica	30
Figura 10 - Etiqueta PBE Edifica	31
Figura 11 - Mapa de irradiação e produtividade do Paraná	32
Figura 12 - Escritório Verde UTFPR.....	33
Figura 13 - Imagem de satélite do terreno	34
Figura 14 – Imagens para caracterização do consumo de energia.....	35
Figura 15 - Local de implantação dos módulos	37
Figura 16 - Solstício de inverno.....	38
Figura 17 - Solstício de verão.....	38
Figura 18 - Irradiação Global Horizontal.....	39
Figura 19 - Entrada de dados Radasol.....	40
Figura 20 - Simulação de implantação do painel fotovoltaico	44
Figura 21 - Croqui das ligações.....	45
Figura 22 - Taxa Selic	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	13
Gráfico 2 - Tecnologias fotovoltaicas no mercado.....	21
Gráfico 3 – Produtividade Paraná x países europeus	31
Gráfico 4 - <i>Payback</i> descontado	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tecnologias fotovoltaicas revisadas no trabalho.....	21
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo fatura energia elétrica	36
Tabela 2 - Irradiação no plano horizontal e inclinado	41
Tabela 3 - Expectativa de geração fotovoltaica.....	43
Tabela 4 - Orçamento do projeto.....	46
Tabela 5 - Estimativa de economia financeira.....	47
Tabela 6 - Estimativa <i>payback</i> descontado	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 METODOLOGIA	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 CONCEITOS DO EFEITO FOTOVOLTAICO	18
2.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA	20
2.2.1 Silício Monocristalino (m-Si)	21
2.2.2 Silício Policristalino (p-Si)	22
2.2.3 Silício Amorfo (a-Si)	22
2.2.4 Telureto de Cádmio (CdTe)	23
2.2.5 Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)	23
2.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS BRASILEIRAS	24
2.3.1 Resolução Normativa nº 482 (2012)	24
2.3.2 Resolução Normativa nº 687 (2015)	25
2.3.3 NTC 905200 (2021)	25
2.3.4 NBR 10899 (2020) e NBR 16690 (2019)	26
2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS	27
2.4.1 Certificação LEED	28
2.4.2 Certificação AQUA HQE	29
2.4.3 PBE Edifica	30
2.5 POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO PARANÁ	31
3 ESTUDO DE CASO	34
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO	34
3.2 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	35
3.3 POTENCIAL DE GERAÇÃO	36
3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	38
3.4.1 Irradiação no plano da cobertura	39
3.4.2 Potência necessária para o painel fotovoltaico	41
3.4.3 Escolha dos equipamentos e verificações	41
3.4.4 Dimensionamento dos condutores	43
3.4.5 Esboço das ligações e implantação	44
3.5 ORÇAMENTO	45
3.5.1 Viabilidade	46
4 DISCUSSÕES E CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

ANEXO A - Checklist LEED	59
ANEXO B - Fatura de energia elétrica	60
ANEXO C - Especificações módulo fotovoltaico	61
ANEXO D - Especificações inversor	62
ANEXO E - Simulação orçamento Ponto Solar	63
ANEXO F - Orçamento CM Solar	64
ANEXO G - Orçamento RM Solar	68

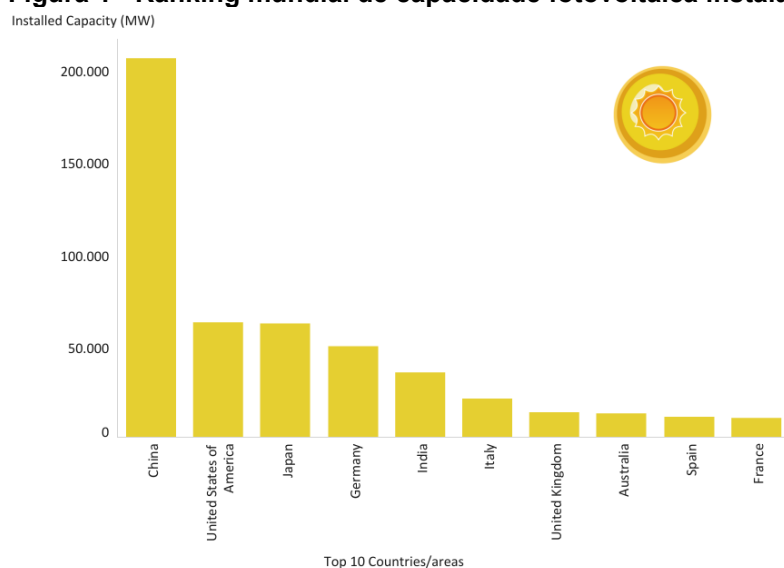
1 INTRODUÇÃO

Uma das primeiras e bem-sucedida aplicação da tecnologia fotovoltaica foi em 1958, em meio a corrida espacial entre Estados Unidos e União Soviética. Neste ano, a NASA aceitou incorporar um painel fotovoltaico, com aproximadamente 100 cm² e produção de quase 0,1 W, como *backup* da pilha química do satélite Vanguard I. O resultado foi positivo, a pilha falhou e o satélite se manteve operante durante oito anos com a fonte de energia solar (VALLÊRA, 2006).

Quase três décadas depois, no início dos anos 90, o Japão implementou uma política de subsídio a sistemas fotovoltaicos em edificações. Rella (2017), explica que essa iniciativa manteve o Japão na liderança em produção de energia solar fotovoltaica até 2006, quando foi superado pela Alemanha. Dessa forma, as políticas de incentivo à tecnologia, contribuem para a movimentação da economia com a ampliação do setor industrial e consequente redução nos custos para geração de energia de fonte solar.

O cenário mundial está em constante crescimento. Em 2015, como era esperado pelas estatísticas anteriores, a China assume a liderança global em capacidade instalada (43.545 MW), deixando a Alemanha em segundo lugar (39.224 MW). Na última atualização da IRENA (International Renewable Energy Agency), a China dispara mais ainda na liderança como pode ser observado no gráfico da Figura 1.

Figura 1 - Ranking mundial de capacidade fotovoltaica instalada



© IRENA

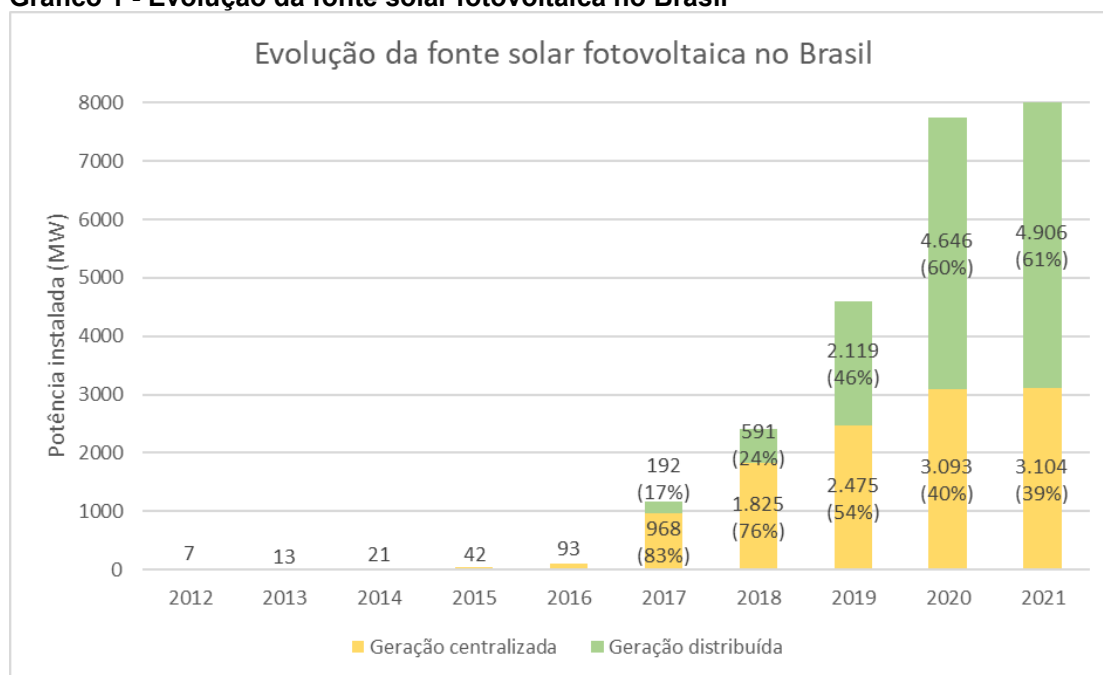
Fonte: IRENA, 2021.

No eixo x são representados os países. No eixo y, a capacidade fotovoltaica instalada em cada um. Mesmo não aparecendo entre os dez primeiros, o Brasil ocupa a 14ª posição no ranking mundial.

No Brasil, a primeira regulamentação sobre geração de energia solar fotovoltaica foi em 2012 com a Resolução Normativa nº 482 da Aneel. A partir deste momento se torna legal a instalação de sistemas de geração distribuída de energia elétrica. Ou seja, o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica, alimentar a rede com o excedente e obter créditos.

Apesar da regulamentação em 2012, somente começa a se observar maior relevância dessa tecnologia de 2016 para 2017, quando o país passa de 96 MW de potência instalada para 1.160 MW (soma de geração centralizada e distribuída). De acordo com a ABSOLAR (2021), o desenvolvimento desse setor foi responsável pela geração de mais de 240 mil empregos e arrecadação de mais de R\$ 11,9 bilhões em tributos. No Gráfico 1 é apresentada a evolução no uso da tecnologia no Brasil até dia 2 de março de 2021.

Gráfico 1 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil



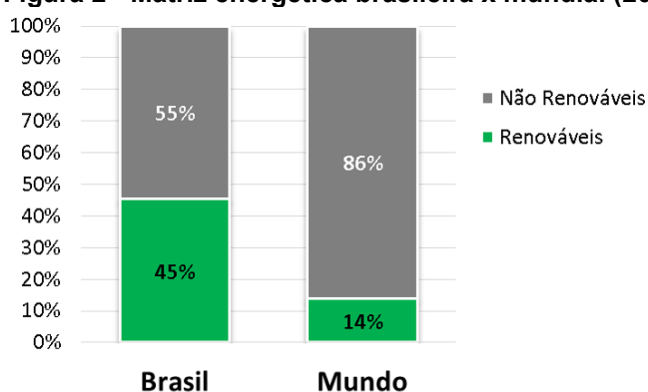
Fonte: adaptado de ABSOLAR, 2021.

No contexto de sustentabilidade, desde a década de 90, com a Rio 92, a ONU reúne os países para discussão de metas para o desenvolvimento sustentável. Em 2015, surge a Agenda 2030, documento que conta com 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável a serem alcançados até o ano de 2030.

Um destes 17 objetivos é: Energia Acessível e Limpa. As metas estabelecidas nesse âmbito estão relacionadas com melhoria da eficiência energética, aumento da participação de energias renováveis na matriz energética global e acessibilidade dos serviços de energia elétrica.

Na Figura 2, compara-se a matriz energética brasileira com a mundial. A matriz energética inclui energia elétrica, combustíveis, gás de cozinha, etc. Nesse contexto, o Brasil possui 45% da energia consumida proveniente de fontes renováveis, enquanto no cenário mundial dispõe-se de apenas 14% (EPE, s.d.).

Figura 2 - Matriz energética brasileira x mundial (2018)



Fonte: EPE, s.d.

Contabilizando apenas a matriz elétrica, o cenário é diferente. De acordo com o Balanço Energético Nacional (2020), 83% da energia elétrica brasileira é proveniente de fontes renováveis, principalmente por contribuição das hidroelétricas (64,9%). Porém, ainda é importante aumentar a contribuição de outras fontes renováveis, tanto para contribuir com a acessibilidade aos serviços quanto para suprir novas demandas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar um sistema solar fotovoltaico e calcular o *payback* para a instalação em uma empresa de São José dos Pinhais-PR.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Revisar bibliografia sobre a tecnologia fotovoltaica, normas, legislação pertinente, sua relação com certificações e potencial de geração do local;
- b) Avaliar o consumo de energia na edificação estudada;
- c) Dimensionar o sistema solar fotovoltaico para suprir a demanda média anual;
- d) Estimar o tempo em que a economia em energia elétrica irá se igualar ao valor do sistema dimensionado (*payback*);

1.2 JUSTIFICATIVA

Até a década de 70, a principal fonte de energia nacional era geração eletrotérmica, utilizando o petróleo (importado) como combustível. Porém, com a crise do petróleo (1973), o valor ficou tão elevado que o governo federal passou a incentivar a diversificação da matriz energética brasileira, implantando vários projetos de hidroelétricas. Porém, o consumo continuou crescente e períodos de estiagem desafiam a nova fonte de energia (CUNHA, 2010).

Em 2001, o Brasil passa por uma nova crise energética. Neste ano, as concessionárias de energia elétrica são obrigadas a destinar parte do seu lucro líquido em programas de eficiência energética e os consumidores também tiveram metas de redução do consumo impostas pelo governo federal. Cunha (2010), cita o caso de sucesso da *General Motors*, que precisava reduzir 15% e reduziu 22%.

Indústria e comércio, de acordo com o Balanço Energético Nacional (2020), são responsáveis por 35,9% e 17,4% do consumo de energia elétrica no Brasil, respectivamente. Apesar da demanda ser crescente, existem benefícios para que as empresas trabalhem com projetos de eficiência energética. Redução na fatura de energia elétrica e certificações (que refletem credibilidade) são frutos colhidos em empresas com essas iniciativas.

O Brasil possui grande potencial em geração de energia solar fotovoltaica. De acordo com o Atlas brasileiro de energia solar (2017), mesmo na localização menos ensolarada, pode-se gerar mais energia elétrica de fonte fotovoltaica que no local mais ensolarado da Alemanha.

Com a tendência de substituição dos veículos à combustão por elétricos, é válido apresentar um exemplo em que, junto com sistemas de geração distribuída, contribuem com as redes inteligentes (*smart grids*). Os veículos são carregados durante o dia em estações fotovoltaicas, e durante à noite (nos horários de pico – quando a energia é mais cara) possuem energia remanescente para alimentar as residências (MARTINS, 2017).

O horário de funcionamento dos estabelecimentos comerciais é, em média, 75% concomitante com o período de geração de energia solar fotovoltaica. Dessa forma, um sistema solar fotovoltaico conectado à rede teria pouco excedente para compensação, ou seja, em maior parte do tempo consumirá a energia que produz. Assim, também irá contribuir com as *smart grids*.

A empresa escolhida para o estudo de caso é do ramo da construção civil e o autor é prestador de serviços na área de projetos e responsável técnico pela fábrica de lajes treliçadas.

1.3 METODOLOGIA

O trabalho é dividido em duas etapas principais. A primeira consiste em revisão de literatura e a segunda, um estudo de caso. Por fim, será possível avaliar o impacto da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma empresa localizada em São José dos Pinhais-PR.

Na revisão de literatura serão apresentados os fundamentos da geração de energia elétrica através da radiação solar: como funciona o efeito fotovoltaico e de que forma se comportam os materiais. Depois, serão ranqueadas e estudadas as tecnologias existentes dos sistemas fotovoltaicos com maior utilização.

Ainda na etapa de pesquisa bibliográfica, será feita uma breve abordagem sobre a legislação que trata da tecnologia fotovoltaica conectada à rede no Brasil e normas relevantes. Além das questões legais, para situar o tema dentro do universo das construções sustentáveis, apontamentos sobre a influência da tecnologia nas certificações entram no escopo do trabalho.

Neste estudo de caso, será feita a caracterização do edifício com informações relevantes à implantação do sistema solar fotovoltaico: área de cobertura, orientação e inclinação dos telhados e caracterização dos equipamentos utilizados. Depois, será avaliada a fatura de energia elétrica e de que forma um sistema fotovoltaico pode contribuir para economia na fatura de energia elétrica.

Assim que as informações relevantes do edifício estiverem organizadas, se iniciará o processo de dimensionamento. Para esta etapa, serão utilizados dados de radiação do Atlas Solar do Paraná em conjunto com o programa RADIASOL na estimativa da radiação incidente no plano do telhado existente. Serão escolhidos equipamentos para o sistema dimensionado, haverá apresentação do orçamento e cálculo do *payback*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Na revisão de literatura a tecnologia fotovoltaica será abordada em sua concepção e depois serão apresentadas tecnologias representativas no mercado. Em seguida serão apresentadas legislação brasileira e normas pertinentes à sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Ainda serão abordadas certificações no que diz respeito à eficiência energética. Por fim, será feita uma breve revisão sobre o potencial do estado do Paraná em geração de energia solar fotovoltaica.

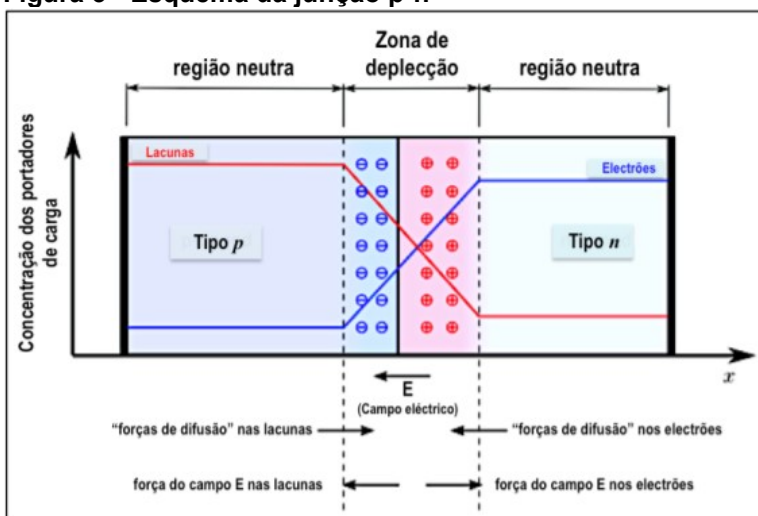
2.1 CONCEITOS DO EFEITO FOTOVOLTAICO

Efeito fotovoltaico é o processo de geração de energia elétrica por meio da radiação solar. Quando há radiação solar, os fótons que incidem sobre materiais semicondutores (purificados e dopados) provocam movimentação dos elétrons e geração de corrente elétrica (ESPOSITO, 2013).

É necessária grande quantidade de energia para que semicondutores conduzam corrente elétrica. Porém, de acordo com Portnoi (2013), sua condutividade pode aumentar em temperaturas altas ou com adição de impurezas, pelo processo de dopagem. Dependendo da impureza adicionada, pode-se obter um semicondutor tipo p, de carga positiva, ou um semicondutor tipo n, de carga negativa.

A união dos semicondutores, tipo p e n, é chamada de junção p-n ou simplesmente de diodo. Carneiro (2010), explica que na região em que são unidos, há uma interação entre as cargas positivas e negativas, formando a chamada zona de depleção (Figura 3). Esse tipo de arranjo é muito empregado na indústria eletrônica, nas lâmpadas de led, e também nas células fotovoltaicas.

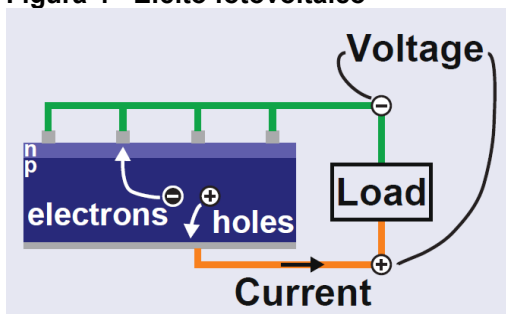
Figura 3 - Esquema da junção p-n



Fonte: CARNEIRO, 2010.

Quando há incidência de radiação solar sobre a junção p-n da célula solar, os fótons fornecem energia para que os elétrons se unam às cargas positivas. Porém, em função do campo elétrico da zona de depleção, os elétrons acabam se acumulando na região n e as cargas positivas na região p. Dessa forma, com a união dos terminais da célula solar, surge uma corrente elétrica, conforme a Figura 4 (PRIEB, 2002).

Figura 4 - Efeito fotovoltaico



Fonte: SCHMALENSEE, 2015.

É importante ressaltar que o efeito fotovoltaico é diferente do efeito fotoelétrico, que rendeu o Nobel de Física de 1921 a Albert Einstein. Halliday (2012) apresenta conceitos do efeito fotoelétrico, que consiste em submeter um metal à radiação luminosa com frequência suficiente para que os elétrons sejam emitidos. No efeito fotovoltaico, os elétrons não são expelidos do material, além de serem utilizados diodos e não apenas um metal.

O próximo tópico aborda as tecnologias fotovoltaicas existentes no mercado, e em alguns momentos os termos "célula" e "módulo" se misturam. Portanto, antes

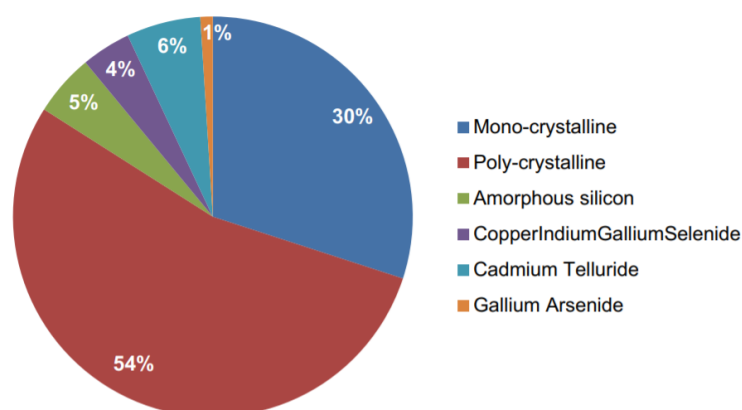
de iniciar a próxima etapa do trabalho, serão diferenciados alguns conceitos com base na NBR 18899 (2020):

- A **célula fotovoltaica** é o dispositivo elementar feito para converter energia solar em energia elétrica. Quando um conjunto de células são reunidas e interligadas eletronicamente, se tem um **módulo fotovoltaico**.
- Um **sistema fotovoltaico** é composto por um **arranjo/painel fotovoltaico** (conjunto de módulos ligados em série/paralelo) e outros equipamentos necessários como inversor, fiação, dispositivos de proteção, etc.

2.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

As tecnologias fotovoltaicas comercializadas no mercado podem ser divididas em duas categorias: cristais de silício (primeira geração) e filmes finos (segunda geração). O Silício é um material abundante na natureza e não tóxico. Além disso, células de Silício não precisam de uma quantidade muito grande de radiação para converter energia solar em elétrica. Por outro lado, devido às propriedades ópticas, células de silício precisam ser mais espessas (mais matéria prima necessária) e o grau de pureza deve ser maior (WÜRFEL, 2005).

Células de filmes finos possuem eficiência inferior às de cristais de silício, mas como possuem melhor absorção de luz, sua espessura é reduzida e menor quantidade de material é necessária para produção. Ogbomo *et. al.* (2016), elaboram uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas existentes no mercado. No Gráfico 2 pode-se observar que as células de silício cristalino, da primeira geração, representam 84%.

Gráfico 2 - Tecnologias fotovoltaicas no mercado

Fonte: OGBOMO et. al., 2016.

Além das tecnologias do Gráfico 2, hoje já se fala sobre a terceira geração de módulos fotovoltaicos, em estágio de desenvolvimento. As novas tecnologias são as células solares orgânicas (OSG), sensibilizadas por corante (CSSC) e de múltiplas junções, explica Bühler et. al. (2018).

Nos próximos tópicos são abordadas as tecnologias fotovoltaicas relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Tecnologias fotovoltaicas revisadas no trabalho

SILÍCIO CRISTALINO	Silício Monocristalino (m-Si)
	Silício Policristalino (p-Si)
FILMES FINOS	Silício Amorfo (a-Si)
	Telureto de Cádmio (CdTe)
	Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)

Fonte: o autor, 2021.

2.2.1 Silício Monocristalino (m-Si)

De acordo com Bühler *et. al.* (2018), as células são obtidas a partir da laminação de um cilindro de silício, proveniente do crescimento de um único cristal com alto grau de pureza. Assim, para aumentar a área das células no módulo, e consequentemente melhorar a eficiência, as lâminas cilíndricas são moldadas em formato octogonal (Figura 5).

Fabricar células de Silício Monocristalino é um processo complexo e caro. Para Kumar e Kumar (2017), a fabricação das lâminas de silício representa 40% do custo de produção do módulo.

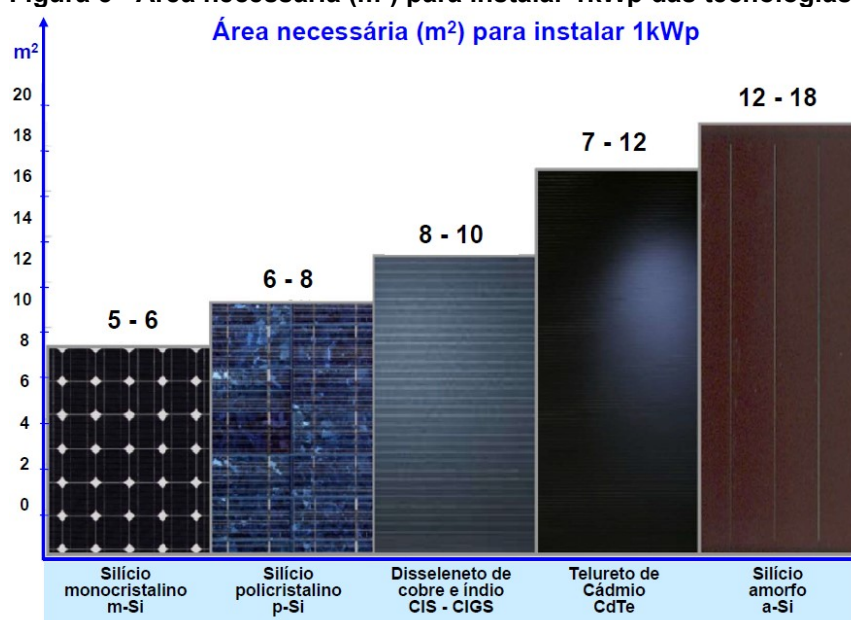
A eficiência de conversão de energia desses módulos pode chegar em até 25%. Por outro lado, o sombreamento de apenas uma célula do módulo reduz significativamente a geração de energia do módulo (OGBOMO *et. al.*, 2016).

2.2.2 Silício Policristalino (p-Si)

Células de Silício Policristalino podem ter eficiência de até 20% e seu custo de produção é menor que as de Silício Monocristalino, mas ainda é alto comparando com os filmes finos. Nestes módulos, a geração de energia também reduz de maneira significativa quando uma de suas células está sombreada (OGBOMO *et. al.*, 2016).

Essa é a tecnologia dominante no mercado. As células de Silício Policristalino são obtidas pelos cortes de um cubo proveniente da solidificação de inúmeros cristais de silício, explica Bühler *et. al.* (2018). Em função do formato dos cortes do cubo (quadrados), o módulo possui maior área ocupada por células fotovoltaicas, o que possibilita sua eficiência ser próxima ao de Silício Monocristalino (Figura 5).

Figura 5 - Área necessária (m²) para instalar 1kWp das tecnologias FV



Fonte: JUNIOR, 2019.

2.2.3 Silício Amorfo (a-Si)

Essa é a primeira tecnologia de filmes finos. As células são compostas por um sanduíche de uma fina camada de silício amorfo (1 μ m) entre dois painéis de

vidro. Por consequência de o silício amorfo possuir melhor absorção luminosa, menor quantidade de silício é utilizada, implicando em um custo menor de produção. (OGBOMO *et. al.*, 2016).

Segundo Ogbomo *et. al.* (2016), a eficiência na conversão de energia desses módulos varia entre 6 e 13%. Módulos de silício amorfo possuem melhor funcionamento em temperaturas mais altas e melhor taxa de conversão de energia em situações de sombreamento que as tecnologias de silício cristalino. Porém, são mais frágeis e mais pesados.

Bühler *et. al.* (2018), afirma que sua principal desvantagem é a necessidade de um período aproximado de 5 meses para adquirir estabilidade. Para Kumar e Kumar (2017), a queda de eficiência durante o período de estabilização varia entre 15 e 35%.

2.2.4 Telureto de Cádmio (CdTe)

O Cádmio é um material abundante por ser um subproduto do zinco, de acordo com Ogbomo *et. al.* (2016). Contudo, é um material extremamente perigoso à saúde humana, inclusive com restrições legais. O Telúrio é obtido principalmente do refino eletrolítico do cobre, segundo Kumar e Kumar (2017).

Apesar da toxicidade do Cádmio por si só, o a mistura com o Telúrio, que forma o CdTe, torna o elemento mais estável e menos solúvel, portanto é mais ambientalmente aceito. A tecnologia mais utilizada no mercado de filmes finos é a de células compostas por Telureto de Cádmio, conforme apresentado no Gráfico 2 (OGBOMO *et. al.*, 2016).

A eficiência dos módulos de CdTe pode chegar a 21%, e é a única tecnologia de filmes finos com capacidade de concorrer com os módulos de Silício Cristalino. O custo de produção das células é significativamente menor, devido à quantidade de material utilizado, que representa de 1% a 2% do utilizado nas de p-Si (BÜHLER *et. al.*, 2018).

2.2.5 Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)

Assim como as células de a-Si, possuem alto coeficiente de absorção luminosa com uma espessura média de apenas 2 μm . Além disso, sua eficiência pode ser equivalente às células de CdTe (BÜHLER *et. al.*, 2018).

Segundo Ogbomo *et. al.* (2016), a fabricação de módulos de CIGS é mais barata que os de Silício Cristalino e possuem a performance pouco afetada pelo sombreamento. Por outro lado, o que dificulta a concorrência entre as células de filmes finos é o custo ser maior que os módulos de CdTe.

Na manufatura dessas células, se utiliza o CIGS como semicondutor tipo p e o Sulfeto de Cádmio (CdS) como semicondutor tipo n. Também, é importante vantagem, a adaptação na fabricação dos módulos para se obter substratos flexíveis (LIMA, 2017).

2.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS BRASILEIRAS

Com relação à legislação serão abordadas as Resoluções Normativas nº 482 (2012), e sua sucessora, nº 687 (2015) da ANEEL. Elas tratam apenas de sistemas de geração que funcionam por compensação de energia elétrica.

As normas interpretadas serão NBR 10899 (2020), NBR 16690 (2019) e NTC 905200 (2021). Estas são constituídas por conteúdo mais técnico referente a projetos de sistemas solares fotovoltaicos.

2.3.1 Resolução Normativa nº 482 (2012)

Esse é o primeiro regulamento no Brasil sobre geração distribuída de energia. A partir de 2012, com a RN nº 482, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece parâmetros legais sobre compensação entre a energia ativa gerada pelas unidades consumidoras (injetada na rede) e a energia ativa consumida proveniente da concessionária.

No regulamento define-se diferença entre microgeração (sistemas de até 100kW de potência instalada) e minigeração (sistemas com potência instalada entre 100kW e 1MW). Também é possibilitada a utilização dos créditos de energia, com validade de 36 meses, em mais de uma unidade pertencente ao mesmo titular.

Outro importante ponto abordado é sobre a potência dos sistemas que cada grupo de consumidor pode adotar. Os consumidores do grupo B (tensão inferior a 2,3kV) são limitados à carga instalada na unidade, e os do grupo A (alta tensão) possuem a potência da central geradora limitada à demanda contratada. Caso o sistema gerador adotado exceda os limites estabelecidos, é necessária adequação no sistema de distribuição.

Por fim, mesmo que o consumidor gere toda energia que consome, ainda não é possível deixar de contribuir com a concessionária, pois existe uma infraestrutura a ser mantida para proporcionar o funcionamento do sistema. Portanto, existe uma taxa mínima cobrada de cada grupo de consumidor, para o grupo B é o custo de disponibilidade e para o grupo A, a demanda contratada.

2.3.2 Resolução Normativa nº 687 (2015)

Esse regulamento é uma atualização da resolução normativa nº 482 (2012). As principais modificações foram com relação ao período de aprovação do sistema pela concessionária (de 82 para 34 dias), prazo para uso de créditos (de 36 para 60 meses) e limites de micro e minigeração. A potência instalada, de sistemas de microgeração, é alterada para até 75kW; já para minigeração, entre 75kW e 5MW.

Além de remodelar algumas definições, na RN nº 687 (2015) são apresentadas três novas definições para grupos de consumidores:

- 1) Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: os sistemas geradores podem ser instalados em áreas comuns e os créditos divididos entre os condôminos;
- 2) Geração compartilhada: consumidores distintos, abastecidos pela mesma concessionária podem compartilhar os créditos de energia gerados, desde que estejam associados por meio de cooperativa ou consórcio;
- 3) Autoconsumo remoto: desde que os dois imóveis possuam a mesma titularidade e sejam abastecidos pela mesma concessionária, é possível alocar o sistema gerador em uma unidade diferente da que será beneficiada com os créditos.

2.3.3 NTC 905200 (2021)

Essa é a norma técnica que aborda os requisitos de acesso ao sistema da COPEL de micro e minigeração distribuída. Foi estabelecido pela Resolução normativa nº 482 (2012) da ANEEL que as concessionárias de energia elétrica devem fornecer as normas técnicas referentes ao sistema de compensação.

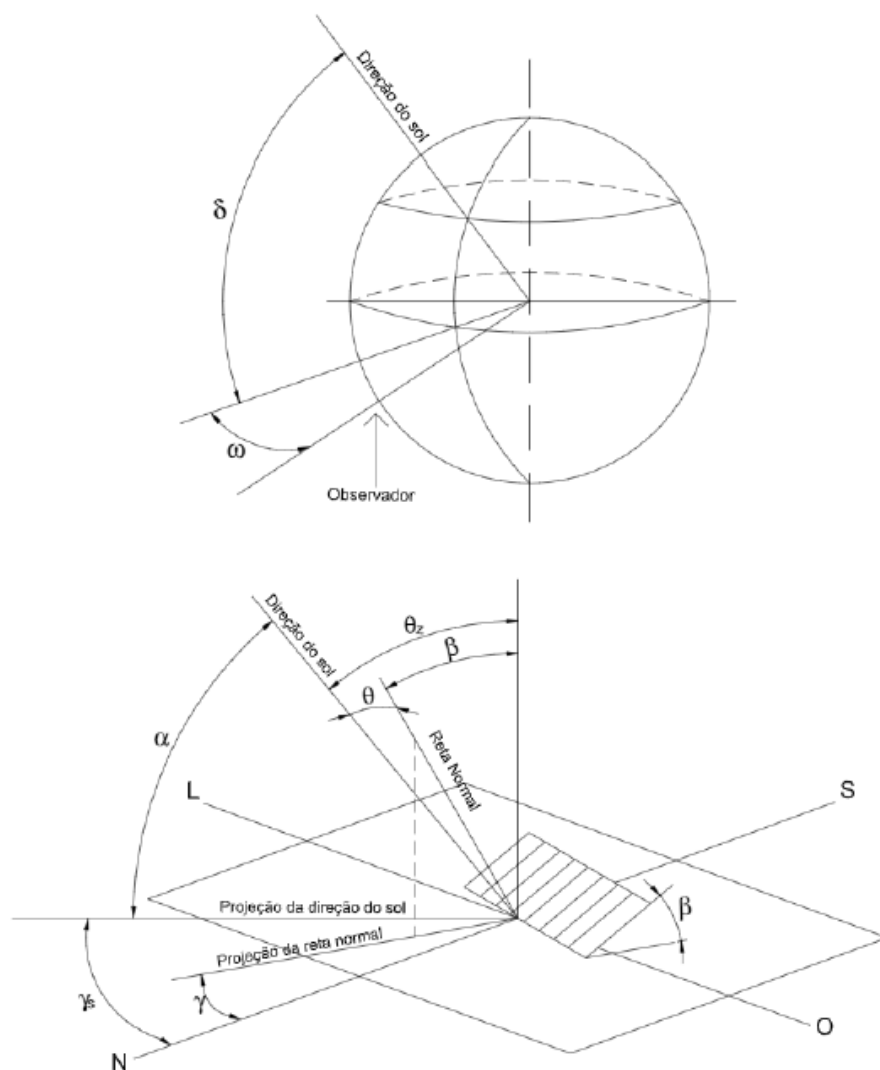
O escopo da NTC 905200 (2021, p.5) abrange “critérios técnicos de projeto, proteção, medição, controle, segurança e operação de unidades geradoras, os procedimentos definidos no PRODIST e a regulamentação vigente”. É válido

ressaltar que esta norma não se aplica para centrais geradoras com potência instalada de geração maior que 5MW ou que queiram comercializar a energia gerada.

2.3.4 NBR 10899 (2020) e NBR 16690 (2019)

A NBR 10899 (2020) apresenta os termos e definições relativos a instalações de sistemas solares fotovoltaicos. Ângulos notáveis da incidência solar (Figura 6), formas de irradiação e irradiância solar e termos técnicos relativos ao funcionamento do sistema solar fotovoltaico são alguns dos conceitos definidos pela norma.

Figura 6 - Ângulos notáveis em energia solar



Legenda:	α - elevação ou altura solar	β - inclinação de uma superfície
δ - declinação solar	θ_z - ângulo zenital	γ - ângulo azimutal de uma superfície
ω - ângulo horário solar	θ - ângulo de incidência	γ_s - ângulo azimutal do sol

Fonte: NBR 10899 (2020, p.10)

Enquanto a primeira norma traz a nomenclatura técnica, a NBR 16690 (2019) é mais específica, com requisitos de projetos para arranjos fotovoltaicos. Fica explícito que o objetivo do documento é garantir a segurança, estabelecendo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico.

A NBR 16690 (2019) se limita apenas com relação a baterias para armazenamento de energia. Abordando-as apenas em situações que envolvem a segurança das instalações ou pequenas unidades para condicionamento de potência em corrente contínua conectadas a um ou dois módulos.

Além do entendimento da Figura 6, é importante compreender mais alguns conceitos básicos, importantes para dimensionamento de um sistema gerador:

- Radiação solar: forma de transferência da energia solar, através de ondas eletromagnéticas, em W/m^2 . Pode incidir de forma direta, difusa (pelas nuvens, por exemplo) ou de albedo (refletida).
- Irradiância: radiação solar incidente por unidade de área em um instante específico (W/m^2).
- Irradiação: é a irradiância incidente em um determinado período (Wh/m^2).
- Potência de pico/nominal: potência de saída de um gerador fotovoltaico, sob condições de ensaio, medida em Watt pico (Wp).
- Tensão de circuito aberto: tensão gerada através de um gerador fotovoltaico sem carga (aberto), para valores pré-estabelecidos de temperatura e irradiância (Voc).
- Eficiência de conversão fotovoltaica: $\eta = [P_{MP}/(A \cdot G_{TOT})] \cdot 100$, em que:
 - P_{MP} é a potência máxima fornecida;
 - A é a área do módulo ou célula;
 - G_{TOT} é a irradiância total.

2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

Para a arquitetura, a eficiência energética está relacionada com o potencial de uma edificação em proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com um baixo consumo de energia elétrica. Nesse sentido a avaliação é feita por comparação. Entre dois edifícios que oferecem as mesmas condições de conforto, o mais eficiente será o que consumir menos energia elétrica (LAMBERTS, 2014).

No âmbito de eficiência energética para a arquitetura, o conforto térmico é o exige energia, com sistemas de aquecimento ou arrefecimento dos ambientes. Dessa forma, quando as edificações adotam um sistema para geração de energia solar fotovoltaica, passam a compensar o consumo com os sistemas de condicionamento de ar produzindo a energia que consomem total ou parcialmente.

Por outro lado, com a arquitetura bioclimática é possível adotar estratégias construtivas para minimizar a necessidade de sistemas para climatização. Para tornar prática a aplicação dessas técnicas não faltam ferramentas. As mais complexas envolvem simulação computacional para estimativa da redução do consumo de energia elétrica, porém existem outras maneiras de se aplicar.

As normas brasileiras NBR 15575 (2013) e NBR 15220 (2005), estabelecem parâmetros mínimos de desempenho térmico para cada componente construtivo em edificações de acordo com a região. Ainda, é possível consultar o site “ProjetoEEE”, que vai compilar todas as recomendações das normas de uma forma ilustrada e prática. Na plataforma, de acordo com a cidade para a qual se deseja projetar, são fornecidos dados do clima, estratégias bioclimáticas, componentes construtivos adequados e equipamentos.

A utilização de fontes alternativas e renováveis de energia (que é o caso da tecnologia solar fotovoltaica), para um edifício que busca máxima eficiência, é uma estratégia complementar. Isso significa que, idealmente é avaliada após a implementação de estratégias bioclimáticas e componentes construtivos adequados para consumir menos energia. Por consequência, os geradores provavelmente poderão ser “menores”, já que o edifício terá uma demanda menor de energia.

2.4.1 Certificação LEED

O LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é uma certificação americana para construções sustentáveis. O projeto dessa certificação surgiu na década de 90, a partir da fundação do USGBC (*U.S. Green Building Council*). Seu principal objetivo é incentivar práticas sustentáveis em projetos, operação e manutenção dos edifícios (USGBC, 2021).

No Brasil, é uma certificação representativa. De acordo com o GBC Brasil (2018), no ranking mundial, o país é o 5º. Com maior número de metros quadrados certificados (16,74 milhões) e 530 projetos.

Na imagem abaixo, observa-se o edifício da empresa de RAC Engenharia (Curitiba-PR), que foi certificada na categoria *Platinum*, obtendo a maior pontuação entre os edifícios da América Latina. A sede da empresa é autossustentável em água e energia elétrica. A cobertura é composta por módulos fotovoltaicos.

Figura 7 - Projeto sede RAC Engenharia



Fonte: RAC Engenharia S.A., s.d.

As exigências da certificação levam em conta o terreno da obra, uso racional da água, eficiência energética, materiais, qualidade do ambiente interno, inovação e prioridade regional. O peso da categoria “Energia e atmosfera” para novas construções é de 30%. Porém a subcategoria “Produção de energia renovável” tem um impacto de apenas 2,7% na pontuação final (*checklist* da certificação no anexo A -).

2.4.2 Certificação AQUA HQE

Aplicada no Brasil pela Fundação Vanzolini, a certificação AQUA HQE foi desenvolvida com base na certificação francesa *Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)*. Presente no país desde 2008, a certificação leva em conta cultura, clima e normas/regulamentações brasileiras (Fundação Vanzolini, s.d.)

De acordo com a Fundação Vanzolini (2020), existem 376 Processos de certificação concluídos, em andamento e de certificação contínua no Brasil. Entre as construções certificadas, é importante citar as lojas da Leroy Merlin (Figura 8). Após adequações para a certificação em 2017, cada unidade teve economia em energia média de R\$ 285 mil por ano (23%).

Figura 8 - Leroy Merlin Curitiba



Fonte: LEROY MERLIN, s.d.

Na certificação AQUA HQE para edifícios não residenciais, o tema “Energia” tem 25% de influência na pontuação final. Por outro lado, a geração de energia por fonte renovável tem impacto de apenas 7,8% no tema “Energia”. Desse modo, é confirmada a importância de estratégias construtivas que proporcionem mais eficiência às edificações (VANZOLINI, 2016).

2.4.3 PBE Edifica

A história do Programa Brasileiro de Etiquetagem, PBE, surge na década de 80, como forma de contribuir para a racionalização da energia elétrica em função da Crise do Petróleo. Hoje, existem 38 Programas de Avaliação de Conformidade, um deles contempla as edificações, que é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL (PBE Edifica, s.d.)

Figura 9 - PBE Edifica



Fonte: PBE Edifica, s.d.

Neste caso, novamente se confirma que a eficiência energética é resultado da integração de soluções e estratégias construtivas eficientes, iluminação e os sistemas utilizados. Na Figura 10, observa-se que “Energia solar fotovoltaica” aparece como bonificação na etiqueta.

Figura 10 - Etiqueta PBE Edifica



HOTEL GO INN
Curitiba/PR
13/08/2014

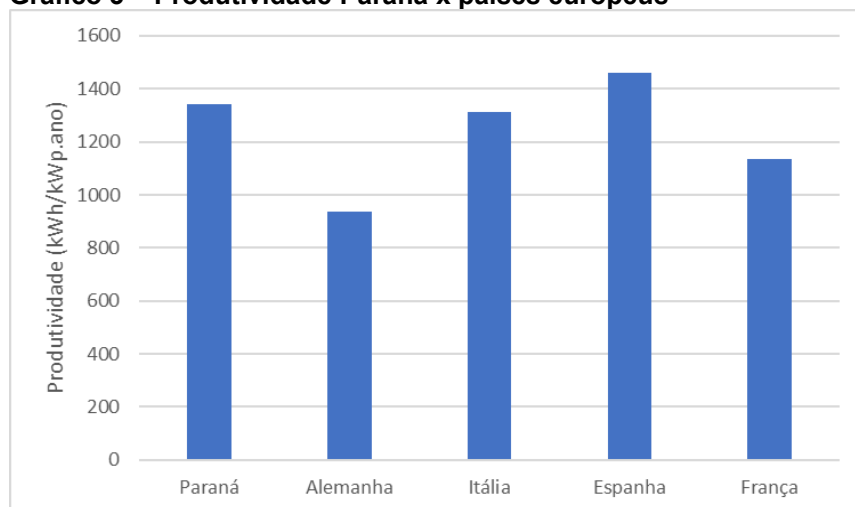


Fonte: PBE Edifica, 2021.

2.5 POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO PARANÁ

Entre os 10 países do mundo em capacidade fotovoltaica instalada, 4 são europeus: Alemanha, Itália, Espanha e França. Entre estes, o estado do Paraná só não possui melhor produtividade média anual que a Espanha. Essa comparação é ilustrada no gráfico a seguir.

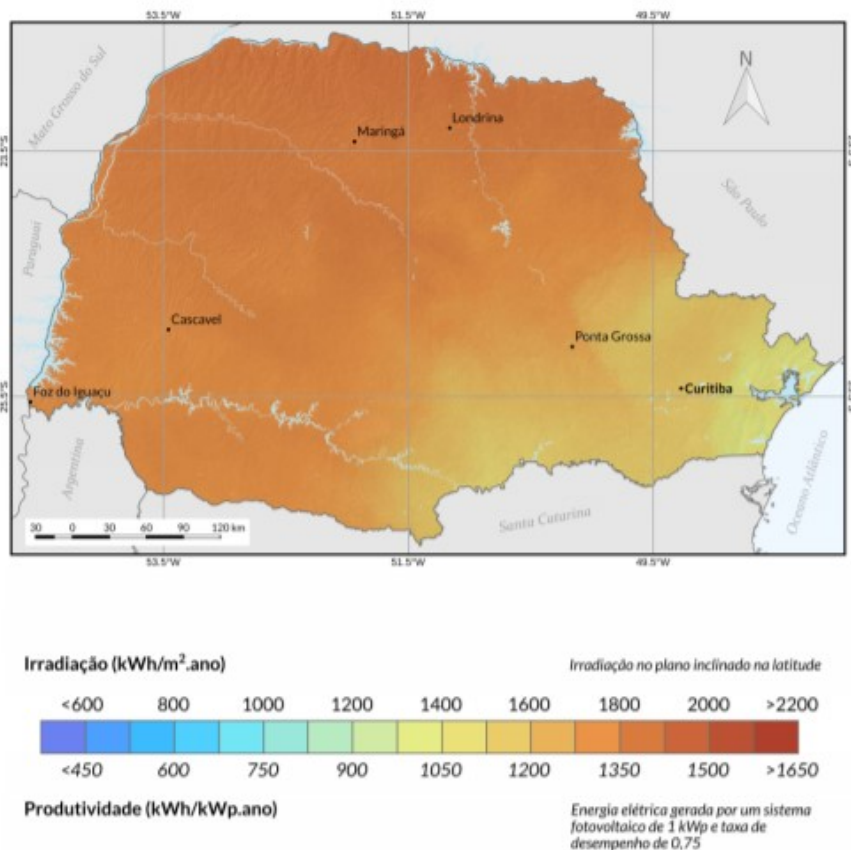
Gráfico 3 – Produtividade Paraná x países europeus



Fonte: Atlas Solar do Estado do Paraná, 2017.

No estudo apresentado no Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (2017), é considerado um sistema fotovoltaico conectado à rede com 1kWp, inclinação igual à latitude do local e desempenho de 75%. Na imagem a seguir, o potencial do Paraná é ilustrado de forma gráfica.

Figura 11 - Mapa de irradiação e produtividade do Paraná



Fonte: Atlas Solar do Estado do Paraná, 2017.

Ainda no estado do Paraná, pode ser citado o caso de aplicação no Escritório Verde da UTFPR. Inaugurado em dezembro de 2011, é um projeto inovador com várias estratégias de construções sustentáveis. Na edificação, foi instalado um sistema solar fotovoltaico de 2,1 kWp (JUNIOR *et. al.*, 2014).

De acordo com o acompanhamento da operação do sistema fotovoltaico, a produção de energia se mostrou conforme as expectativas de cálculo. A manutenção foi apenas de limpeza dos painéis. Portanto, JUNIOR *et. al.* (2014), concluem que o sistema é de alta confiabilidade e consideram a tecnologia fotovoltaica promissora na geração distribuída.

A edificação é autossuficiente em energia elétrica. Ainda, é válido ressaltar que, como sua concepção teve abrangência no contexto de construções

sustentáveis, outras estratégias da arquitetura bioclimática contribuíram para sua eficiência energética. A fachada do escritório é apresentada na figura abaixo.

Figura 12 - Escritório Verde UTFPR



Fonte: JUNIOR *et. al.*, 2014.

3 ESTUDO DE CASO

A viabilidade da instalação do sistema solar fotovoltaico será feita para a empresa CASA VIVA PRE MOLDADOS LTDA. É uma empresa de pequeno porte, localizada em São José dos Pinhais-PR, atuante na construção de casas pré-fabricadas e comercialização de lajes treliçadas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

A utilização do terreno é mista. No escritório são atendidos os clientes que desejam comprar kits de casas pré-fabricadas de concreto ou madeira, no restante do terreno são armazenados materiais de construção, é feita a fabricação de elementos pré-fabricados de concreto e beneficiamento de madeira.

Na Figura 13 observa-se a imagem de satélite com o endereço do terreno em São José dos Pinhais-PR. Foi feita demarcação do terreno na cor amarela e as coberturas com menor rotação em relação ao norte (40° no sentido horário) foram circuladas em vermelho.

Figura 13 - Imagem de satélite do terreno



Fonte: Google, 2021.

O que consome energia elétrica no escritório são 5 computadores, iluminação do ambiente, condicionamento de ar e geladeira da cozinha. No restante, existe a máquina para beneficiamento de madeira, betoneira e mesa vibratória para fabricação das peças de concreto. Para suprir a demanda de energia elétrica, o padrão de entrada de energia elétrica é trifásico com 200A. Na imagem abaixo são apresentados os itens descritos neste parágrafo.

Figura 14 – Imagens para caracterização do consumo de energia



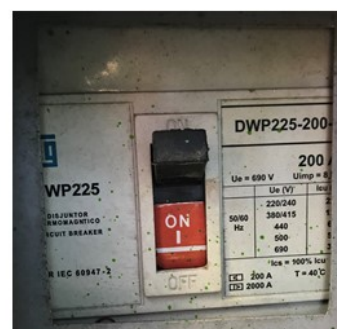
I – Escritório



II – Máquina beneficiamento madeira



III – Área de manufatura de elementos pré-fabricados de concreto



IV – Disjuntor do padrão

Fonte: o Autor, 2021.

3.2 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A fatura de energia elétrica da concessionária COPEL completa, cujos valores são transcritos na Tabela 1, pode ser consultada no apêndice a: anexo B -. Além do consumo de energia e sua respectiva tarifa, é importante a informação de que o padrão de entrada de energia é trifásico. De acordo com a Resolução Normativa nº 687 (2015), o custo de disponibilidade para o estabelecimento é o equivalente a 100kWh/mês (valor mínimo a ser cobrado).

No último mês de leitura na fatura (março de 2021) o consumo superou em mais de 60% da média. É possível que neste mês tenham sido esquecidos alguns equipamentos ligados durante o horário não comercial (como o ar condicionado), já

que em conversa com o proprietário e funcionários foi esclarecido que não houve aquisição de equipamento novo ou maior volume de trabalho das máquinas. Como o valor representa uma situação atípica foi desconsiderado (inclusive das médias da Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo fatura energia elétrica

Data	Consumo (kWh/mês)	Valor	R\$/kWh
Março 2021	932	R\$ 799,66	R\$ 0,86
Fevereiro 2021	544	R\$ 469,20	R\$ 0,86
Janeiro 2021	673	R\$ 613,54	R\$ 0,91
Dezembro 2020	646	R\$ 563,90	R\$ 0,87
Novembro 2020	497	R\$ 412,25	R\$ 0,83
Outubro 2020	579	R\$ 476,54	R\$ 0,82
Setembro 2020	532	R\$ 442,49	R\$ 0,83
Agosto 2020	501	R\$ 415,65	R\$ 0,83
Julho 2020	436	R\$ 374,88	R\$ 0,86
Junho 2020	470	R\$ 407,91	R\$ 0,87
Mai 2020	416	R\$ 362,19	R\$ 0,87
Abril 2020	517	R\$ 451,71	R\$ 0,87
Março 2020	601	R\$ 526,00	R\$ 0,88
MÉDIA ANUAL	534	R\$ 459,69	R\$ 0,86

Fonte: o Autor, 2021.

3.3 POTENCIAL DE GERAÇÃO

Como já foi discutido no item anterior, é necessário descontar o custo de disponibilidade para o cálculo de geração de energia pelo sistema fotovoltaico. Portanto, a média anual que pode ser gerada é 434 kWh/mês.

De acordo com Tiepolo (2020), a cada 1 kWp instalado em condições ideais (inclinação igual à latitude do local para sistema conectado à rede), e considerando as perdas do sistema, a energia gerada é 103 kWh/mês. Considerando a demanda do parágrafo anterior, um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, deverá ter potência aproximada de 4,21 kWp, se instalado em condições ideais.

Considerando ainda, como exemplo, a utilização da tecnologia de silício policristalino, em que são necessários até 8,00 m² para 1 kWp (Figura 5). A área de telhado necessária para implantação do sistema é de, no mínimo, 33,68 m². Como o menor telhado da Figura 13 possui 40,0 m², é pouco provável que seja necessário utilizar outra cobertura.

Na Figura 15 é apresentada uma foto da estrutura a ser utilizada como apoio dos módulos. A inclinação do telhado é 15% (8,53°) e o deslocamento, como já descrito anteriormente, é de 40° do Norte, no sentido horário. Como ponto positivo, observa-se que existe pouco sombreamento na superfície da cobertura por construções/estruturas nas proximidades.

Figura 15 - Local de implantação dos módulos

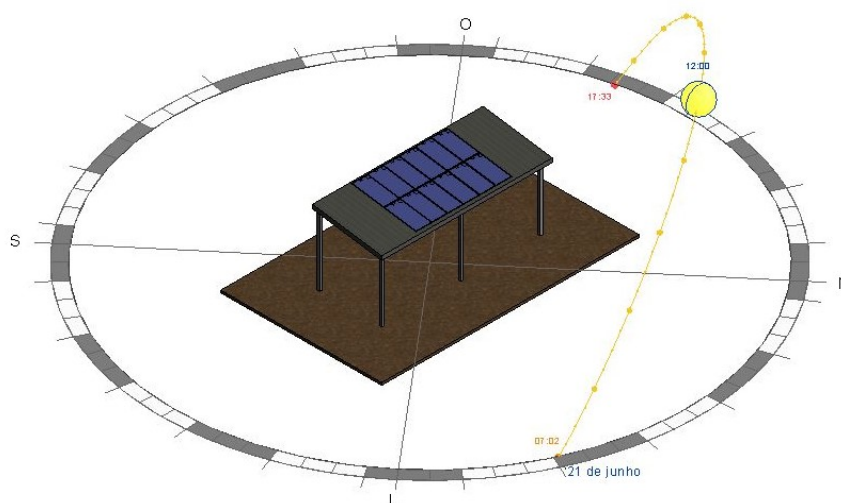


Fonte: o Autor, 2021.

Existe a possibilidade de ser construída uma estrutura de apoio aos módulos que proporcione condições ideais na geração de energia elétrica. Porém, essa solução mudaria o layout do pátio da empresa, portanto não será considerada.

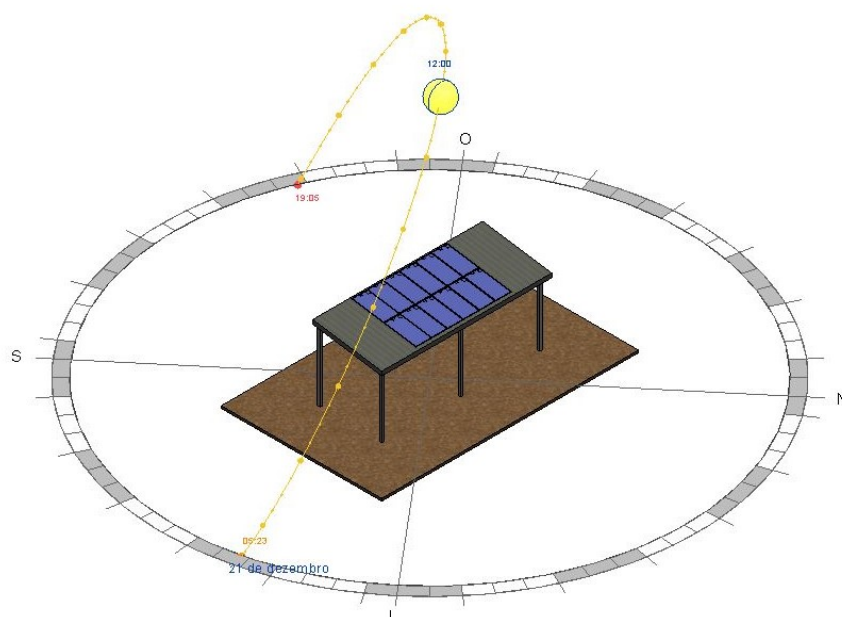
Com objetivo de visualizar a interação entre a cobertura e o sol, foi feita uma modelagem da estrutura no programa Revit. A simulação da trajetória solar no solstício de inverno (21 de junho) e solstício de verão (21 de dezembro) estão apresentadas nas figuras abaixo. Essas duas datas representam, respectivamente, a menor e a maior insolação do ano naquela posição geográfica.

Figura 16 - Solstício de inverno



Fonte: o Autor, 2021.

Figura 17 - Solstício de verão



Fonte: o Autor, 2021.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Sabe-se que a demanda média anual de energia elétrica que pode ser suprida por gerador solar é de 434 kWh/mês, já descontando o custo de disponibilidade. Sabendo disso, para estimar o potencial de geração de maneira precisa, é necessário entender a incidência solar no plano do telhado.

3.4.1 Irradiação no plano da cobertura

O primeiro passo é acessar os dados de irradiação, do mapa interativo *online* do Atlas de energia solar do estado do Paraná (2021). Os dados retirados do banco de dados online são referentes à irradiação no plano horizontal, como se observa na Figura 18, que também traz informações de localização geográfica.

Figura 18 - Irradiação Global Horizontal

Irradiação Global Horizontal	
Valores diários (kWh/m ² .dia)	
Janeiro	5.34
Fevereiro	5.15
Março	4.51
Abril	3.76
Maio	3.07
Junho	2.74
Julho	2.89
Agosto	3.84
Setembro	3.82
Outubro	4.37
Novembro	5.26
Dezembro	5.55
Primavera	4.48
Verão	5.35
Outono	3.78
Inverno	3.16
Anual	4.19
Total Anual	(kWh/m ² .ano)
	1529
Localização Geográfica	
Latitude	-25.5200347712707°
Longitude	-49.18713505169114°
Município	São José dos Pinhais
Mesorregião	METROPOLITANA DE CURITIBA

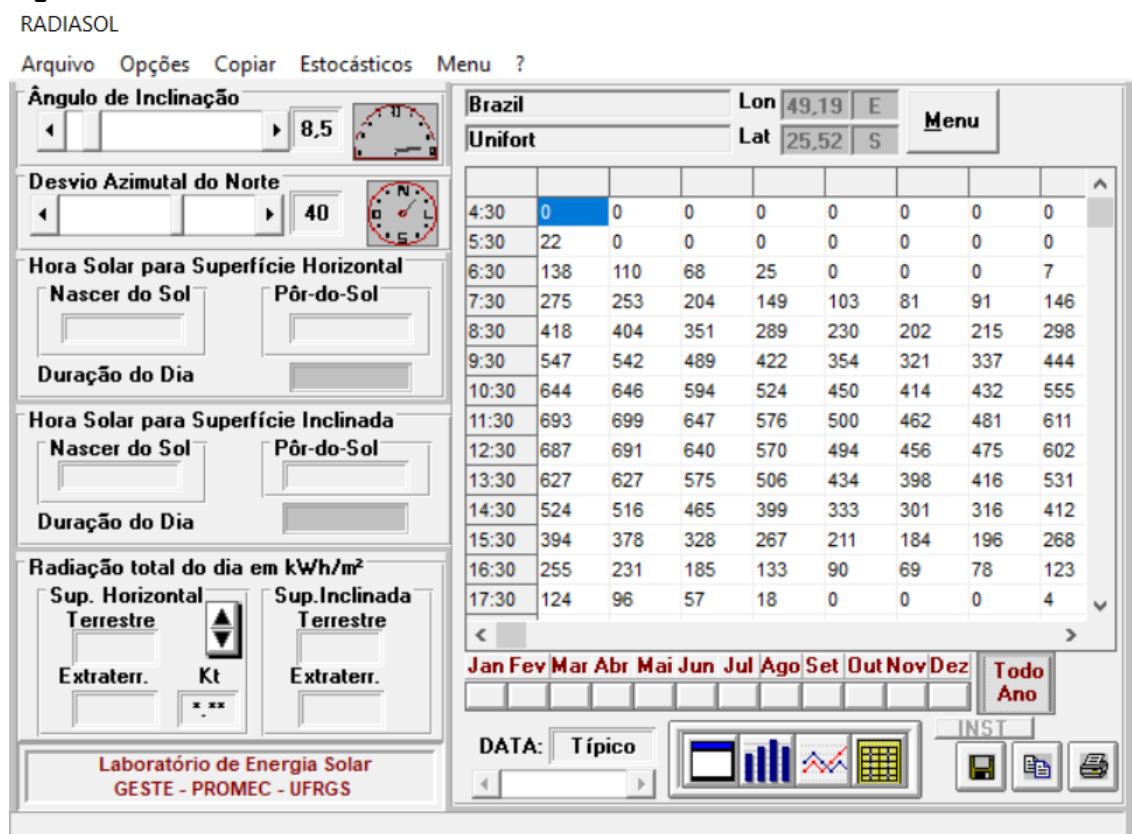
Fonte: Atlas de energia solar do estado do Paraná, 2021.

Em um sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFCE), de acordo com Urbanetz Junior (2019), para melhor aproveitamento, o ideal é que os módulos

possuam a mesma inclinação da latitude ($25,52^\circ$) e estejam orientados para o norte. Porém, no estudo de caso será considerada a implantação do sistema na estrutura existente, que possui $40,0 \text{ m}^2$ de cobertura e dados de inclinação e rotação com relação ao norte descritos no item 3.3. Portanto, utiliza-se o programa RADIASOL para obtenção dos dados de irradiação no plano real da cobertura.

A entrada de dados no programa se divide em duas etapas. A primeira é transcrição dos dados da Figura 18, depois são informados os ângulos de inclinação do telhado e desvio azimutal do Norte. Na imagem abaixo apresenta-se o *layout* do RADIASOL, já com parte dos resultados de irradiação no plano inclinado, divididos por horário.

Figura 19 - Entrada de dados Radiasol



Fonte: o Autor, 2021.

Em resumo, o primeiro passo foi obter os dados de irradiação no plano horizontal para o local estudado. Em seguida, com o programa RADIASOL, foi possível numericamente estimar a intensidade da irradiação no plano no telhado. Esses resultados são transcritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Irradiação no plano horizontal e inclinado

Mês	Plano horizontal (kWh/m ² .dia)	Plano inclinado (kWh/m ² .dia)
JAN	5,34	5,365
FEV	5,15	5,193
MAR	4,51	4,603
ABR	3,76	3,878
MAI	3,07	3,199
JUN	2,74	2,888
JUL	2,89	3,037
AGO	3,84	4,001
SET	3,82	3,910
OUT	4,37	4,427
NOV	5,26	5,287
DEZ	5,55	5,571
MÉDIA	4,19	4,280

Fonte: o Autor, 2021.

3.4.2 Potência necessária para o painel fotovoltaico

De acordo com Urbanetz Junior (2019), a potência do sistema deve ser calculada conforme a equação abaixo:

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot PR}$$

Em que:

- E = demanda média de energia diária (434/30 = 14,47kWh/dia);
- G = irradiância na condição padrão de 1kW/m²;
- H_{tot} = irradiação média anual no plano inclinado (4,28 kWh/m².dia);
- PR = *performance ratio* (considerada 0,8)

A potência do painel, conforme a aplicação da fórmula para o presente caso, deve ser 4,23 kWp. Portanto, para suprir a demanda a ponto de o valor da fatura ser apenas o custo de disponibilidade é necessário um painel de 4230 W, no mínimo.

3.4.3 Escolha dos equipamentos e verificações

O módulo fotovoltaico escolhido para a instalação possui células de silício policristalino e 365 W de potência, a fabricante é a *Canadian Solar* e a referência do produto é CS3U-365PB-AG. Para suprir a demanda de energia elétrica são

necessários 12 módulos (4.380 W). O inversor foi o Primo 4.0-1, com 4 kW, da fabricante Fronius.

De acordo com o catálogo técnico da fabricante *Canadian Solar*, o módulo é certificado pelo INMETRO e atende aos requisitos da norma internacional IEC 61215. Enquanto o INMETRO, órgão brasileiro, avalia apenas a potência máxima do módulo, a IEC 61215 estabelece 18 parâmetros mínimos de desempenho, necessários para o produto ser comercializado nos países europeus, EUA, etc.

Além da segurança técnica, o valor dos módulos de policristalino é mais acessível que os de monocristalino, mesmo considerando que seu desempenho é um pouco menor. Mesmo assim, estes módulos possuem a vantagem de ser halfcell, portanto são menos afetados com o sombreamento e possuem garantia de 30 anos quanto ao desempenho de potência.

Optou-se pela conexão em série dos módulos. Nesse caso, a tensão do circuito será resultado da soma dos módulos, mas a corrente será equivalente à de apenas um.

Com as especificações técnicas dos produtos em mãos (ANEXO C e ANEXO D), são necessárias algumas verificações de compatibilidade entre os módulos e o inversor. Urbanetz Junior (2019), orienta para a realização de três averiguações:

- a) $N^{\circ} \text{módulos} \times V_{oc}$ (tensão de circuito aberto dos módulos) < Tensão máxima de entrada do inversor:
 $12 \times 47,2 = 566,4V < 1000V$, condição verificada.
- b) $N^{\circ} \text{módulos} \times V_m$ (tensão de operação dos módulos), deve estar na faixa de operação do inversor:
 $12 \times 39,8 = 477,6V$ (deve ser entre 210V e 800V), condição verificada.
- c) A corrente do painel (conjunto dos módulos) deve ser menor que a tensão de operação do inversor. Como os módulos serão ligados em série, a corrente do painel será igual a corrente de um módulo apenas, que é 9,18A. A condição também é verificada, pois a máxima corrente de entrada do inversor é 12A.

Sabendo que é possível conectar os 12 módulos em série ao inversor, já é plausível estimar o potencial de geração do sistema. Na Tabela 3, são agrupados em colunas os dados de expectativa de geração, demanda de acordo com a fatura do ANEXO B e o crédito ao final de cada mês.

Tabela 3 - Expectativa de geração fotovoltaica

Mês	Geração esperada (kWh/mês)	Demanda (kWh/mês)	Créditos (kWh/mês)
JAN	583	573	10
FEV	509	444	65
MAR	500	501	-1
ABR	408	417	-9
MAI	347	316	31
JUN	304	370	-66
JUL	330	336	-6
AGO	435	401	34
SET	411	432	-21
OUT	481	479	2
NOV	556	397	159
DEZ	605	546	59
MÉDIA	456	434	256

Fonte: o Autor, 2021.

3.4.4 Dimensionamento dos condutores

Urbanetz Junior (2019), indica a seguinte equação para o cálculo dos condutores do sistema solar fotovoltaico:

$$S_{cond} = \left(\frac{2l.P.0,0178}{V^2.\Delta V} \right).100 = \left(\frac{2l.l.0,0178}{V.\Delta V} \right).100$$

Em que:

- L = comprimento do condutor (distância)
- P = potência do painel fotovoltaico (Wp)
- V = tensão do barramento (V)
- ΔV = queda de tensão (3 a 4%)

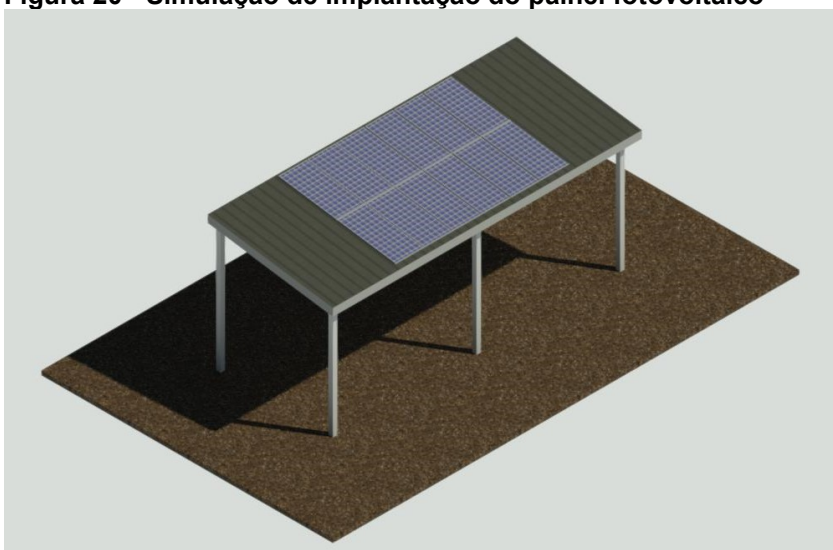
Para a ligação do painel até o inversor foi considerada uma distância L=10m, a potência do painel P=4380Wp, a tensão do barramento V=12*Vm=12*39,8=477,6V e uma queda de tensão de $\Delta V=4\%$. Assim, a área calculada para o condutor é 0,171mm², portanto adota-se 4,0 mm², que é o condutor dos módulos.

Na ligação do inversor até o quadro de distribuição geral (dentro do escritório), a distância é L=40m, potência do inversor P=4000Wp, tensão do barramento V=220V e queda de tensão de $\Delta V=4\%$. Neste caso, a área do condutor calculada foi 2,94mm², assim, adota-se a bitola comercial de 4,0 mm².

3.4.5 Esboço das ligações e implantação

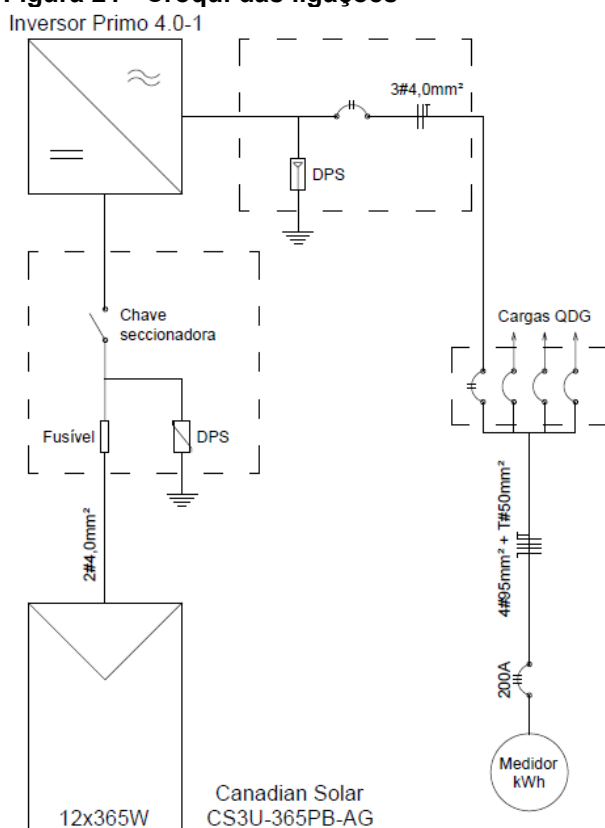
A Figura 20 é uma simulação de como o painel fotovoltaico vai ocupar a cobertura. Cada painel possui 2,022 metros de comprimento por 0,992 metros de largura, e a cobertura tem comprimento de 9,5 metros e largura de 4,3 metros. Apesar de os módulos não estarem alinhados por questão de espaço, estão ligados em série.

Figura 20 - Simulação de implantação do painel fotovoltaico



Fonte: o Autor, 2021.

Na Figura 21 é apresentado um croqui das ligações elétricas do sistema solar fotovoltaico conectado à rede. O trecho do painel até o inversor está em corrente contínua e possui um quadro de proteção com fusíveis, DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) e uma chave seccionadora. Após o inversor, a corrente é alternada e é previsto um disjuntor e um DPS para proteção. Neste caso, a conexão do sistema solar fotovoltaico ao restante das instalações é prevista no quadro de distribuição geral.

Figura 21 - Croqui das ligações

Fonte: o Autor, 2021.

3.5 ORÇAMENTO

Além dos módulos e inversores, existem outros custos que precisam ser contabilizados para a implantação do sistema solar fotovoltaico. É necessária elaboração de um projeto por engenheiro elétrico/eletricista para aprovação na COPEL, mão de obra para instalação, condutores, eletrodutos e outros componentes complementares.

Tendo isso em vista, foram realizados três orçamentos para implantação de sistema solar fotovoltaico conectado à rede. Os valores podem ser consultados nos ANEXOS E, F e G.

O primeiro orçamento é uma simulação do site da empresa Ponto Solar, com menor riqueza em detalhes, somente especifica sobre a potência do painel, de 5.100 W. Os outros dois orçamentos são mais específicos e fornecem relação dos materiais, detalhe do serviço proposto e estimativa de payback.

Na Tabela 4, apresentam-se os valores orçados. Para este trabalho, a média entre os orçamentos será considerada para análise de viabilidade. Mesmo que as especificações dos materiais variem, a diferença é pequena e os sistemas possuem

a mesma proposta. Portanto, as propostas dos anexos do trabalho, possuem representatividade como valores de mercado.

Tabela 4 - Orçamento do projeto

Empresa	Potência painel (W)	Potência inversor (kW)	Valor
Ponto Solar	5100	-	R\$ 21.059,00
CM Solar	5280	4	R\$ 24.000,00
RM Solar	4950	5	R\$ 22.445,39
MÉDIA			R\$ 22.501,46

Fonte: o Autor, 2021.

As diferenças entre as cotações são esperadas, mesmo que sejam para instalação de sistemas relativamente equivalentes. O conteúdo do simulador da empresa Ponto Solar é menos personalizado. De qualquer forma, a ferramenta é prática para se obter um orçamento preliminar, já que forneceu potência do painel e valor equivalente aos outros.

Os valores entre as empresas CM Solar e RM Solar podem ter diferença em função de vários fatores como localização, qualidade dos produtos ofertados, custo de instalação (mão de obra) e a margem de lucro de cada uma. Tendo isso em vista, a média entre os três orçamentos, R\$ 22.501,46, foi considerada representativa para o mercado local. É importante contextualizar que a cotação do dólar comercial na data do trabalho é R\$ 5,08.

Ainda antes da análise da viabilidade, é importante rever as informações sobre garantia e vida útil dos componentes do sistema. Os módulos fotovoltaicos possuem 30 anos de garantia quanto ao desempenho de potência linear e 12 anos contra defeitos de fabricação, então se espera pelo menos 30 anos de vida útil. Os inversores possuem apenas 2 anos de garantia, que podem ser estendidos a 7 mediante registro no site do fabricante.

3.5.1 Viabilidade

A viabilidade de implantação do sistema será avaliada pelo *payback* descontado, obtendo como resultado o tempo em que a economia acumulada se iguala com o investimento inicial. Enquanto o *payback* simples iria avaliar o tempo de retorno do investimento pela razão entre o investimento inicial e o retorno anual,

o *payback* descontado considera uma variação no valor do dinheiro conforme o tempo passa (ABREU, 2021).

Antes de calcular o tempo de retorno do investimento, é importante entender o potencial do projeto em proporcionar economia. Na Tabela 5, para o cálculo da fatura, como o consumo sempre será inferior a 100kWh/mês, foi considerado apenas o custo de disponibilidade. Ainda existem valores referentes às bandeiras tarifárias e iluminação pública, que não foram computados.

Na estimativa de custo do kWh, considerou-se o mesmo valor da fatura de energia elétrica do apêndice a:anexo B -. Dessa forma, calculando mês a mês, se espera um potencial de economia anual de R\$ 4.485,44 sem levar em conta o aumento no valor do kWh com o passar do tempo.

Tabela 5 - Estimativa de economia financeira

Mês	Fatura (kWh/mês)	R\$/kWh estimado	Valor estimado	Valor atual (sem painel)	Economia
JAN	100,0	R\$ 0,91	R\$ 91,16	R\$ 613,54	R\$ 522,38
FEV	100,0	R\$ 0,86	R\$ 86,25	R\$ 469,20	R\$ 382,95
MAR	100,0	R\$ 0,88	R\$ 87,52	R\$ 526,00	R\$ 438,48
ABR	100,0	R\$ 0,87	R\$ 87,37	R\$ 451,71	R\$ 364,34
MAI	100,0	R\$ 0,87	R\$ 87,06	R\$ 362,19	R\$ 275,13
JUN	100,0	R\$ 0,87	R\$ 86,79	R\$ 407,91	R\$ 321,12
JUL	100,0	R\$ 0,86	R\$ 85,98	R\$ 374,88	R\$ 288,90
AGO	100,0	R\$ 0,83	R\$ 82,96	R\$ 415,65	R\$ 332,69
SET	100,0	R\$ 0,83	R\$ 83,17	R\$ 442,49	R\$ 359,32
OUT	100,0	R\$ 0,82	R\$ 82,30	R\$ 476,54	R\$ 394,24
NOV	100,0	R\$ 0,83	R\$ 82,95	R\$ 412,25	R\$ 329,30
DEZ	100,0	R\$ 0,87	R\$ 87,29	R\$ 563,90	R\$ 476,61
TOTAL			R\$ 1.030,82	R\$ 5.516,26	R\$ 4.485,44

Fonte: o Autor, 2021.

Aplicando o *payback* simples, pela razão entre o investimento (R\$ 22.501,46) e a economia anual (R\$ 4.485,44) se estima um tempo de retorno de 5 anos e 10 meses. Porém, neste trabalho será utilizado o *payback* descontado como parâmetro de avaliação da viabilidade do investimento.

O cálculo do *payback* descontado tem como base de retorno anual o valor presente líquido (VPL). O VPL é o valor da economia anual (na Tabela 6 chamado de VP – valor presente), descontando a taxa mínima de atratividade (TMA). De acordo com Abreu (2021), a equação para cálculo do VPL é a seguinte:

$VPL = VP/(1+TMA)^n$, em que:

- VP, é o valor presente, ou seja, a economia anual;
- TMA, é a taxa mínima de atratividade;
- n, representa quantos anos após o investimento se deseja calcular o valor presente líquido.

A taxa mínima de atratividade (TMA), por sua vez, significa o retorno mínimo que um investidor exige para investir. Não existe uma fórmula específica para o cálculo da TMA, mas em análises aprofundadas são levados em conta três fatores: custo de oportunidade, risco do negócio e liquidez. Porém, na prática pode-se considerar a taxa de juros básica da economia (Selic) como TMA (CAPITAL RESEARCH, 2019).

O objetivo de utilizar o VPL para o cálculo do *payback* é traçar um cenário mais realista como referência para o planejamento financeiro da empresa, explica Abreu (2021). Tendo isso em vista, foi feita uma simulação de investimento no Tesouro Selic (R\$ 26.000,00) para retirada em 2027, e a taxa de rentabilidade líquida anual (5,58%) foi utilizada como TMA. A simulação detalhada é apresentada na Figura 22.

Figura 22 - Taxa Selic

Simulação detalhada

TESOURO SELIC 2027

Data de resgate: 01/03/2027

Valor inicial investido: 26.000,00

Aportes Mensais: R\$ 0,00

Soma dos valores investidos (nominal): 26.000,00

Investimento	Valor bruto de resgate (R\$)	Rentabilidade bruta (a.a.)	Custos (R\$)	Valor do imposto de renda (R\$)	Valor líquido de resgate (R\$)	Rentabilidade líquida (a.a.)
Tesouro	37.673,00	6,64	314,30	1.750,95	35.552,65	5,58
Poupança	32.308,34	3,83	0,00	0,00	32.308,34	3,83
CDB	34.670,43	5,12	0,00	1.300,56	33.369,87	4,42
LCI/LCA	33.710,08	4,60	0,00	0,00	33.710,08	4,60
Fundo DI	34.914,02	5,24	0,00	1.309,23	33.419,43	4,45

Fonte: Tesouro Direto, 2021.

Na Tabela 6 são apresentados os valores parciais do cálculo do *payback* descontado. Em todos os anos o valor presente (VP) é considerado o mesmo – que foi calculado na Tabela 5. Porém, o valor presente líquido (VPL) vai reduzindo com o passar do tempo em função da TMA considerada.

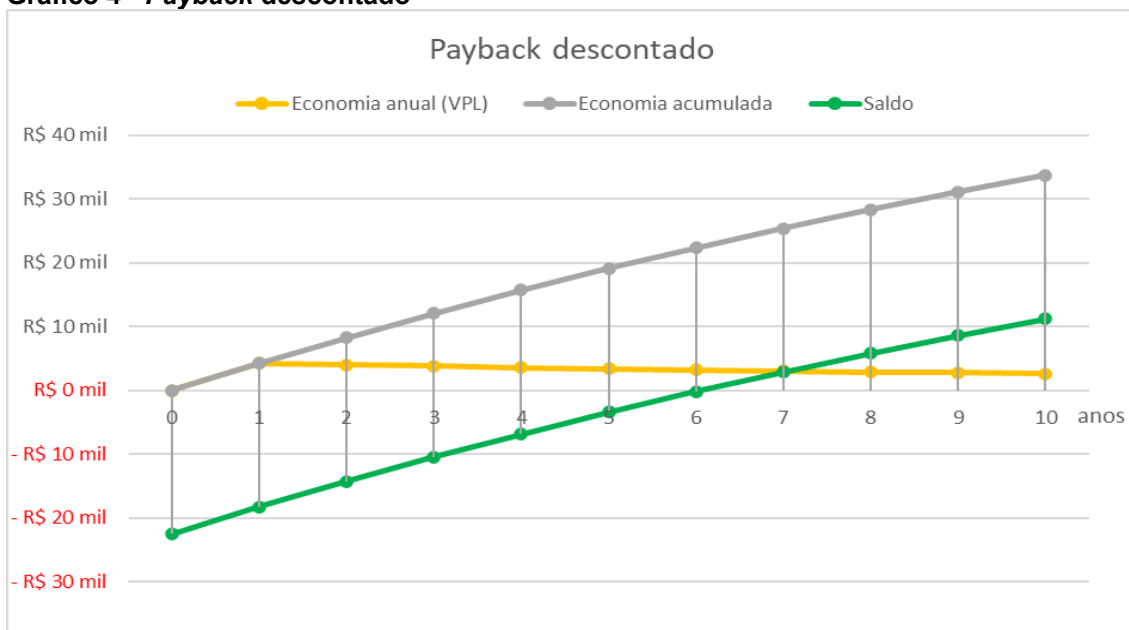
A última coluna da tabela é a base para o cálculo do *payback*. Os valores são obtidos pela diferença entre o investimento inicial no sistema solar fotovoltaico (R\$ 22.501,46) e o VPL acumulado no passar dos anos. Por fim, o *payback* descontado, calculado com base na variação do valor de economia, é estimado em 6 anos e 1 mês.

Tabela 6 - Estimativa *payback* descontado

Ano	VP	VPL	Economia acumulada	Saldo
0	-	-	-	-R\$ 22.501,46
1	R\$ 4.485,44	R\$ 4.248,38	R\$ 4.248,38	-R\$ 18.253,08
2	R\$ 4.485,44	R\$ 4.023,85	R\$ 8.272,23	-R\$ 14.229,23
3	R\$ 4.485,44	R\$ 3.811,19	R\$ 12.083,42	-R\$ 10.418,05
4	R\$ 4.485,44	R\$ 3.609,76	R\$ 15.693,18	-R\$ 6.808,29
5	R\$ 4.485,44	R\$ 3.418,98	R\$ 19.112,16	-R\$ 3.389,31
6	R\$ 4.485,44	R\$ 3.238,29	R\$ 22.350,44	-R\$ 151,02
7	R\$ 4.485,44	R\$ 3.067,14	R\$ 25.417,58	R\$ 2.916,12

Fonte: o Autor, 2021.

O gráfico seguinte é uma ilustração dos valores de *payback* calculados no trabalho. A curva amarela, de economia anual, é o valor presente líquido, que vai depreciando com o passar do tempo em função da taxa Selic. A curva cinza, representa a soma dos valores da economia anual – é a previsão do que a empresa vai ter economizado ao final de cada ano. E a curva verde, significa o fluxo de caixa do investimento – observa-se que a expectativa é que a partir do 6º ano o saldo seja positivo.

Gráfico 4 - Payback descontado

Fonte: o Autor, 2021.

4 DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

Com este trabalho, é possível compreender quão promissora é a proposta de se instalar um sistema solar fotovoltaico conectado à rede para a empresa. Mesmo com a cobertura de apoio para os módulos possuindo desvio azimutal de 40° para leste e inclinação de 8,5°, a irradiação neste plano é favorável. Em condições ideais (plano orientado para o norte e com inclinação igual à latitude do local) a potência instalada necessária é de 4,21 kWp, e no plano da cobertura estudada, 4,23 kWp.

Em contrapartida, o potencial produtivo pode reduzir em função do acúmulo de sujeira nos módulos, com apenas 8,5° de inclinação. Por isso, deve-se ater mais à limpeza para que o sistema continue produzindo o esperado. Este é um fator que representa risco.

O sistema calculado no presente trabalho se mostrou viável tecnicamente. Tendo em vista que o custo de disponibilidade do padrão trifásico é 100 kWh/mês, somente 434 kWh/mês podem ser compensados com a geração do sistema solar fotovoltaico. Dessa forma, optou-se por 12 módulos de 365 W e inversor de 4 kW para produzir a demanda de energia média anual da empresa.

Para o orçamento foram consultadas três empresas que propuseram sistemas equivalentes. Mesmo cada uma considerando materiais de qualidade diferente, os valores são próximos, portanto, a média entre eles foi interpretada como representativa no mercado da região. Tendo isso em vista, estima-se em R\$ 22.501,46 o custo de implantação do projeto.

Por meio do *payback* descontado, que leva em conta a depreciação monetária, realizou-se a análise de viabilidade financeira. Neste caso, a correção foi feita com base na taxa Selic. Desta forma, o investimento terá seu *payback* em 6 anos e 1 mês.

A depreciação da moeda com o passar do tempo, torna a análise de viabilidade financeira mais realista no ponto de vista econômico. Porém, existem outras variáveis que não foram computadas numericamente e podem influenciar no resultado.

A tarifa mensal pós investimento foi estimada como sendo apenas o custo de disponibilidade, mas taxa de iluminação pública e a variação de bandeiras tarifárias também fazem parte da conta de energia elétrica. O acúmulo de sujeira por

falta de limpeza dos módulos pode diminuir a produção de energia elétrica. E ainda, o tempo de garantia do inversor, 7 anos, é próximo ao do tempo de *payback*. Estas três situações não computadas podem aumentar o prazo de retorno do investimento estudado.

Por outro lado, com o passar dos anos, a tarifa de energia elétrica vai sofrendo reajustes. Isso significa que o valor economizado com o passar dos anos será maior que o valor economizado no presente. Esta também é uma variável não prevista, mas pode contribuir para um tempo de retorno menor.

Ainda como ponto positivo à análise de viabilidade, existe a segurança de os módulos possuírem 30 anos de garantia quanto ao desempenho de potência. Portanto, no que tange a metodologia de cálculo do *payback*, o tempo de retorno de 6 anos e 1 mês torna o investimento economicamente viável.

REFERÊNCIAS

ABREU, Leandro. Payback descontado: o que é e como calculá-lo. **Rockcontent**, 2018. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/payback-descontado/>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica – Terminologia. São Paulo, 2020. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. São Paulo, 2008. 34p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. São Paulo, 2008. 34p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. São Paulo, 2013. 34p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. São Paulo, 2013. 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. São Paulo, 2013. 73p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto. São Paulo, 2019. 65p.

TIEPOLO, Gerson Máximo et al. Atlas de energia solar do estado do Paraná. Curitiba: **INPE**, 2017. 107p.: il. Disponível em: <<https://atlassolarparana.com/>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

ATLAS DE ENERGIA SOLAR DO ESTADO DO PARANÁ. **Mapa interativo**, 2021. Disponível em: <<https://atlassolarparana.com/map>>. Acesso em: 14 mai. 2021.

Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2020.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BÜHLER, Alexandre José; DOS SANTOS, Fernando Hoefling; GABE, Ivan Jorge. **Uma revisão sobre as tecnologias fotovoltaicas atuais**. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Apresentado em Gramado. Recuperado de <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/267>. 2018.

CANADIAN SOLAR. **BiKu MODULE**. Ontario, 2020. 2p. Disponível em: <https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/Canadian_Solar-Datasheet-BiKu_CS3U-PB-AG_EN.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2021.

CARNEIRO, Joaquim AO. Semicondutores: modelo matemático da célula fotovoltaica. **UMINHO**, 2010. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/16960>>. Acesso em: 26 abr. 2021.

CAPITAL RESEARCH. **Taxa mínima de atratividade: o que é e como calcular nos investimentos**, 2019. Disponível em: <<https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/taxa-minima-de-atratividade-o-que-e-e-como-calcular-nos-investimentos/>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 905200: ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA AO SISTEMA DA COPEL** (com compensação de energia). Curitiba, 2021. 101p.

CORTEZ, Daniel Flores. Física dos Semicondutores. **UTFPR**, 2017. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/danielcortez/eletronica-1-et74c-2016-1/aulas/ET74C_Transistor2.ppsx/view>. Acesso em: 26 abr. 2021.

IRENA. **Country Rankings**, 2021. Disponível em: <<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

CUNHA, Livia. Gerenciamento de energia no Brasil. **Portal O Setor Elétrico**, 2010. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_junho_10.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ESPOSITO, Alexandre Siciliano; FUCHS, Paulo Gustavo. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **BNDES**, 2013. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1421>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

FRONIUS. **Folha de dados Fronius Primo EN**. Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/instaladores-e-parceiros/dados-tecnicos/todos-os-produtos/inversor/fronius-primo/fronius-primo-3-0-1#>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

FRUETT, Fabiano. Texto – Física dos Semicondutores. **UNICAMP**, 2004. Disponível em: <<https://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE530/PDF/>>. Acesso em: 26 abr. 2021.

Fundação Vanzolini. **Certificação AQUA-HQE**. S.d. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

Fundação Vanzolini. **Leroy Merlin reduz em 23% consumo anual de energia**. 2020. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/2020/05/27/leroy-merlin-reduz-em-23-consumo-anual-de-energia/>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

GBC Brasil. **Rating system LEED v4 BD+C**, 2021. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/tipologia-bdc/>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

GBC Brasil. **Brasil ocupa o 4º lugar no ranking mundial de construções sustentáveis certificadas pela ferramenta internacional LEED**. 2018. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/brasil-ocupa-o-4o-lugar-no-ranking-mundial-de->

construcoes-sustentaveis-certificadas-pela-ferramenta-internacional-leed/>. Acesso em: 08 jun. 2021.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. 2021.

HALLIDAY, David. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. Volume 4. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

JUNIOR, Jair Urbanetz; JUNIOR, Eloy Fassi Casagrande; TIEPOLO, Gerson Máximo. Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. 2014.

JUNIOR, Jair Urbanetz. **Energia Solar Fotovoltaica**. Curso de pós-graduação em construções sustentáveis. Notas de aula. UTFPR, 2019.

KUMAR, Manish; KUMAR, Arun. Performance assessment and degradation analysis of solar photovoltaic technologies: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 554-587, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117305919>>. Acesso em: 4 abr. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Eletrobrás/Procel, 2014.

LEROY MERLIN. **Curitiba Sul**. S.d. Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/loja/loja-curitiba-sul-pr>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

LIMA, Renan de Melo Correia et al. **Caracterização de células solares de filmes finos de CIGS**. Matéria (Rio J.) [online]. 2017, vol.22, suppl.1, e11925. Epub Jan 08, 2018. ISSN 1517-7076. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762017000500419&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 06 mai. 2021.

MARTINS, Fernando Ramos et al. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos. **INPE**, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. 80p.: il. (EBOOK)

MPPT SOLAR. **Painéis solares**. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html#:~:text=Pain%C3%A9is%20Solares%3A%20Liga%C3%A7%C3%A3o%20em%20Paralelo&text=De%20fato%2C%20ao%20ligar%20mais,mesmo%20tempo%20a%20mesma%20tens%C3%A3o>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

OGBOMO, Osarumen O. et al. A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 1225-1238, 2017. Disponível em: <[dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.109](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.109)>. Acesso em: 28 abr. 2021.

Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. **ABSOLAR**, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 24 mar. 2021.

PBE Edifica. **Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas Etiquetadas**, 2021. Disponível em: <<http://pbeedifica.com.br/edificacoes-etiquetadas/comercial>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

PBE Edifica. **Sobre o PBE Edifica**. S.d. Disponível em: <<http://pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 09 jun. 2021.

Ponto Solar. **Energia solar – simulação de valores**. Disponível em: <<https://pontosolar.com.br/quanto-custa-energia-solar/>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

RELLA, Ricardo. Energia fotovoltaica no brasil. **Revista de Iniciação Científica**, v. 15, n. 1, p. 28-38, 2017.

SCHMALENSEE, Richard. The future of solar energy: an interdisciplinary MIT study. **MIT**, 2015. Disponível em: <<https://energy.mit.edu/research/future-solar-energy/>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

PORTNOI, Marcos. Teoria das Bandas. **University of Delaware**, 2013. Disponível em: <<https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/bandtheory.html>>. Acesso em: 18 abr. 2021.

PRIEB, César Wilhelm Massen. Desenvolvimento de um sistema de ensaio de módulos fotovoltaicos. **UFRGS**, 2002. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/2091>>. Acesso em: 26 abr. 2021.

ProjetEEE. Estratégias bioclimáticas. **PROCEL/Eletróbrás; UFSC; MMA**, 2021. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>>. Acesso em: 09 mai. 2021.

RAC Engenharia S.A. **Sustentabilidade**. S.d. Disponível em: <<http://www.raceng.com.br/sustentabilidade.html>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

TESOURO DIRETO. **TESOURO SELIC 2027**. Disponível em: <<https://www.tesourodireto.com.br/titulos/precos-e-taxas.htm>>. Acesso em: 17 mai. 2021

TIEPOLO, Gerson M. **Energias Alternativas**. Curso de pós-graduação em construções sustentáveis. Notas de aula. UTFPR, 2020.

USGBC. **Where LEED began**. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/about/brand>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

VANZOLINI. **AQUA-HQE™ Certificado pela Fundação Vanzolini e CERWAY - Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Não Residenciais em Construção**, 2016. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/categoria-documentos/edificios-em-construcao/>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

WÜRFEL, Peter. Physics of solar cells. **Wiley-Vch**, 2005.

ANEXO A - Checklist LEED

S		?		N		Crédito		Processo Integrado		1	
<p>LEED v4 para BD+C: Nova Construção e Grandes Reformas (LEED v4 for BD+C: New Construction and Major Renovation)</p> <p>Nome do projeto: _____</p> <p>Data: _____</p>											
<p>0 0 0 0 Materiais e Recursos 13</p>											
S						Pré-req	Amazenamento e Coleta de Recicláveis				Obrigatório
S						Pré-req	Plano de Gerenciamento da Construção e Resíduos de Demolição				Obrigatório
						Crédito	Redução do Impacto do Ciclo de Vida do Edifício				5
						Crédito	Divulgação e Otimização de Produto do Edifício – Declarações Ambientais de Produto				2
						Crédito	Divulgação e Otimização de Produto do Edifício – Origem de Matérias-primas				2
						Crédito	Divulgação e Otimização de Produto do Edifício – Ingredientes do Material				2
						Crédito	Gerenciamento da Construção e Resíduos de Demolição				2
<p>0 0 0 0 Qualidade do Ambiente Interno 16</p>											
S						Pré-req	Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interior				Obrigatório
S						Pré-req	Controle Ambiental da Fumaça de Tabaco				Obrigatório
						Crédito	Estratégias Avançadas de Qualidade do Ar Interior				2
						Crédito	Materiais de Baixa Emissão				3
						Crédito	Plano de Gestão da Qualidade do Ar Interior da Construção				1
						Crédito	Atualização da Qualidade do Ar Interior				2
						Crédito	Conforto Térmico				1
						Crédito	Iluminação Interna				2
						Crédito	Luz Natural				3
						Crédito	Vistas de Qualidade				1
						Crédito	Desempenho Acústico				1
<p>0 0 0 0 Inovação 6</p>											
						Crédito	Inovação				5
						Crédito	Profissional Acreditado LEED				1
<p>0 0 0 0 Prioridade Regional 4</p>											
						Crédito	Prioridade Regional: Crédito Específico				1
						Crédito	Prioridade Regional: Crédito Específico				1
						Crédito	Prioridade Regional: Crédito Específico				1
<p>0 0 0 0 TOTAIS 110</p> <p>Certificado: 40 a 49 pontos, Silver: 50 a 59 pontos, Gold: 60 a 79 pontos, Platinum: 80 a 110</p>											

<p>0 0 0 0 Localização e Transporte 16</p>											
						Crédito	Localização do LEED Neighborhood (Bairros)				16
						Crédito	Proteção de Áreas Sensíveis				1
						Crédito	Local de Alta Prioridade				2
						Crédito	Densidade do Entorno e Usos Diversos				5
						Crédito	Acesso a Transporte de Qualidade				5
						Crédito	Instalações para Bicicletas				1
						Crédito	Redução da Área de Projeção do Estacionamento				1
						Crédito	Veículos Verdes				1
<p>0 0 0 0 Terrenos Sustentáveis 10</p>											
S						Pré-req	Prevenção da Poluição na Atividade de Construção				Obrigatório
						Crédito	Avaliação do Terreno				1
						Crédito	Desenvolvimento do Terreno - Proteger ou Restaurar Habitat				2
						Crédito	Espaço Aberto				1
						Crédito	Gestão de Águas Pluviais				3
						Crédito	Redução de Ilhas de Calor				2
						Crédito	Redução da Poluição Luminosa				1
<p>0 0 0 0 Eficiência Hídrica 11</p>											
S						Pré-req	Redução do Uso de Água do Exterior				Obrigatório
S						Pré-req	Redução do Uso de Água do Interior				Obrigatório
S						Pré-req	Medição de Água do Edifício				Obrigatório
						Crédito	Redução do Uso de Água do Exterior				2
						Crédito	Redução do Uso de Água do Interior				6
						Crédito	Uso de Água de Torre de Resfriamento				2
						Crédito	Medição de Água				1
<p>0 0 0 0 Energia e Atmosfera 33</p>											
S						Pré-req	Comissionamento Fundamental e Verificação				Obrigatório
S						Pré-req	Desempenho Mínimo de Energia				Obrigatório
S						Pré-req	Medição de Energia do Edifício				Obrigatório
S						Pré-req	Gerenciamento Fundamental de Gases Refrigerantes				Obrigatório
						Crédito	Comissionamento Avançado				6
						Crédito	Otimizar Desempenho Energético				18
						Crédito	Medição de Energia Avançada				1
						Crédito	Resposta à Demanda				2
						Crédito	Produção de Energia Renovável				3
						Crédito	Gerenciamento Avançado de Gases Refrigerantes				1
						Crédito	Energia Verde e Compensação de Carbono				2

Fonte: GBC Brasil, 2021.

ANEXO B - Fatura de energia elétrica


COPEL

 Copel Distribuição S.A.
 José Izidoro Biazzetto, 158 bl.C - Mossunguê - Curitiba PR - CEP 81200-240
 CNPJ: 04.368.898/0001-06 - IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

 www.copel.com
 0800 51 00 116

CASA VIVA PRE MOLDADOS LTDA ME
R HARRY FEEKEN, 2117
SANTOS DUMONT - SAO JOSE DOS PINHAIS - PR - CEP: 83040-000

 88316 01 006 694800
 CNPJ 12.750.882/0001-91 - IE: 9054730427

Mês de referência

Março/2021

Unidade Consumidora

28119452

Vencimento

02/04/2021

VALOR A PAGAR

R\$ 799,66

Responsabilidade da Manutenção de Ilumina Pública: Município (41) 3381-5905 (41)

FAT-01-20211207987221-45

DENUNCIE FURTO DE FIOS! LIGUE 181.
Informações Técnicas

N° Medidor: MD 0331869733 - TRIFASICO

Comerc/Com Varej de Mov

Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio Diário	Data de Emissão	Próxima Leitura Prevista
11/02/2021 30186	12/03/2021 31118	29 dias 932 kWh	1	932 kWh	32,13 kWh	13/03/2021	13/04/2021

Histórico de Consumo e Pagamento

Mês	kWh	Dt.Pgto.	Valor
02/2021	544	02/03/2021	469,20
01/2021	673	02/02/2021	613,54
12/2020	646	04/01/2021	563,90
11/2020	497	02/12/2020	412,25
10/2020	579	03/11/2020	476,54
09/2020	532	02/10/2020	442,49
08/2020	501	02/09/2020	415,65
07/2020	436	03/08/2020	374,88
06/2020	470	02/07/2020	407,91
05/2020	416	02/06/2020	362,19
04/2020	517	04/05/2020	451,71
03/2020	601	02/04/2020	526,00

Valores Faturados
NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA N° 183.610.270 - SÉRIE B

Emitida em 13/03/2021

Produto Descrição	Un.	Consumo	Valor Unitário	Valor Total	Base Cál.	Aliq. ICMS
ENERGIA ELETTRICA CONSUMO	kWh	932	0,760118	708,43	708,43	29,00%
ENERGIA CONS. B.AMARELA	kWh			18,54	18,54	29,00%

CONT ILLUMIN PUBLICA MUNICIPIO 72,69

Informações Suplementares

Tarifas
ENERGIA ELET CONSUMO 0,512770

 Tensão Contratada: 127/220 volts
 Limite Adequado Tensão: 117 a 133/202 a 231 volts

Reaviso de Vencimento

 28119452
 Mês 03/2021

 Vencimento 02/04/2021
 Valor a Pagar 799,66

Autenticação Mecânica

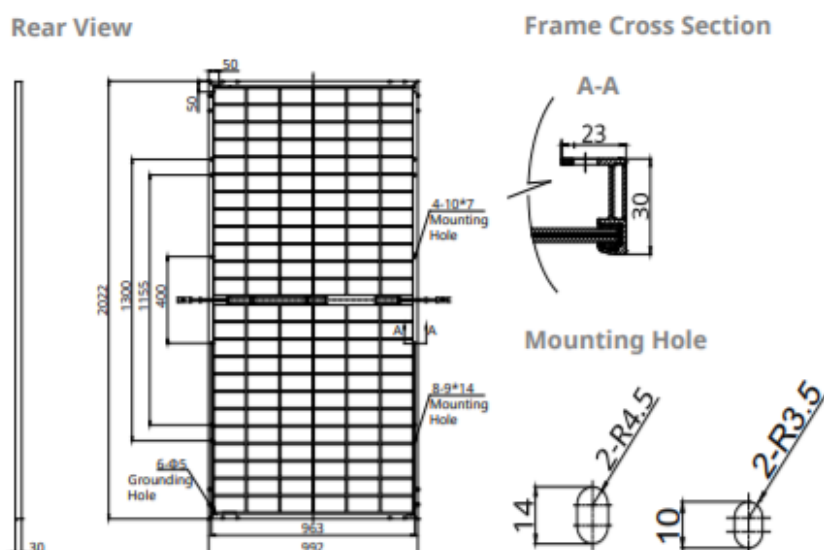

COPEL

8365000007 7 9966011000 9 00101020211 5 20798722145 5

NÃO RECEBER - DÉBITO AUTOMÁTICO - BANCO - 104 - AGÊNCIA - 1266

ANEXO C - Especificações módulo fotovoltaico

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA | STC*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency
CS3U-350PB-AG	350 W	39.2 V	8.94 A	46.6 V	9.51 A	17.4%
Bifacial Gain**	5%	368 W	39.2 V	46.6 V	9.99 A	18.3%
	10%	385 W	39.2 V	46.6 V	10.46 A	19.2%
	20%	420 W	39.2 V	46.6 V	11.41 A	20.9%
	30%	455 W	39.2 V	46.6 V	12.36 A	22.7%
CS3U-355PB-AG	355 W	39.4 V	9.02 A	46.8 V	9.59 A	17.7%
Bifacial Gain**	5%	373 W	39.4 V	46.8 V	10.07 A	18.6%
	10%	391 W	39.4 V	46.8 V	10.55 A	19.5%
	20%	426 W	39.4 V	46.8 V	11.51 A	21.2%
	30%	462 W	39.4 V	46.8 V	12.47 A	23.0%
CS3U-360PB-AG	360 W	39.6 V	9.1 A	47 V	9.67 A	17.9%
Bifacial Gain**	5%	378 W	39.6 V	47 V	10.15 A	18.8%
	10%	396 W	39.6 V	47 V	10.64 A	19.7%
	20%	432 W	39.6 V	47 V	11.6 A	21.5%
	30%	468 W	39.6 V	47 V	12.57 A	23.3%
CS3U-365PB-AG	365 W	39.8 V	9.18 A	47.2 V	9.75 A	18.2%
Bifacial Gain**	5%	383 W	39.8 V	47.2 V	10.24 A	19.1%
	10%	402 W	39.8 V	47.2 V	10.73 A	20.0%
	20%	438 W	39.8 V	47.2 V	11.7 A	21.8%
	30%	475 W	39.8 V	47.2 V	12.68 A	23.7%

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

** Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

Fonte: Canadian Solar, 2020.

ANEXO D - Especificações inversor

TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO (3.0-1, 3.5-1, 3.6-1, 4.0-1, 4.6-1)

INPUT DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Number of MPP trackers			2		
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$)			12.0 A / 12.0 A		
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂)			18.0 A / 18.0 A		
DC input voltage range ($U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$)			80 - 1000 V		
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)			80 V		
Usable MPP voltage range			80 - 800 V		
Number of DC connections			2 + 2		
Max. PV generator output ($P_{dc\ max}$)		4.5 kW _{peak}	5.5 kW _{peak}	6.0 kW _{peak}	6.9 kW _{peak}
OUTPUT DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	3,000 W	3,500 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W
Max. output power	3,000 VA	3,500 VA	3,680 VA	4,000 VA	4,600 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	13.0 A	15.2 A	16.0 A	17.4 A	20.0 A
Grid connection (voltage range)	1 ~ NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)				
Frequency (frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Total harmonic distortion	< 5 %				
Power factor ($\cos\ \phi_{ac,r}$)	0.85 - 1 ind. / cap.				

Fonte: Fronius, 2021.

ANEXO E - Simulação orçamento Ponto Solar

SIMULADOR

Preencha os dados abaixo e tenha uma noção de investimento e economia mensal

Informe seu gasto médio de energia:

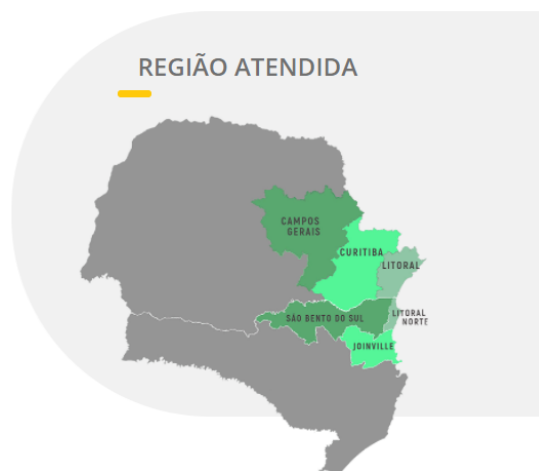
R\$ 459,69

Josué

josue.kmo@hotmail.com

PR Curitiba e Região (41) 99680-1125

Simular



RESULTADOS DA SIMULAÇÃO



ESTIMATIVA NA
ECONOMIA DE ENERGIA:
R\$377,40/mês





INVESTIMENTO:
A partir de R\$21.059,00




QUANTIDADE APROXIMADA
DE PLACAS SOLARES:
15 UN

*CRITÉRIOS USADOS PARA O CÁLCULO: Placas solares com 340Wp, atendimento em baixa tensão, ligação bifásica, instalação sobre telhado metálico com inclinação 25°, orientação norte, sem presença de sombras, na região de Curitiba/PR.

ANEXO F - Orçamento CM Solar

		Cornélio Procopio - PR AV Quinze de Novembro, 165 Centro (43) 3570-0101	
PROPOSTA PARA INSTALAÇÃO DE USINA SOLAR			
Cliente:	Casa Viva Pré Moldados LTDA ME		
CPF	12.750.882/0001-91		
Endereço:	R. Harry Feeken, 2117 Santos Dumont São José dos Pinhais * Paraná		
Objeto:	Proposta para montagem de uma usina de geração solar na unidade indicada pelo endereço acima, incluindo: estudos preliminares, anteprojeto, memorial descritivo, serviços de montagem e testes.		
DADOS UTILIZADOS PARA CRIAÇÃO DO ORÇAMENTO			
Unidade consumidora	28119452		
Tipo de alimentação	Trifásico		
Média de consumo mensal (kWh/mês)	534		
			
Evandro Corrêa evandro@cmsolar.com.br (43) 99168-5803 Rancho Alegre - PR		Maycon C. Bosco maycon@cmsolar.com.br (43) 99406-4451 Cambira - PR	
		Thiago A. Moreira thiago@cmsolar.com.br (43) 99106-1726 Cornélio Procopio - PR	



CMSOLAR & ENGENHARIA

Proposta de Micro Usina Solar
Para Casa Viva Pré Moldados LTDA ME

São José dos Pinhais *
17/05/2021

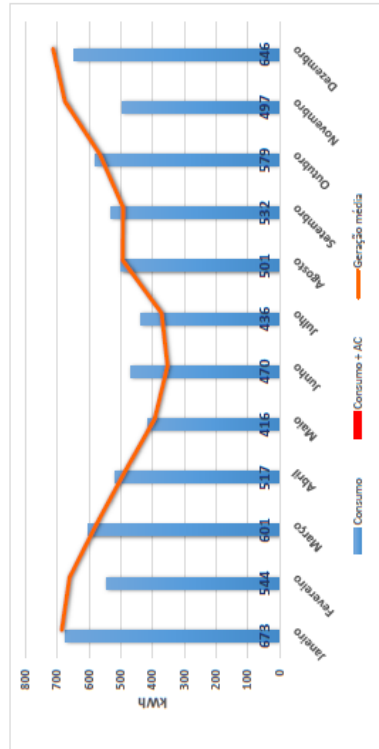
SISTEMA DE GERAÇÃO PROPOSTO

Potência Instalada:	5,28 kWp
Geração média	538 kWh/mês
Módulos fotovoltaicos	12 módulos de 440 Wp
Material de Instalação	<ul style="list-style-type: none"> - Perfil de alumínio - Conectores MC4 - Cabos solares 6 mm2 - String Box (Quando necessário)

Garantia:

- 25 anos de produção de energia (80%)
- 5 anos defeito de fabricação do inversor
- 12 anos defeito de fabricação das placas
- 12 meses do serviço de instalação

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO



** A estimativa de geração leva em consideração a média de radiação de acordo com cada mês do ano e a instalação das placas voltadas para a direção norte.

Serviços inclusos pela empresa

- Visita técnica para análise do ambiente de instalação
- Projeto e criação de memorial descritivo
- Instalação do kit solar
- Suporte quando necessário
- Equipe treinada e habilitada com NR10 e NR35

Serviços não inclusos

- Limpeza dos módulos
- Avaliação da estrutura metálica (incluso com valor adicional)
- Construção de local abrigado para instalação do inversor e demais componentes

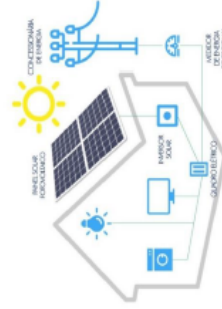
ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO SERVIÇO



INVESTIMENTO

1. Material Kit Solar

Inversor	
1 Und	Inversor Solar PRIMO 4.0 - 220V 4kW FRONIUS
Panel Solar	
12 Und	Panel Solar Monocristalino 440Wp Risen
Materiais Inclusos	
Conectores MC4	
Cabreamento solar	
Estruturas metálicas para fixação dos painéis	
Proteção CC	
Quadros elétricos	
Aterramento para o sistema fotovoltaico	



2. Valores

Investimento: R\$ 24.000,00

- No custo total está incluso: Kit fotovoltaico
Projetos
Instalação
Material de adequação com a rede

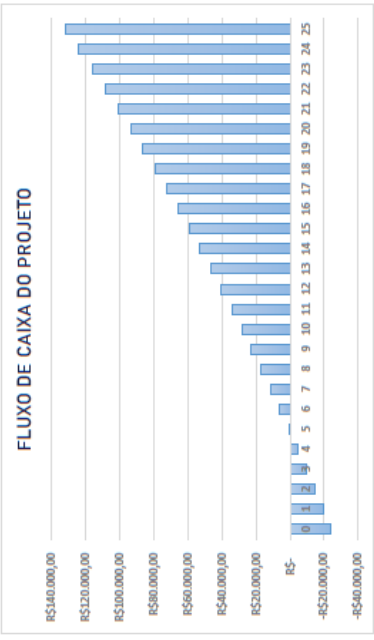
* Proposta válida por 7 dias úteis após apresentação

3. Análise de viabilidade

MESES	ENERGIA CONSUMO	ESTIMATIVA DE ECONOMIA			POTENCIAL DE ECONOMIA
		ANTES	DEPOIS	ECONOMIA	
Jan	673	R\$ 537,58	R\$ 114,95	R\$ 422,63	R\$ 520,11
Fev	544	R\$ 434,54	R\$ 107,05	R\$ 327,49	R\$ 501,51
Mar	601	R\$ 480,07	R\$ 110,54	R\$ 369,53	R\$ 437,84
Abr	517	R\$ 412,97	R\$ 105,40	R\$ 307,57	R\$ 369,30
Mai	416	R\$ 332,29	R\$ 99,22	R\$ 233,08	R\$ 298,12
Jun	470	R\$ 375,43	R\$ 102,52	R\$ 272,90	R\$ 267,55
Jul	456	R\$ 348,27	R\$ 100,44	R\$ 247,83	R\$ 281,86
Ago	501	R\$ 400,19	R\$ 104,42	R\$ 295,77	R\$ 375,04
Set	532	R\$ 424,95	R\$ 106,32	R\$ 318,63	R\$ 373,87
Out	579	R\$ 462,49	R\$ 109,19	R\$ 353,30	R\$ 429,17
Nov	497	R\$ 396,99	R\$ 104,17	R\$ 292,82	R\$ 512,52
Dez	646	R\$ 516,01	R\$ 113,29	R\$ 402,72	R\$ 541,04
ECONOMIA NO ANO		R\$ 3.844,27	R\$ 4.907,94	R\$ 320,36	R\$ 408,99
MÉDIA MENSAL DE ECONOMIA		R\$ 320,36	R\$ 408,99		

* Leva-se em conta valor pago somente na energia consumida. Taxa de iluminação e impostos não inclusos

O tempo estimado para o retorno do investimento (payback) utilizando todo o potencial do sistema é de aproximadamente 4 anos e 10 meses.



4. Financiamento

Simulação realizada com uma taxa de juros de 1,2%

Financiamento com amortização		
Prazo	Primeira parcela	Última Parcela
60	R\$ 688,00	R\$ 404,80
48	R\$ 788,00	R\$ 506,00
36	R\$ 954,67	R\$ 674,67
24	R\$ 1.288,00	R\$ 1.012,00
12	R\$ 2.288,00	R\$ 2.024,00

Simulação realizada com uma taxa de juros de 1,4%

Financiamento Parcela Fixa		
Prazo	Valor da Parcela	
60	R\$ 593,88	
48	R\$ 690,04	
36	R\$ 853,28	
24	R\$ 1.184,31	
12	R\$ 2.186,64	

Thiago Alves Moreira
Thiago Alves Moreira
Responsável Técnico
Engenheiro Eletricista

Aceite de Proposta
Casa Viva Pré Moldados LTDA ME
12.750.882/0001-91

Evandro Corrêa
evandro@cmsolar.com.br
(43)99168-5803
Rancho Alegre - PR

Maycon C. Bosco
maycon@cmsolar.com.br
(43) 99606-4451
Cambara - PR

Thiago A. Moreira
thiago@cmsolar.com.br
(43) 99106-1726
Cornélio Procópio - PR



ORÇAMENTO: Casa Viva Pré-Moldados
J.HELTE EIRELI HELTE

Data: 17/05/2021
Tipo: ORÇAMENTO
Nº: 157978
KWp: 5,28

Endereço: ROD BR 163 KM 266
Fone: (45)2032-0090 - TOLEDO - PR
CNPJ: 31.088.690/0001-94

Endereço: R. GUIERINO ZANONI, 34
Cidade: Rancho Alegre - PR
Fone: 43981081726

Representante: CORREIA, MOREIRA E BOSCO LTDA
Vendedor: LUIZ HENRIQUE RIBEIRO KOWALSKI

Produto	Quantidade
MODULO RISEN RSM156-6-40W MONO	12
FRONLUS PRIMO 4.0-1 COM MONITORAMENTO W-FI	1
STRING BOX CLAMPER/SIMILAR 15A-22	1
CONNECTOR MACHO	4
CONNECTOR FEMEA	4
CABO 6 MM PRETO (QUANTIDADE EM METROS)	36
CABO 6 MM VERMELHO (QUANTIDADE EM METROS)	36
GRUPO INTERMEDIARIO THUNDER 3540MM SOLAR GROUP	20
GRUPO FINAL THUNDER 3540 MM	8
JUNÇÃO U DO PERFIL SUPORTE MODULO SOLAR GROUP	2
PARAFUSO CABECA MARTELO INOX 304 M10	26
PORCA SEXTAVA FLANGEADA DE INOX 304 M10	26
SUPORTE RETO PARA PARAFUSO SOLAR M10 INOX 304(A2)	26
CJ HAIS C/FOUR EPDM INOX304 10X200 POL.- MADEIRA	26
PERFIL SUPORTE THUNDER 4200 SOLAR GROUP	6
Total:	R\$ 18.056,19

Observação:
VALIDADE DO ORÇAMENTO: 3 DIAS ÚTEIS APÓS A EMISSÃO.
DESPACHO EM ATÉ 10 DIAS ÚTEIS
APOS A COMPENSAÇÃO DO PAGAMENTO E CHEGADA DA MERCADORIA EM ESTOQUE.
O prazo de despacho inicia após a chegada de todos os produtos.
Frete incluso somente para áreas urbanas (soerto devera ser feito com o motorista no caso de entrega em áreas rurais).
A descarga é de responsabilidade integral do integrador.

ANEXO G - Orçamento RM Solar

Página 1 de 8

PROPOSTA TÉCNICA-COMERCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Cliente:	CASA VIVA PRE MOLDADOS LTDA ME		
Endereço:	R. HARRY FEEKEN, 2117, SJP - PR		
Potência:	4,95 kWp		
Data:	10/06/2021		
Consumo médio Energia	534,33 kWh		
Custo médio energia:	R\$ 406,09		
Telhado:	Cerâmico		

RM Engenharia Solar
F. (41) 3305-4077 / (41) 95.9828-0990
R. Professores Mercante de Souza e Silva, 1957 - São José dos Pinhais - PR.

Página 2 de 8

PROPOSTA

Geração Fotovoltaica:


O consumidor que adirir a micro geração de energia solar fotovoltaica passa a participar do sistema de geração de energia elétrica, sendo responsável por pagar a energia consumida em excesso para a concessionária e a noite se utiliza desse crédito resultando a conta no final do mês). Os créditos podem ser utilizados em até 5 anos.

Captação - Durante o dia os módulos fotovoltaicos convertem a energia do sol em eletricidade. A quantidade de produção dependerá diretamente da radiação em sua cidade e da quantidade de módulos instalados.

Conversão - O inversor converte a corrente contínua gerada pelos módulos para corrente alternada, que pode ser utilizada para alimentar a sua residência.

Remuneração - Caso você produza mais energia do que consome, o saldo é injetado na rede elétrica da concessionária e convertido em crédito de energia para uso futuro ou em outra unidade consumidora pre-cadastrada.

	EQUIPE Contamos com uma experiente e bem treinada equipe de técnicos profissionais, com amplo conhecimento desde o projeto a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica.
	Equipamentos Além de nossos investimentos em recursos humanos, a RM Engenharia Solar utiliza equipamentos de qualidade, certificados pelo INMETRO.
	Geração de Energia Foco na geração de energia e satisfação do cliente. Projetos e soluções personalizadas garantindo máximo de aproveitamento.
	Soluções Solução completa em geração fotovoltaica. Nos cuidamos de tudo. Projeto, Instalação, homologação e manutenção.



Proposta

Estudo de Viabilidade Econômica Financeira

Terça com escassez:	0,79 R\$/Wh
Requisito Tarifário:	30% ao ano
Torça de Módulos:	11 Umd.
Inversor(s):	50 kWp
Área necessária para instalação (aprox):	24 m ²

Tempo de Recuperação do Capital (Pay-Back)

O seu Pay-Back (Tempo de Retorno) é de:

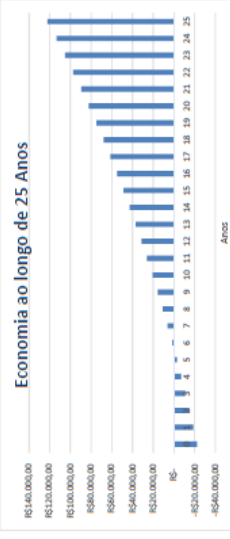
TIR	18,27%
**NPV	R\$ 122.062,69

* TIR - Taxa Interna de Retorno. Projeções baseadas na inflação média histórica de 10% ao ano da tarifa de energia elétrica.
 ** NPV - Valor Presente Líquido. Projeções baseadas no perfil atual do consumo do cliente e projetadas para o futuro.
 -> Não possuem validade legal, por se tratarem de projeções.

ECONOMIA

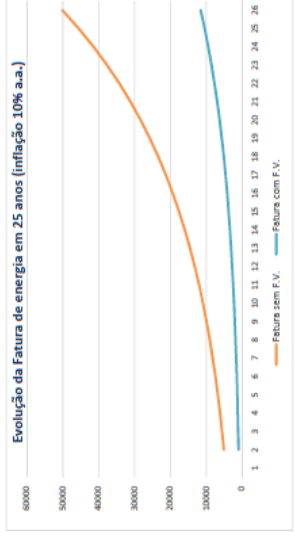
Percentual Gerado com SFOR [Sistema Fotovoltaico]:	73,8%
Economia no Primeiro ano pode chegar até (R\$):	R\$ 3.650,07

Economia ao longo de 25 Anos




Previsão de Consumo Anual: Com e Sem Energia Solar

Evolução da Fatura de energia em 25 anos (inflação 10% a.a.)



Página 4 de 6








Proposta

Valor Total (À vista)	R\$ 22.445,39
Financiamento - Solicitar Simulação	
Entrada	-
Carência	-

R\$	12 x	24 x	36 x	48 x	60 x	72 x	R\$

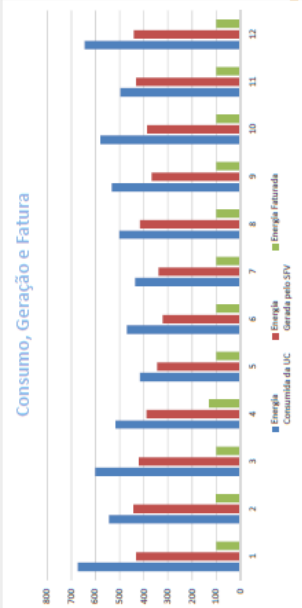
** As condições de pagamento podem variar de acordo com aprovação de crédito.**

Previsões de Consumo / Geração/Economia(kWh)


Mês	*Histórico de Consumo Concessão (kWh)	**Estimativa de Geração (kWh)	***Estimativa do novo consumo (kWh)
Janeiro	673	432	100,0
Fevereiro	544	445	101,4
Março	601	450	100,0
Abril	317	368	123,6
Mai	416	345	100,0
Junho	470	342	100,0
Julho	436	339	100,0
Agosto	501	416	100,0
Setembro	532	367	100,0
Outubro	579	366	100,0
Novembro	497	431	100,0
Dezembro	646	442	100,0
Total	6.412	4.730	1.230,0

Consumo, Geração e Fatura



* Todos os dados apresentados são baseados no perfil de consumo no último ano do cliente.
 ** As estimativas de geração podem variar de acordo com a irradiação ao local e período.
 *** Todos os dados são estimativas. Não possuem validade legal.

Página 3 de 6




Proposta

Lista materiais.


Materiais:

- 8 CONECTOR MCA 3200L6P0001-UR PV-4BT4/6H-UR ACOPLADOR FEMEA
- 8 CONECTOR MCA 32.00L7P0001-UR PV-4ST4/6H-UR ACOPLADOR MACHO
- 1 INVERSOR SOLAR GROWATT ON GRID MINS000TL-V3W1 MONOFASICO 230V 23MPPT MONITORAMENTO
- 1 STRING BOX ABB 13V400230400008R QUADRO 4 ENTRADA 4 SAIDAS 1040V (2 MPPT)
- 11 PAINEL SOLAR JINKO JKH500H-60HL-V 60W PFC 550W 120 CEL MONOFASICAL 20,85% EFICIENCIA
- 3 ESTRUTURA SOLAR GRSOL GSVTC2401000M00412 BARRAS PERFIL SMART 2.40M TIGER
- 50 CABO SOLAR CORDEIRO P50 CORTOX SOLAR FLEX 1KV 1500V/CS NBL 1X6.00 PRETO
- 1 MISCELÂNEOS (CABOS CA, ELTROI DUTOS, ETC.)


Página 5 de 8




Jinko Solar
450W
20,85%
84,8%
AUS 25 ANOS



SOLAR
INVERTER



Calculadora Para eficiência da bateria
Smartphone, computador e tablet



Aditivo Solarweb line
ELETRO-REDES ELETRO-ENGENHARIA



Proposta

Fornecimento

A RM Engenharia Solar fornece a solução completa para geração de energia solar, compreendendo:

- 1- Estudo e cálculo do projeto;
- 2- Projeto específico para finalidade do cliente;
- 3- Produto/documento necessário para apresentação na concessionária;
- 4- Acompanhamento técnico da instalação;
- 5- Manutenção do sistema;
- 6- Atualização do sistema (se necessário)

Não contempla na proposta

Quaisquer itens não especificados na proposta;

Obras civis relacionados à adequação no local, melhorias em infraestruturas e ou reforço;

Instalação de cabos de energia, disjuntores, barramentos de neutro ou terra ou outros necessários para aprovação na concessionária e para adequar a NBR - 5410;

Manutenção de energia (custos para concessionária);

Instalação de sistema de aterramento;

Manutenção

O sistema é de baixa manutenção, mas necessário ao menos uma vez por ano para limpeza dos módulos solares;

Verificação das instalações (estado das conexões, condição física dos cabos, funcionamento dos dispositivos de proteção, condição do aterramento);

Para manter a garantia da geração do sistema solar, é recomendada a lavagem dos módulos a cada 1 ano ou 6 em 6 meses (custos por conta do cliente);

A primeira revisão no período de 6 meses da ligação do sistema solar será gratuita e não precisa pagar pelos itens cobertos pela garantia.

RESPONSABILIDADES DO CLIENTE

Fornecer todas as informações necessárias e disponíveis para execução do projeto em meio digital (contas de energia, plantas e projeto do local da instalação, levantamento planialtimétrico, etc);

Receber antecipadamente em seu endereço os equipamentos a serem instalados, responsabilizando-se pela sua guarda até a conclusão da sua instalação;

Fornecer sinal de internet para o sistema de monitoramento de dados (opcional);

Garantir correto aterramento da sua instalação elétrica atual;

Indicar uma pessoa responsável pelo gerenciamento do projeto que possa tomar todas as decisões relativas ao mesmo;

Alterações e adições em estruturas onde será feita as instalações dos equipamentos, tais como: (fornecimento de materiais, mão de obra, etc) e materiais não mencionados nesta proposta);

Efetuar os pagamentos em dia conforme acordado em contrato.

RESPONSABILIDADES DA RM ENGENHARIA

Memorial Descritivo da instalação com as especificações técnicas dos equipamentos a serem utilizados;

Projeto Completo do sistema;

Homologação na COPEL e acompanhamento da obra;


Instalação do sistema;

Página 6 de 8









Proposta

Página 7 de 8

Garantia
Equipamento
Módulo Solar *
Inversor
Estrutura
Instalação
Garantia
12 anos
5 anos
12 anos
5 anos

GARANTIA

Inversores com 5 anos contra defeitos de fabricação.
 * Módulos (Painéis) solares 12 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos na geração de energia (80% de eficiência).

Estão excluídos da garantia problemas decorrentes de intempéries de natureza (raios, granizo e efeitos atmosféricos) e os custos de substituição dos equipamentos.
 A garantia é dada pelo fabricante dos equipamentos.

A RM Engenharia Solar se responsabiliza pela garantia da prestação dos serviços de projeto, instalação e homologação junto à concessionária.

CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES



Os dados de irradiação são estimativas baseadas em medições por satélites e confirmadas em estações sobrimétricas situadas em diferentes regiões do país (base nacional de dados Atlas Solar - INPE/SINERA). Portanto, os valores de geração de energia também são estimativas (podendo variar em torno de 10%). O que existe a RM Engenharia Solar de qualquer responsabilidade nesse âmbito.

Contamos com o melhor equipe e os melhores equipamentos disponíveis no mercado.

Cobrimos orçamento desde que sejam considerados os mesmos itens na Proposta.

A fatura paga à concessionária nunca será inferior ao custo de disponibilidade da unidade consumidora. Monofásico 30kWh, bifásico 50kWh e trifásico 100kWh.


Validade da Proposta

Eng. Rodrigo Martins - CREA-PR 110.331/D
 RM Engenharia Solar
 R. Prof. Moreira de S. e Silva, 1857
 São J. Pinheiro - PR
 (41) 9.90230990 / (41)3305-6077

15/06/2021

(Ou enquanto durar em os estoques)



Proposta

Página 8 de 8

Resumo da Proposta

*As PARTES CONTRATANTE e CONTRATADA estarão vinculadas às obrigações aqui estabelecidas e estas serão executadas somente após o aceite por escrito da presente proposta, em consonância com os termos do Artigo 784, inciso III do Código de Processo Civil, a figurando-se como título executivo extrajudicial.

CASA VIVA PRE MOLDADOS LTDA ME

RM Engenharia Solar

Testemunhas:

Nome: / Documento

Nome: / Documento