



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO MARQUES COSTA

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA
INTEGRADA A UMA EMPRESA

FORTALEZA

2021

PEDRO MARQUES COSTA

**ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA
INTEGRADA A UMA EMPRESA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C875e Costa, Pedro Marques.

Estudo de implementação de uma planta fotovoltaica integrada a uma empresa / Pedro Marques Costa. – 2021.

81 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Geração fotovoltaica. 2. Modelagem. 3. Análise financeira. 4. Estudo de caso. 5. Modelagem BIM. I. Título.

CDD 621.3

PEDRO MARQUES COSTA

**ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA
INTEGRADA A UMA EMPRESA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Graduado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

APROVADO EM: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. PAULO CESAR MARQUES DE CARVALHO (ORIENTADOR)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC)

PROF. DR. RAPHAEL AMARAL DA CÂMARA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC)

ENG. BRENO BEZERRA FREITAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC)

A Deus.
A minha família.
Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e paciência quando, para enfrentar as dificuldades.

A meus pais, Laura e Pedro, e minha avó, Luiza, pela ajuda e presença em todos os momentos.

A minha namorada que percorreu, comigo, minha trajetória.

A minha irmã, pelo apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, pela sabedoria com que me guiou neste trabalho.

Ao Eng. Breno por ajudar durante as correções deste trabalho.

Aos integrantes da banca, por compartilharem suas experiências e esse momento que é o início de uma caminhada maior.

Aos colegas do curso que sabem as dificuldades enfrentadas.

A todos meus amigos, que me apoiaram.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Aos meus tios, George e Cristine, e primos, pelo apoio que foi muito importante para mim.

Enfim, a todos os que de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

O sucesso é ir de fracasso em fracasso
sem perder entusiasmo. (CHURCHILL,
Winston, 1940)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de viabilidade financeira para instalação de uma planta fotovoltaica (FV) em um empreendimento categorizado como baixa tensão, tipo de consumidor B3, para geração de energia elétrica atuando juntamente com a energia fornecida pela concessionária local do estado do Ceará. Realizou-se avaliação de viabilidade financeira para dois casos propostos. O primeiro caso visava atender apenas ao atual consumo de energia elétrica da oficina mecânica, estacionamento e trabalho com funilaria, que juntos possuem maior demanda de energia elétrica, e o segundo caso visava atender a todas as instalações citadas anteriormente acrescentando a sede e escritório da empresa com uma ampliação de carga prevista. Utilizaram-se os seguintes *softwares* para elaboração da análise: RETScreen e Revit para auxiliar na comparação do dimensionamento teórico exigido, bem como a análise de retorno financeiro e o posicionamento dos módulos, visando espaço útil e de sombreamento do local, respectivamente. Utilizou-se o Revit para modelagem dos blocos de prédios da empresa em estudo, bem como dos próprios elementos utilizados na geração solar FV, para observar os pontos de instalação dos módulos FV em relação ao sombreamento, orientação voltada para o norte e ao espaço físico útil disponível. Utilizou-se o RETScreen, uma ferramenta didática, para realizar a análise de retorno financeiro e as comparações entre os resultados obtidos na teoria e na prática. No estudo, o primeiro caso atenderia a 97,53% da demanda de energia elétrica atual de 1.000,5 kWh/mês e 19,35% da demanda de energia elétrica futura de 5.003,08 kWh/mês, sendo suprida por 6,80 kWp em 1 inversor de 6,0 kWp (PHB6000D-NS) e o segundo caso atenderia a 95,00% dos 5.003,08 kwh/mês da demanda de energia elétrica prevista pela ampliação, sendo suprido por 35,20 kWp em 1 inversor de 36 kWp (PHB36K-MT). Custo total de R\$ 23.269,45, no primeiro caso, e R\$ 138.970,88, no segundo caso, com tempo de retorno de capital de 3 anos e 8 meses para primeiro caso e 3 anos e 4 meses para o segundo caso, com investimentos próprios, ou seja, sem entrada de juros por financiamentos.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica. Modelagem. Análise Financeira. Estudo de Caso. Modelagem BIM. RETScreen

ABSTRACT

The present work aims to carry out a financial feasibility study for the installation of a photovoltaic plant (PV) in an undertaking categorized as low voltage, type B3 consumer, for the generation of electric power acting together with the electric power by the local concessionaire of the state of Ceará. Financial feasibility assessment was carried out for two proposed cases. The first case aimed to meet only the current electricity consumption of the mechanic workshop, parking and work with a body shop, which together have a higher demand for electricity, and the second case aimed to meet all the facilities mentioned above by relocating the company's headquarters and office with an expected load expansion. The following softwares were used for the elaboration of the analysis: RETScreen and Revit to help in the comparison of the necessary theoretical dimensioning, as well as the analysis of financial return and the positioning of the modules, useful space and shading of the site, respectively. Use Revit to model the building blocks of the company under study, as well as the elements used in the solar PV generation, to observe the installation points of the PV modules in relation to shading, orientation facing north and the available useful physical space. Use RETScreen, a didactic tool, to perform an analysis of financial return and as comparisons between the results obtained in theory and in practice. In the study, the first case would meet 97.53% of the current electricity demand of 1,000.5 kWh / month and 19.35% of the future electricity demand of 5,003.08 kWh / month, being supplied by 6.80 kWp in 1 6.0 kWp inverter (PHB6000D-NS) and the second case would meet 95.00% of the 5.003.08 kWh / month of the electricity demand provided for by the expansion, being supplied by 35.20 kWp in 1 inverter 36 kWp (PHB36K-MT). Total cost of R\$ 23,269.45, in the first case, and R\$ 138,970.88, in the second case, with capital return time of 3 years and 8 months for the first case and 3 years and 4 months for the second case , with its own investments, that is, without interest on financing.

Keywords: Photovoltaic Generation. Modeling. Financial analysis. Case study. BIM Modelling. RETScreen

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Empresa de Turismo do estudo de caso	14
Figura 2 – Irradiação diária – média anual típica.....	19
Figura 5 – Planta 2D da empresa com modelagem em BIM.....	39
Figura 6 – Vista 3D da empresa com modelagem em BIM.....	39
Figura 7 – Vista superior da empresa.	40
Figura 8 – Caminho percorrido pelo Sol durante 2020.....	41
Figura 9 – Estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 08:00h.....	42
Figura 10 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 08:00h .	42
Figura 11 – Estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 12:00h.....	43
Figura 12 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 12:00h .	43
Figura 13 – Estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 16:00h.....	44
Figura 14 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 16:00h .	44
Figura 15– Estudo sombreamento 10 junho de 2020, 08:00h.....	45
Figura 16 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 junho de 2020, 08:00h ...	45
Figura 17 – Estudo sombreamento 10 junho de 2020, 12:00h.....	46
Figura 18 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 junho de 2020, 12:00h ...	46
Figura 19 – Estudo sombreamento 10 junho de 2020, 16:00h.....	47
Figura 20 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 junho de 2020, 16:00h ...	47
Figura 21 – Página inicial RETScreen.....	49
Figura 22 – Características do Local.....	50
Figura 23 – Dados Climáticos	50
Figura 24 – Informações Instalação	51
Figura 25 – Eletricidade e Combustível.....	51
Figura 26 – Carga de Base FV caso 1	52
Figura 27 – Painel FV escolhido.....	53
Figura 28 - Carga de Base FV segundo caso	53
Figura 29 – Análise de Energia Caso 1	54
Figura 30 - Análise de Energia Caso 2.....	54
Figura 31 – Aba Custos caso 1	55
Figura 32 – Aba Custos caso 2	55
Figura 33 – Análise de emissões para o caso 1.....	56
Figura 34 – Análise de emissões para o caso 2.....	56
Figura 35 – Análise Financeira caso 1	57
Figura 36 – Análise Financeira caso 2	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil.....	22
Gráfico 2 – Potencia Instalada FV em geração distribuída no Brasil.....	23
Gráfico 3 – Consumo (kWh/mês) do primeiro caso de estudo.	29
Gráfico 4 – Consumo (kWh/mês) do Segundo caso de estudo.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Geração (GWh) baseada nos anos 2018 e 2019	22
Quadro 2 – Fator de Capacidade	27
Quadro 3 – Características do Painel Solar escolhido.	28
Quadro 4 – Dados Técnicos de Inversores Monofásicos PHB.....	33
Quadro 5 - Dados Técnicos de Inversores Trifásicos PHB	35

APÊNDICE

Apêndice I – Folha de Rosto Caso 1	62
Apêndice II – Resumo Caso 1	63
Apêndice III – Local e dados Climáticos.....	64
Apêndice IV – Usina Caso 1.....	65
Apêndice V – Emissões de GEE Caso 1	66
Apêndice VI – Análise Financeira Caso 1	67
Apêndice VII – Fluxo de Caixa caso 1	68
Apêndice VIII – Folha de Rosto Caso 2	69
Apêndice IX – Resumo Caso 2	70
Apêndice X – Local e dados Climáticos	71
Apêndice XI – Usina Caso 2.....	72
Apêndice XII – Emissões de GEE Caso 2.....	73
Apêndice XIII – Análise Financeira Caso 2	74
Apêndice XIV – Planta Baixa.....	75
Apêndice XV – Corte 01	76
Apêndice XVI – Corte 02.....	77
Apêndice XVII – Vistas.....	78
Apêndice XVIII – Diagrama	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
EPE	Empresa de Pesquisa
FIT	<i>Feed-In Tariff</i>
FV	Fotovoltaico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEA	Laboratório de Energias Alternativas
OPA	<i>Ontario Power Authority</i>
PL	Projeto de Lei
REN	Resolução Normativa
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFC	Universidade Federal do Ceará
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 <i>Objetivos gerais</i>	15
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	17
2.1 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	17
2.2 SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA	20
2.3 RESOLUÇÕES NORMATIVAS	23
2.3.1 <i>Geração Distribuída Fotovoltaica</i>	24
3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	26
3.1 CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA	26
3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	27
3.2.1 <i>Dimensionamento dos painéis para o Primeiro caso</i>	29
3.2.2 <i>Dimensionamento dos painéis para o Segundo caso</i>	31
3.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	32
3.3.1 <i>Definição do inversor para o primeiro caso</i>	33
3.3.2 <i>Definição do inversor para o segundo caso</i>	35
3.4 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PARA OS CASOS PROPOSTOS.....	36
4 MODELAGEM COM TECNOLOGIA BIM	38
5 ANÁLISE COM RETSCREEN.....	48
6 CONCLUSÃO.....	59
7 REFERÊNCIAS	60
8 APÊNDICE	62

1 INTRODUÇÃO

Apesar de representar 1,7% da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2021) a geração elétrica por meio de plantas fotovoltaicas (FV) apresentou um crescimento de 7,740 GW, registrado em 2020, para 8,010 GW, em fevereiro de 2021, (ABSOLAR, 2021).

Contudo, ocorreu o aumento da tarifa imposta à conta de energia elétrica que se tornou estímulo para a busca de energia elétrica proveniente de energias renováveis.

Em contrapartida ao aumento da tarifa sobre a energia elétrica, a diminuição do custo da tecnologia (FV) acarretou a busca da geração FV como meio de compensação de energia elétrica. De acordo com Haratz, Sauaia e Koloszuk (ABSOLAR, 2019)

Desde o início de 2019, o mercado de energia solar fotovoltaica apresenta uma trajetória animadora tendo ultrapassado a energia nuclear e assumido a posição de sétima fonte mais representativa na matriz energética brasileira, superando a marca de 8,0 gigawatts (GW) operacionais desde 2012. (ABSOLAR, 2021).

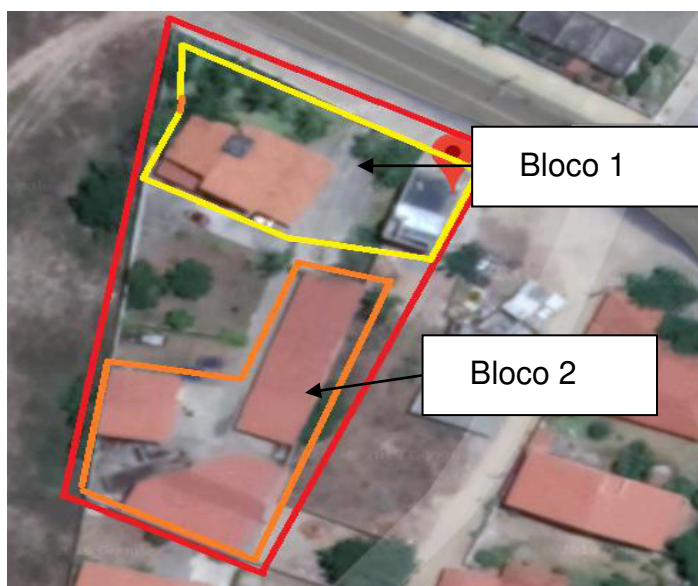
Destaca-se que além de não produzir poluentes no momento de geração, a geração FV tem-se mostrado economicamente viável ao médio e longo prazo, possui instalação fácil e tem apresentado diminuição progressiva dos custos dos equipamentos utilizados em um sistema FV.

A geração FV teve crescimento expressivo em utilização após a regulamentação promovida pela Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 da ANEEL, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Em 2015 a geração FV teve um novo estímulo quando surgiu a REN nº687/2015 e posteriormente a REN nº786/2017, alterando a REN 482, permitindo a compensação de energia elétrica, a possibilidade de geração distribuída (GD) em condomínios e a utilização dos créditos gerados entre as diversas unidades consumidoras.

Nesse contexto, surge o presente estudo de avaliação de viabilidade técnica e financeira da implantação de módulos FV em uma instalação em baixa tensão, tipo de consumidor B3, localizada na Avenida Central da Tabuba, 3325 - Tabuba, em Caucaia – Ceará, com o intuito de reduzir o valor de consumo de energia elétrica faturado pela concessionária.

Desenvolveu-se o estudo para duas situações: a primeira para uma planta FV que atendesse a 97,53% do consumo de energia elétrica mensal atual de 1.000,5 kWh em um de seus prédios, ilustrado na Figura 1 como bloco 2, delimitado pela marcação em laranja, e a segunda planta FV que atenda a 95,00% de um consumo mensal de 5.000,8 kWh previsto com aumento de carga, suprindo os 2 conjuntos de prédios, ilustrados na Figura 1 como bloco 1, delimitado pela marcação em amarelo, e bloco 2, delimitado pela marcação em laranja, que englobam toda a empresa.

Figura 1 – Empresa de Turismo do estudo de caso



FONTE: google maps (adaptado)

1.1 MOTIVAÇÃO

É necessária, de forma geral, a mudança da relação entre o consumo de energia elétrica e a poluição ambiental proveniente de resíduos das fontes de energia não renováveis. Como engenheiros, temos a necessidade de solucionar tais problemas, visando também às vantagens econômicas geradas.

1.2 OBJETIVOS

Devido ao alto consumo de energia elétrica exigida pela empresa, dos altos índices de radiação solar no Brasil e o do aumento as tarifas de energia elétrica, o presente trabalho tem o objetivo de propor a implantação de um sistema FV integrado à rede de distribuição local visando suprir a demanda de energia elétrica da mesma.

1.2.1 *Objetivos gerais*

Busca-se a viabilidade financeira e técnica na comparação dos dois casos propostos para redução do valor consumido/tarifado de energia elétrica.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Dimensionamento do projeto;
- Análise da viabilidade financeira;
- Comparação entre os sistemas FV utilizados como objetivo de estudo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho divide-se em 7 capítulos, incluindo esta introdução, a fim de facilitar o entendimento de todo o estudo.

No capítulo 2 introduziram-se conceitos e definições sobre a situação energética brasileira, resoluções normativas, energia solar FV e a integração dessa planta FV à rede de energia elétrica da concessionária.

No capítulo 3 apresentam-se as características do sistema elétrico e de demanda da empresa em estudo, expõe-se o dimensionamento da planta FV, analisando-se a conta de energia elétrica da empresa e fazendo uma previsão de carga para as novas instalações que ainda não entraram em operação, o tempo de exposição ao sol na área de instalação, irradiação solar em Tabuba e a tecnologia existente que foi utilizada nos módulos. É feito ainda o dimensionamento dos inversores.

No capítulo 4 realiza-se uma modelagem em *Building Information Modeling* (BIM), visando calcular a área de sombreamento e área útil para instalação do sistema FV.

No capítulo 5 realiza-se análise, com auxílio do *software RETScreen*, a viabilidade financeira da implementação do sistema FV à instalação da empresa.

No capítulo 6 encerra-se o trabalho, apresentando-se os resultados encontrados no decorrer do processo e as considerações finais.

2 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Brasil registrou, até março de 2021, 4.905,8 MW em capacidade instalada espalhados por todo o país e atendendo os mais diversos tipos e tamanhos de unidades consumidoras (ABSOLAR, 2021).

2.1 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A geração FV se utiliza da energia solar para gerar energia elétrica utilizando os módulos FV. Permitindo, assim, ao consumidor, suprir uma parcela significativa de sua demanda de energia elétrica através de um sistema FV.

Os módulos FV são compostos por células solares FV responsáveis pela conversão direta da luz em eletricidade.

Feitas de materiais semicondutores, mais comumente o silício, as células solares são produzidas com uma camada positiva (com falta de elétrons) e uma camada negativa (com excesso de elétrons) que, juntas, criam um campo elétrico, assim como em uma bateria.

Quando os fótons atingem uma célula solar, eles liberam os elétrons em excesso dos átomos da camada negativa, que passam para a camada positiva criando, assim, um circuito elétrico. Quando os elétrons fluem através desse circuito, eles geram eletricidade.

Múltiplas células compõem um módulo FV e vários destes são agrupados para formar um painel solar. Quanto mais painéis você puder implantar, mais energia você pode esperar gerar.

O custo-benefício da tecnologia compensa, porque o sistema, além de ter vida útil longa, praticamente não exige manutenção específica. Mas não é apenas a questão financeira. Mais importante é que se trata de uma fonte de energia limpa, 100% responsável. (BLUESOL, 2018, p.2).

Os principais equipamentos que compõem o sistema são os módulos FV e o inversor interativo.

O economista Walter Bodra, em 2011, realizava pesquisas a respeito do uso de energia solar e calculava que a economia do consumo de energia elétrica pode chegar a 40% através do uso de tal tecnologia.

O custo-benefício da tecnologia compensa, porque o sistema, além de ter vida útil longa, praticamente não exige manutenção específica. Mas não é apenas a questão financeira. Mais importante é que se trata de uma fonte de energia limpa, 100% responsável. (BODRA, 2011, p. 1).

Até a data do presente trabalho, abril de 2021, trabalha-se com economia entre 80% a 90%.

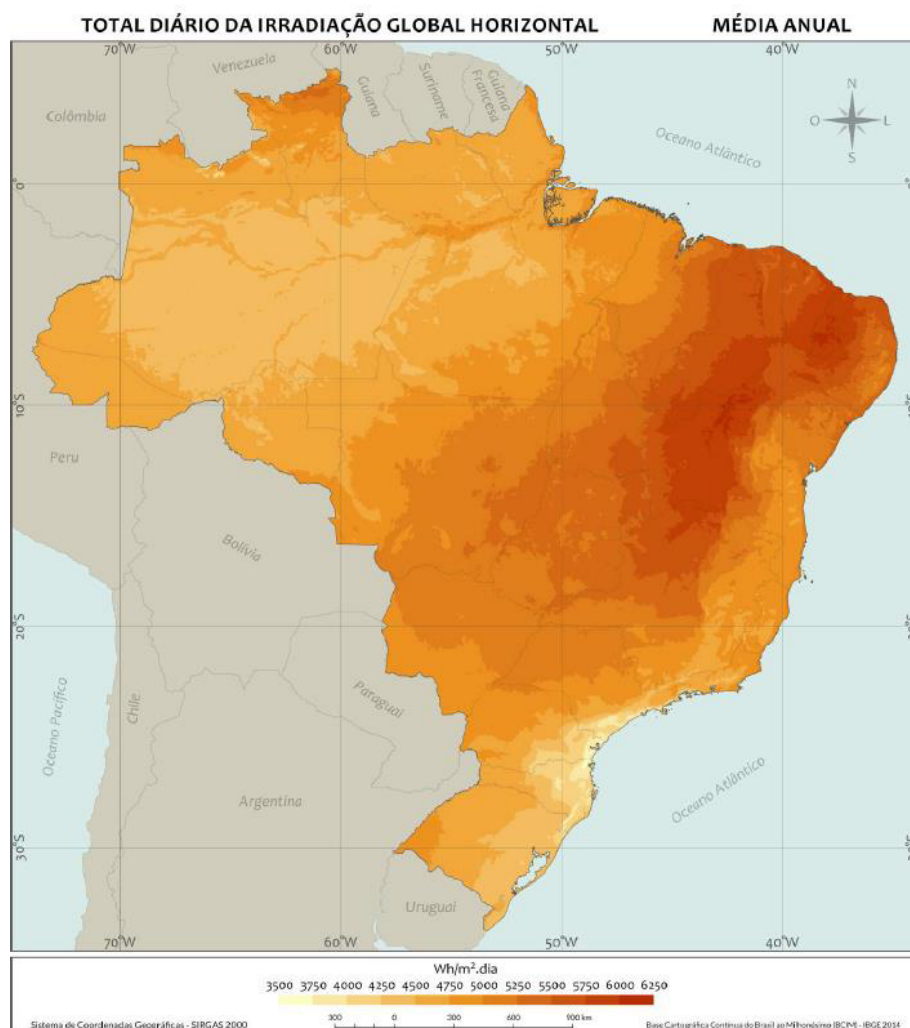
A utilização da geração FV é bastante útil ao nosso país em virtude dos elevados índices de raios solares durante praticamente todo o ano.

Entretanto, países que não possuam esta posição geográfica privilegiada, que proporciona demasiadas radiações solares, estão investindo e utilizando este método de distribuição de geração advinda de módulos FV, como a Alemanha.

Foi realizada uma comparação com a Alemanha, que recebe 40% menos radiação do que o lugar menos ensolarado do Brasil e, mesmo assim, é o país em que a tecnologia FV já se encontra em estágio muito avançado tanto de pesquisa quanto de instalações, sejam elas de microgeração e minigeração interligadas à rede, sejam elas de maior potência instalada (MOREIRA; CORREIA, 2018). Isso significa que o Brasil e, em particular, o estado do Ceará, ainda precisam avançar nos investimentos nesse tipo de energia de modo a aproveitar o potencial natural que dispõe.

A seguir, a Figura 2 demonstra os níveis de radiação solar no Brasil.

Figura 2 – Irradiação diária – média anual típica



FONTE: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição (2017)

Desde 2000, o governo alemão oferece subsídio para quem quiser instalar esses módulos. Entre os mecanismos de incentivos existentes na Alemanha, um dos principais é o Programa de Incentivos de Mercado (MAP, “Marktanreizprogramm”) (MOREIRA SOUZA, 2020).

No Canadá, os maiores investimentos em fotovoltaica estão em Ontário, a segunda maior província canadense. Ontário utiliza o Feed-In Tariff (FIT), gerido pelo Ontario Power Authority (OPA), programa que garante preços para eletricidade gerada a partir de fontes renováveis (IZIDOR, ORSI, CORDEIRO, 2014).

A constante utilização de energia elétrica através de sistemas FV tende a aumentar, pois é um dos maiores campos de energia renovável a ser explorado. Em virtude disso, um crescente número de novos dispositivos e componentes para

módulos FV, em especial no que concerne a células e conversores de potência, estão sendo desenvolvidos neste mercado (ELTAWIL; ZHAO, 2010).

Espera-se que nos anos posteriores ocorra a redução nos custos de desenvolvimento de geradores FV, seja através de métodos realçando os cristalinos, estruturas e materiais que formam o módulo FV ou através da realização de pesquisas para aprimorar a tecnologia relacionada a esse sistema.

E ainda, aumento dos nichos de mercado, especialmente para atender aquelas áreas de difícil acesso e com pouca energia elétrica. Porém, para isso, será necessária uma demanda de tempo considerável (PATTERSON, 2009).

De acordo com o portal de dados abertos do governo em 2021, o Ministério de Minas e Energia (MME) tem como missão institucional formular e assegurar a execução de Políticas Públicas para a gestão sustentável dos recursos energéticos e minerais, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do País. A atual estrutura do Ministério tem como áreas de competência a exploração e produção de recursos minerais e energéticos, aproveitando dos recursos hídricos, fotovoltaicos e demais fontes para fins de energia elétrica.

Diante dessa explanação, verificam-se pontos positivos a serem obtidos através da geração FV. O Brasil possui grande potencial para desenvolver o uso dessa tecnologia, mas ainda se apresentam pontos negativos como a escassez de investimentos e incentivos do governo para poder desenvolver a produção e implantação desse sistema, dependência da rede elétrica da distribuidora local, geração intermitente e espaço útil necessário para instalação dos equipamentos.

Verifica-se que mundialmente houve crescimento significativo desse sistema elétrico (ABSOLAR, 2021).

É nessa perspectiva que se desenvolve o presente trabalho, com enfoque na viabilidade da geração de energia elétrica através de projetos de implantação do sistema FV.

2.2 SITUAÇÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA

Atualmente, a geração de energia elétrica possui relevante importância e está sendo alvo de constantes debates na esfera global. Isso ocorre devido ao

amplo crescimento populacional, científico e tecnológico que vem ocorrendo e a energia solar FV aparece como uma opção em crescimento e não poluente.

Embora exista uma demanda de consumo e de crescimento, é necessária a conscientização para o uso de energias alternativas e renováveis, de forma a diminuir os impactos negativos que as sociedades produzem ao meio ambiente e estimular práticas racionais e responsáveis. Pode-se verificar o desenvolvimento da economia bem como o grau de qualidade de vida da população em alguns países através da verificação do nível de uso de energia elétrica. Esta que é usualmente ligada a taxa de gasto energético do país.

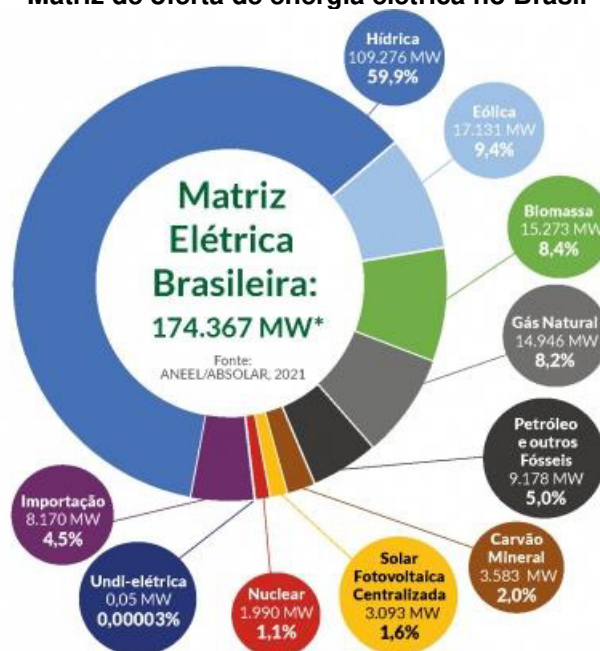
O setor industrial ainda supera no consumo de energia elétrica nacional, porém vem tendo quedas em percentual desde 2014, dando espaço ao aumento do setor residencial que se destaca pelo constante crescimento no mesmo período (EPE, 2020).

Embora o uso desenfreado de energia cause um dano ambiental que repercute na própria sociedade, é necessário seu uso constante em uma área industrial, por exemplo, pois esta depende da fonte de energia para produção, e conseqüente o faturamento.

Uma das principais formas de exploração de energia não renovável está concentrada na queima de combustíveis fósseis. Além de ser totalmente prejudicial ao meio ambiente, é uma fonte de energia esgotável, ou seja, seu uso constante e exagerado poderá ocasionar o seu fim e um grande prejuízo ao meio ambiente.

De acordo com o, demonstrado no Gráfico 1, o panorama no Brasil referente ao uso de fontes de energia renováveis alcança um patamar importante, ultrapassando os 80% de toda a produção nacional, índice positivo comparado a outros países, porém quase a totalidade vem derivada de energia hidráulica, o que demonstra que o uso de outros métodos renováveis ainda não é comum no país.

Gráfico 1 – Matriz de oferta de energia elétrica no Brasil



FONTE: ABSOLAR (2021).

Na Tabela 1, observa-se que as fontes eólica e solar foram as que tiveram maior crescimento percentual.

Quadro 1 – Geração (GWh) baseada nos anos 2018 e 2019

Fonte	2018	2019	Δ 19/18
Hidrelétrica	388.971	397.877	2,3%
Gás Natural	54.622	60.448	10,7%
Eólica	48.475	55.986	15,5%
Biomassa ²	52.267	52.543	0,5%
Nuclear	15.674	16.129	2,9%
Carvão Vapor	14.204	15.327	7,9%
Derivados do Petróleo ³	9.293	6.926	-25,5%
Solar Fotovoltaica	3.461	6.655	92,2%
Outras ⁴	14.429	14.438	0,1%
Geração Total	601.396	626.328	4,1%

¹ Inclui geração distribuída

² Inclui lenha, bagaço de cana, biodiesel e lixo

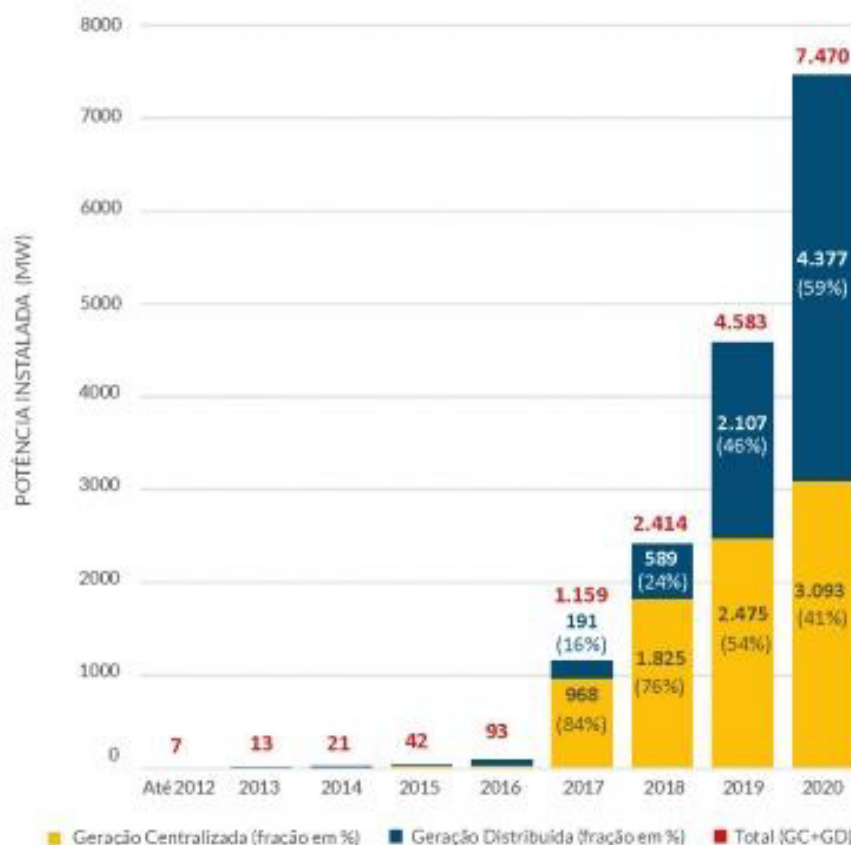
³ Inclui óleo diesel e óleo combustível

⁴ Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

FONTE: EPE (Balanço Energético Nacional 2020).

O Gráfico 2 ilustra a crescente busca por sistemas FV, desde a regulamentação em 2012, após a regulamentação da compensação de energia elétrica gerada.

Gráfico 2 – Potencia Instalada FV em geração distribuída no Brasil



FONTE: ANEEL/ABSOLAR, 2021

2.3 RESOLUÇÕES NORMATIVAS

Com o intuito de possibilitar ao consumidor brasileiro gerar energia elétrica para o próprio consumo através de fontes alternativas ou cogeração qualificada, podendo ainda fornecer excedente para a rede de distribuição de energia local foi criado em 2012 o sistema de compensação de energia elétrica.

A REN nº 482/2012 estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente. (ANEEL, 2016).

Em novembro de 2015 a REN 687 foi escrita para alterar a REN 482.

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (REN ANEEL 786, de 17.10.2017).

Em outubro de 2017 a REN 786/2017 incluiu alterações que resumem-se à alteração do inciso II do artigo 2º da REN 482/2012, para: (i) ampliar a potência instalada de centrais geradoras de fontes renováveis conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (ii) vedar o enquadramento como microgeração ou como minigeração distribuída das centrais geradoras que já tenham sido objeto de registro, concessão, permissão ou autorização; e (iii) assegurar que a vedação anterior não se aplique aos empreendimentos que tenham protocolado a solicitação de acesso em data anterior à publicação desse regulamento, nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist).

2.3.1 Geração Distribuída Fotovoltaica

Nessa modalidade, inicialmente estabelecida pela REN nº 482/2012, é permitido ao consumidor ceder, de forma gratuita, o excedente ou parte de sua geração de energia elétrica, através de fontes renováveis de energia, à concessionária local, redigida pela seguinte diretriz:

Sistema no qual a energia injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (ANEEL, 2012, p. 2).

A REN 687/2015 da ANEEL realizou alterações na resolução 482 e aprimorou pontos como reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração, compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento, conforme previsto na REN 414/2010, aumentar o público alvo e melhorar as informações nas faturas.

Em março de 2021 foi protocolado alteração no Projeto de Lei (PL) 5829, que propõe criação de um marco legal para GD e para sistema de compensação elétrica. Esse substitutivo altera diversos pontos como:

- Permanência por 26 anos do direito adquirido das usinas existentes ou protocoladas/homologadas até o momento da aprovação da lei;
- Troca de titularidade de unidade consumidora sem a perda do direito adquirido;
- Modalidade de compensação como geração junto a carga, empreendimento de múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada, autoconsumo remoto para projeto até 200 kW e projetos de fontes despacháveis, aquelas cujo o montante de energia podem ser determinados por um controlador humano;
- Valoração de créditos para energia elétrica.

As modalidades destacadas no ponto três passarão a pagar de forma integral o imposto cobrado sobre o fio B, componente tarifária que remunera as distribuidoras de energia elétrica, de forma rateada do segundo ao décimo segundo ano após aprovação da lei.

Para projetos com potência superior a 200 kW o tempo de adequação será de 12 meses da publicação da lei.

3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Baseando-se nas características elétricas e de consumo da empresa, elaborou-se o dimensionamento para a implantação do sistema FV por meio de duas análises.

O cálculo do dimensionamento do sistema é feito baseado no consumo de energia elétrica do local estudado, pelo fator de capacidade do sistema FV, pela potência do sistema FV e pelas características dos equipamentos escolhidos. Esses fatores seguem descritos durante esse tópico.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA

A empresa é separada fisicamente nos seguintes prédios: sede, escritório, oficina mecânica, estacionamento e trabalho com funilaria. A separação dos circuitos elétricos é feita através de três medidores trifásicos da distribuidora de energia elétrica local, devido à existência dos mesmos antes da utilização pela empresa em terrenos diferentes.

Estão alocados:

- 1- Sede da empresa, no primeiro, com potência instalada de 20,0 kW em um disjuntor de 32A;
- 2- Escritório, no segundo, com potência instalada de 21,0 kW em um disjuntor de 32A;
- 3- Oficina mecânica, estacionamento e trabalho com funilaria, no terceiro, com potência instalada de 25 kW em um disjuntor de 40A;

O empreendimento, em todos os medidores, é atendido pela distribuidora de energia elétrica local de modo trifásico, no grupo B (B3) com tarifa média de 0,77 R\$/kWh.

O subgrupo B3 é um grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia que engloba as demais classes diferentes da categoria residencial, rural e iluminação pública.

3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

De modo a deixar o presente estudo mais objetivo, utilizou-se a relação entre produção de energia e a capacidade total do sistema, com base em um mesmo período de tempo, conhecido como fator de capacidade (FC_{FV}), para encontrar o valor de energia necessária para o estudo.

Utilizaram-se os dados coletados dos dois sistemas FV instalados no Laboratório de Energias Alternativas (LEA).

O quadro 2 apresenta a média verificada de forma estatística entre janeiro e dezembro de 2019 dos dois sistemas FV instalados no LEA, localizado na Universidade Federal do Ceará (UFC).

Quadro 2 – Fator de Capacidade

MÊS	FC_{FV} (%)
jan/19	16,460
fev/19	14,78
mar/19	14,565
abr/19	15,245
mai/19	17,545
jun/19	18,915
jul/19	18,605
ago/19	22,265
set/19	22,205
out/19	21,710
nov/19	19,980
dez/19	17,915
FC MÉDIO	18,349

FONTE: Laboratório de Energias Alternativas - UFC

Conhecendo-se o valor de energia consumida (E_{cons}) e o valor de consumo mínimo exigido, que representa o custo de disponibilidade, pela distribuidora local de energia (E_{min}), tem-se o valor da geração de energia elétrica desejado pelo sistema FV (E_{proj}), observado na equação (1).

$$E_{proj} = E_{cons} - E_{min} \quad (1)$$

Utiliza-se a equação (2) para conhecer a energia nominal (E_{nom}) que relaciona os valores de energia gerada e o FC_{FV} .

$$E_{nom} = \frac{E_{proj}}{FC_{FV}} \quad (2)$$

Com base na equação (3) consegue-se encontrar o valor de potência nominal de projeto (P_{nom}) do sistema FV utilizando-se a relação entre a energia nominal e o número de horas durante o ano.

$$P_{nom} = \frac{E_{nom}}{8760} \quad (3)$$

Com o valor de potência nominal do sistema conhecido, a quantidade de painéis FV é definida levando em consideração as características do módulo escolhido para o estudo.

O módulo FV escolhido foi o *JKM400M-72H-V* de fabricação chinesa. Algumas características elétricas seguem representadas no quadro 3:

Quadro 3 – Características do Painel Solar escolhido.

Fabricante	Jinko
Modelo	JKM400M-72H-V
Largura (mm)	1002
Altura (mm)	2008
Potência Nominal	400 W
Tensão Nominal (C.C.)	41,70 V
Corrente Nominal	9,60 A
Tensão de Circuito Aberto	49,80 V
Corrente de Curto-Circuito	10,36 A
Tensão Máxima do Sistema	1.000 VDC

FONTE: Datasheet Jinko Solar - JKM400M-72H-V

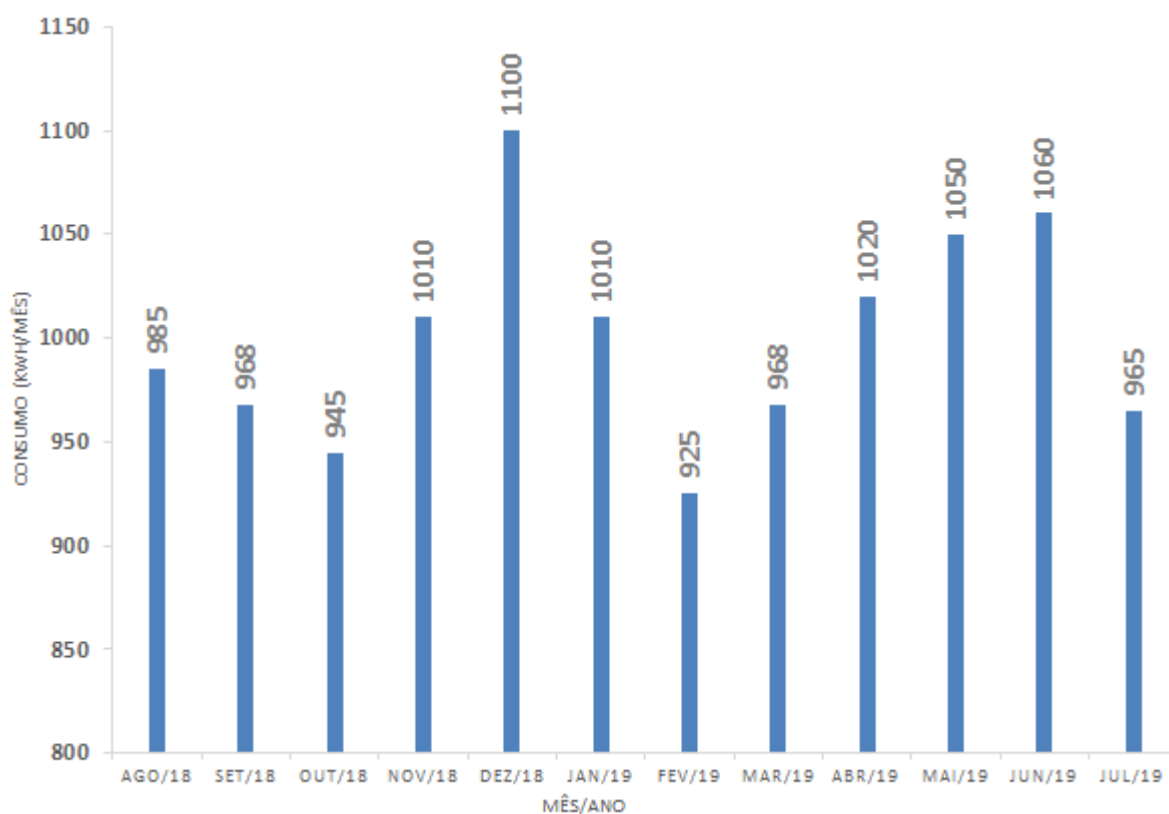
A equação (4) apresenta a relação entre potência nominal do sistema e a potência do painel. Resultando na quantidade de painéis FV necessários.

$$n_{modulos} = \frac{P_{nominal\ do\ sistema}}{P_{nominal\ do\ painel}} \quad (4)$$

3.2.1 Dimensionamento dos painéis para o Primeiro caso

O primeiro caso se refere ao terceiro medidor, suprindo a oficina mecânica, estacionamento e trabalho com funilaria. Com consumo demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Consumo (kWh/mês) do primeiro caso de estudo.



FONTE: Fatura de Energia elétrica fornecida pela empresa.

Pode-se observar do Gráfico 3 os seguintes dados:

- Consumo Anual: 12.006,00 kWh por ano, referente à soma dos meses em análise.
- Média de Consumo Mensal: 1.000,5 kWh/mês, referente à soma do consumo no período de análise, agosto de 2018 até julho de 2019, dividido por 12 meses.

Sabendo-se que o empreendimento é atendido pela rede elétrica de modo trifásico e que o custo de disponibilidade de energia elétrica é de 100 kWh/mês, pela

distribuidora local para atendimento trifásico, verifica-se custo de disponibilidade mínimo anual de 1.200,00 kWh.

Conhecendo o valor desejado de energia que o sistema deverá gerar (E_{cons}) e o valor mínimo exigido ($E_{mín}$), temos o valor da geração para o projeto a partir da equação (1):

$$E_{proj} = 12.006,00 - 1.200,00 = 10.806,00 \text{ kWh/ano}$$

Utiliza-se a equação (2) para saber a energia nominal.

$$E_{nom} = \frac{10.806}{0,18349} = 58,89 \text{ kWh}$$

Utiliza-se a equação (3) para saber a potência nominal do sistema FV.

$$P_{nominal \text{ do Sistema}} = \frac{58.890}{8.760} = 6,72 \text{ kW}$$

A quantidade de painéis é verificada entre a relação da potência nominal do sistema e a potência unitária do painel a partir da equação (4):

$$n_{modulos} = \frac{6.720}{400} = 16,80$$

Desta forma, para o primeiro caso, 17 painéis são necessários.

A potência final se dará pela quantidade de painéis vezes a potência unitária do painel escolhido, exposto na equação (5).

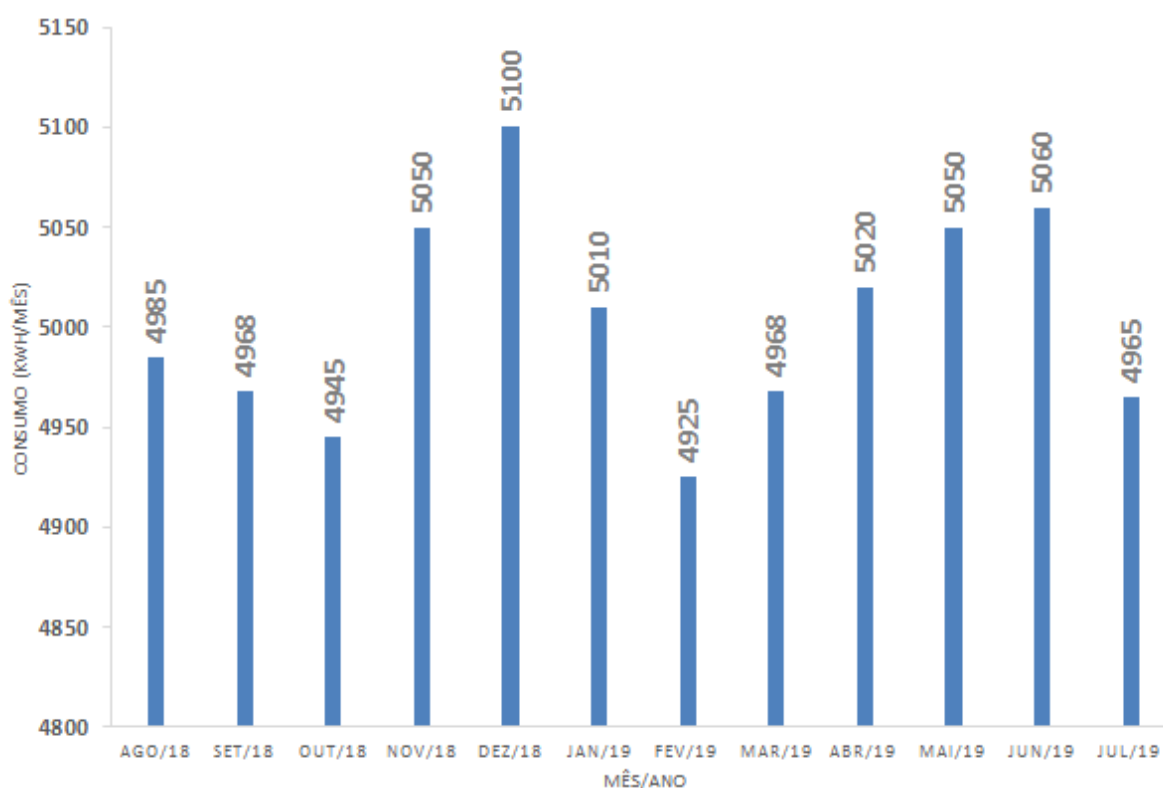
$$Pot_{total} = n_{paineis} \times potencia_{painel} \tag{5}$$

$$Pot_{total} = 17 \times 400 = 6,80 \text{ kWp}$$

3.2.2 Dimensionamento dos painéis para o Segundo caso

O segundo caso se refere aos três medidores suprimindo toda a instalação e que prevê um aumento de carga às instalações do local. Dessa forma, previu-se o consumo dos meses baseando-se no consumo atual e acrescentando-se o aumento do consumo de energia elétrica esperado. Com isso tem-se o consumo simulado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Consumo (kWh/mês) do Segundo caso de estudo.



FONTE: Próprio autor

Pode-se observar do Gráfico 4 os seguintes dados:

- c) Consumo Anual: 60.046,00 kWh por ano, referente à soma dos meses em análise.
- d) Média de Consumo Mensal: 5.003,8 kWh/mês, referente à soma do consumo no período de análise, dividido por 12 meses.

Sabendo-se que o empreendimento é atendido pela rede elétrica de modo trifásico e que o custo de disponibilidade é de 100 kWh/mês, pela distribuidora local, para atendimento trifásico, tem-se um faturamento mínimo anual de 1.200,00 kWh para cada medidor, totalizando 3.600,00 kWh.

Conhecendo o valor desejado de energia que o sistema deverá gerar (E_{cons}) e o valor mínimo exigido ($E_{mín}$), temos o valor da geração para o projeto a partir da equação (1):

$$E_{proj} = 60.046,00 - 3.600,00 = 56.446,00 \text{ kWh/ano}$$

Utiliza-se a equação (2) para saber a energia nominal.

$$E_{nom} = \frac{56.446}{0,18349} = 307,62 \text{ kWh}$$

Utiliza-se a equação (3) para saber a potência nominal do sistema FV.

$$P_{nominal \text{ do Sistema}} = \frac{307.624}{8.760} = 35,11 \text{ kW}$$

A quantidade de painéis é verificada entre a relação da potência nominal do sistema e a potência unitária do painel a partir da equação (4):

$$n_{modulos} = \frac{35.110}{400} = 87,79$$

Desta forma, para o segundo caso, 88 painéis são necessários.

A potência final se dará pela quantidade de painéis vezes a potência unitária do painel escolhido, exposto na equação (5).

$$Pot_{total} = n_{paineis} \times potencia_{painel} \quad (5)$$

$$Pot_{total} = 88 \times 400 = 35,20 \text{ kWp}$$

3.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Além de monitorar, controlar o desempenho do sistema FV, controlar parâmetros da energia entregue à rede, garantir que o sistema FV desligue em caso de falta de energia e identificar anomalias no sistema, o inversor tem como principal

função converter a energia proveniente dos painéis FV, corrente contínua (CC), em corrente alternada (CA).

Dessa forma, o inversor tem que ser capaz de suportar a potência máxima gerada pelo arranjo FV proposto.

3.3.1 Definição do inversor para o primeiro caso

A máxima potência, conhecida também como potência de pico, dos painéis FV para o primeiro caso é de 6,80 kW. Projetos até 10 kW de potência são aceitos pela concessionária em rede monofásica com inversores monofásicos, permitindo instalação em rede trifásica também, porém os próprios fornecedores comercializam inversores monofásico para potência de até 10 kW devido ao valor do equipamento ser menor em relação aos inversores trifásicos.

Analisada a lista de inversores monofásicos fornecidos pela marca utilizada em estudo, o equipamento que satisfaz as exigências técnicas, exigências essas que seguem demonstradas no restante desse tópico, está com as características preenchidas no Quadro 4. Observa-se que a máxima potência suportada pelo modelo PHB6000D-NS, 8.000 W, satisfaz a máxima potência do sistema FV.

Quadro 4 – Dados Técnicos de Inversores Monofásicos PHB

Dados de Entrada CC	PHB6000D-NS
Max. Pot. Fotovoltaica	8.000
Max. Tensão CC(V)	580
Faixa de Operação SPMP (V)	125-550
Tensão CC de Partida (V)	120
Corrente CC Máxima (A)	11/11
Número de Strings em Paralelo/MPPT	2/2
Conector CC	MC4
String Box SS Integrado	DPS CC e Chave CC
Dados de Saída CA	
Pot. CA Nominal (W)	6.000
Max. Corrente CA(A)	27,3
Saída Nominal CA	60Hz; 220V
Faixa de Operação CA	57.5-62Hz; 166-279Vca
THD	<3%
Fator de Potência	Unitário (0,95 Capacitivo/0,95 Indutivo)
Conexão CA	Monofásico (F+N+T)

Eficiência	
Max. Eficiência	97,80%

FONTE: Características Inversor Monofásico PHB 6000D-NS - PHB

As características elétricas e físicas do inversor delimitam o arranjo escolhido para a conexão dos painéis FV. Esses arranjos, conhecidos como *strings*, são as ligações, em série e/ou paralelo, dos painéis FV.

Cada painel FV possui um conector positivo (macho) e um conector negativo (fêmea). A ligação em série é feita ligando um tipo de conector de um painel ao outro tipo de conector em outro painel. Restando ao final de todas as ligações, apenas um conector positivo e ou outro negativo que será ligado a uma proteção externa ou no próprio inversor.

A tensão de *strings* é delimitada pela tensão máxima em série permitida pelos painéis FV. Neste caso, como mostrado no Quadro 3, a tensão máxima que a *strings* pode atingir é de 1.000 V (CC). Outra limitação é dada pela quantidade máxima de *strings* suportada pelo inversor. Neste caso, como mostrado no Quadro 4, o inversor tem capacidade máxima de duas *strings*, dada em dois rastreamentos de pontos de potência máxima, do inglês maximum power point tracking (MPPT). Neste estudo, em que o local de instalação permite a ligação, significa fisicamente ligar em série uma sequência de 9 painéis em uma MPPT e 8 painéis em outra MPPT.

Com base nisso, tem-se a seguinte análise:

$$V_{String} = n_{módulos} \times V_{painel} \quad (6)$$

Onde:

V_{string} : tensão somada de todos os painéis conectados em série;

$n_{módulos}$: número de módulos conectados em séries de uma *strings*;

V_{painel} : Tensão de circuito aberto do painel, 49,8 V (CC) Tabela 3

$$V_{String1} = 9 \times 49,8 = 448,20 \text{ V}$$

$$V_{String2} = 8 \times 49,8 = 398,40 \text{ V}$$

Ambas satisfazem a máxima tensão permitida em ligações em série dos painéis e do inversor, como também a quantidade de MPPT do inversor.

A corrente que circula nas *strings* se mantém constante, devido a característica da ligação em série, que é de 10,36 A como observado na Quadro 3. Estando dentro do limite de corrente por MPPT do inversor.

3.3.2 Definição do inversor para o segundo caso

De maneira análoga, a escolha para o segundo inversor é tomada.

Sabe-se que o valor de projeto é superior a 10 kW. Para esse caso, a divisão da potência total do sistema do caso 2 dividida em valores de potência de inversores monofásico não ocasiona retornos financeiros proveniente dessa troca. Sendo assim, são comercializados inversores trifásicos.

Da lista de inversores trifásicos disponibilizados pelo fabricante PHB, a escolha que atende as exigências técnicas, exigências essas que seguem nesse tópico, ao caso 2 está com as características representadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Dados Técnicos de Inversores Trifásicos PHB

Dados de Entrada CC	PHB36K-MT
Max. Tensão CC(V)	1.100
Faixa de Operação SPMP (V)	200-950
Tensão CC de Partida (V)	180
Corrente CC Máxima (A)	25/25/25
Número de Strings em Paralelo/MPPT	6/3
Conector CC	MC4
String Box SS Integrado	DPS CC e Chave CC
Dados de Saída CA	
Pot. CA Nominal (W)	36.000
Max. Corrente CA(A)	54,5
Saída Nominal CA	60Hz; 380/220V
Faixa de Operação CA	57.5-62Hz; 176-242Vca
THD	<3%
Fator de Potência	Unitário (0,8 Capacitivo/0,8 Indutivo)
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T)
Eficiência	
Max. Eficiência	98,80%

FONTE: Catálogo de Inversores Monofásicos - PHB

O modelo *PHB36K-MT* suporta máxima potência de 36,00 kW, satisfazendo o segundo caso que possui potência máxima de 31,60 kW.

As delimitações das *strings* seguem o mesmo princípio visto para o primeiro caso.

Tem-se as seguintes análises para a equação 7:

- Máxima tensão permitida por *strings*
- Quantidade de MPPT

$$n_{\max_modulos} = \frac{V_{\text{máxima permitida por String}}}{V_{oc}} \quad (7)$$

$$\frac{1000}{49,8} = 20,08$$

Por questões de segurança, limitou-se a quantidade de 18 módulos por *strings*.

Visto que o local permite a instalação de todos os módulos em um mesmo telhado com características similares de instalação, separou-se os 79 painéis em 5 *strings* com 13 painéis e 1 *string* com 14.

Assim, a limitação de tensão máxima por *string* e a quantidade de entrada de MPPT foram respeitadas.

A corrente, de modo similar ao mostrado no primeiro caso, mantém-se 10,36 A estando dentro do limite suportado pelo inversor, como observado na Figura 4.

Dessa forma, todos os itens foram respeitados para a escolha do inversor para o segundo caso.

3.4 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PARA OS CASOS PROPOSTOS

Características do sistema para o primeiro caso:

- Potência total do Sistema: 6,80 kWp
- Potência Total de Inversor: 6,0 kWp em 1 inversor (PHB6000D-NS)
- Número de painéis FV: 17 painéis de 400 W da Jinko Solar
- Área Mínima Necessária: 37,40 m²
- Peso Aproximado do Inversor: 14 kg

- Peso Aproximado dos painéis e estrutura: 538 kg

Características do sistema para o segundo caso:

- Potência total do Sistema: 31,60 kWp
- Potência Total de Inversor: 36 kWp em 1 inversores PHB de 36 kWp (PHB36KN-DT)
- Número de painéis FV: 79 painéis de 400 W da Jinko Solar
- Área Mínima Necessária: 102,70 m²
- Peso Aproximado do Inversor: 40 kg
- Peso Aproximado dos painéis e estrutura: 2.000 kg

4 MODELAGEM COM TECNOLOGIA BIM

O *Revit* é um *software* que utiliza o conceito *Building Information Modeling (BIM)* que significa Modelagem da Informação da Construção. É um modelo virtual que trata de uma construção virtual equivalente a uma edificação real, possuindo assim, muitos detalhes em relação à composição dos materiais de cada elemento. Permitindo simular a edificação e entender seu comportamento antes de sua construção real iniciar.

O *software de modelagem*, como dito anteriormente, é um *software BIM* para arquitetura, engenharia, urbanismo e desing. Foi desenvolvido pela *Charles River Software*, empresa fundada em 1997 e renomeada *Revit Technology Coporation* em 2000, ano que foi lançada a primeira versão estável. Em 2002 a *Autodesk* adquiriu a empresa e o *software de modelagem* passou a fazer parte da sua lista de *softwares* até hoje.

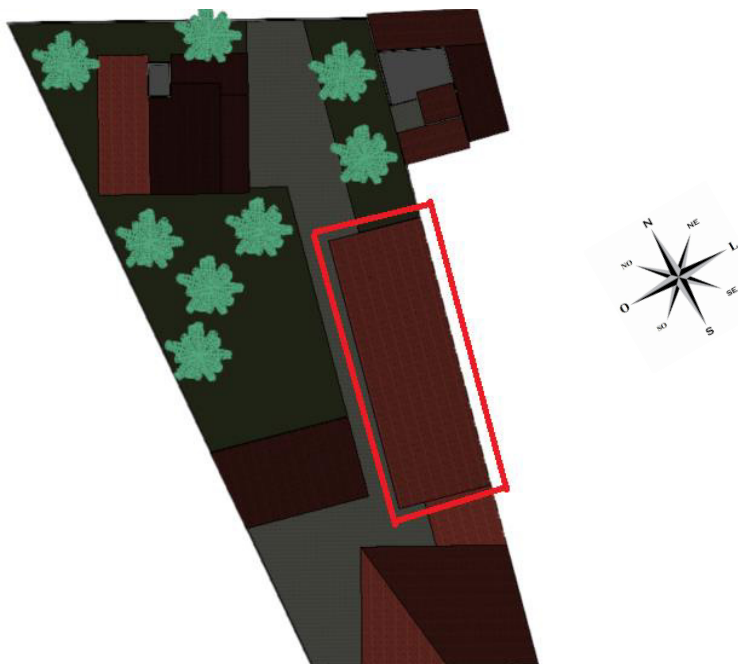
Todos os prédios, árvores e objetos foram modelados no *Revit*, utilizando a licença de estudante, visando obter o maior detalhamento possível em relação à área útil e principalmente ao sombreamento.

O sombreamento acaba se tornando o principal motivo de perda de eficiência em um sistema FV. Seja por aumento de temperatura nos locais sombreados dado devido ao desequilíbrio causado na corrente que circula naquele ponto do painel ou simplesmente pelo motivo do painel não captar a luminosidade em sua área total. Dependendo da tecnologia utilizada, em relação aos painéis solares e principalmente aos inversores, pode-se reduzir drasticamente a potência total gerada, mesmo que os módulos solares estejam apenas parcialmente sombreados.

Foi realizada medição *in loco* e todo levantamento para construção do modelo em modelagem BIM.

As Figuras 5 e 6 ilustram a modelagem feita dos prédios com a marcação em vermelho do local idealizado para instalação dos painéis FV.

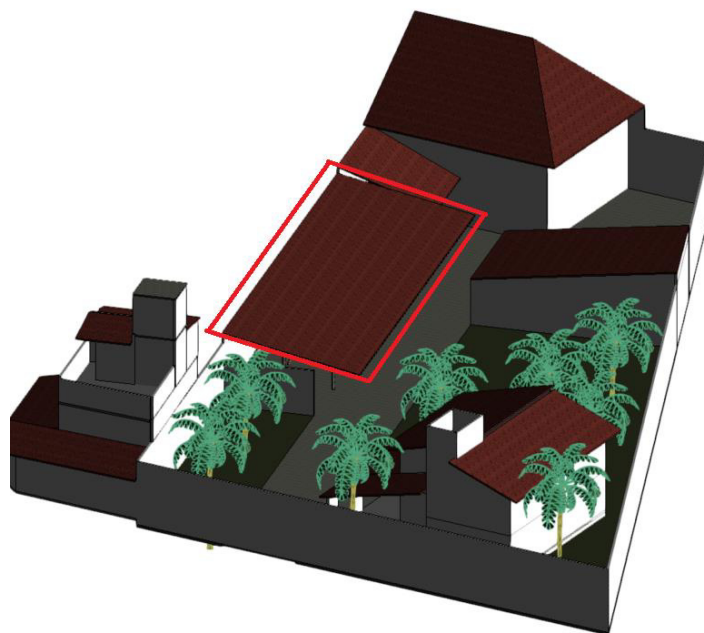
Figura 3 – Planta 2D da empresa com modelagem em BIM.



FONTE: O próprio autor.

A queda do telhado previsto para instalação encontra-se voltada para oeste, com observado na Figura 5.

Figura 4 – Vista 3D da empresa com modelagem em BIM.



FONTE: O próprio autor.

A Figura 6 mostra uma vista isométrica dos prédios da empresa, ilustrando em vermelho o ponto previsto para instalação dos painéis FV.

Utilizou-se o Google Earth, Figura 7, para checar posicionamento dos prédios e averiguar situação do local.

Figura 5 – Vista superior da empresa.



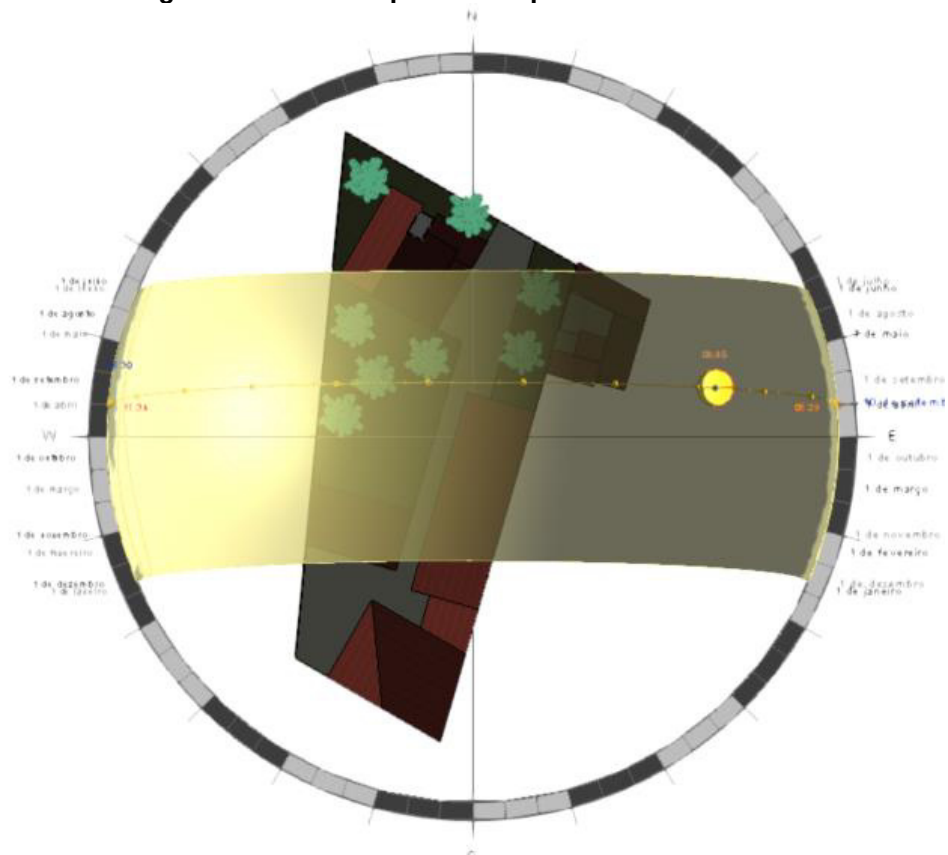
FONTE: Google.

O *Revit* permite realizar um estudo solar posicionando, virtualmente, o projeto nas coordenadas reais do local. Deste modo, escolhe-se o período para análise do posicionamento do sol em relação ao projeto e o *software* realiza o sombreamento com o deslocamento da sombra durante o período em análise.

Com base da Figura 8, foram escolhidas duas datas em meses diferentes e em três horários distintos que representam os extremos do percurso que o Sol traça durante o ano, como indicado pelo *REVIT* pela área em amarelo. As datas foram 10 de janeiro e 10 de junho nos horários 08:00, 12:00 e 16:00.

A extremidade superior da região amarelada, representada na Figura 8, indica o percurso realizado pelo Sol no mês de junho, enquanto a extremidade inferior indica o percurso de janeiro.

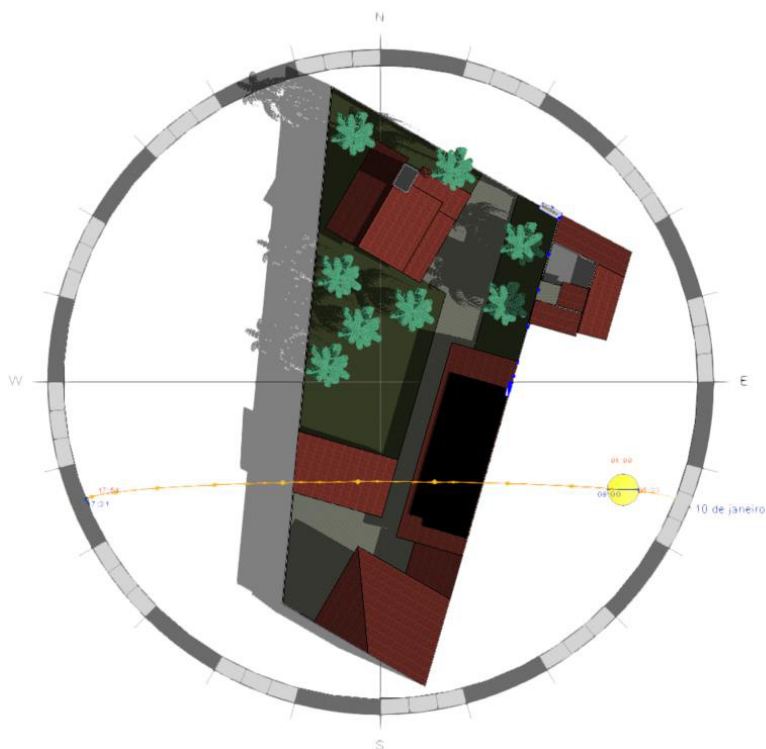
Figura 6 – Caminho percorrido pelo Sol durante 2020



FONTE: O próprio autor.

Os 79 painéis, dimensionados para o segundo caso, foram modelados no local de estudo, visando obter os detalhes de sombreamento para o caso de maior área ocupada. Esse estudo de sombreamento é apresentado da Figura 9 até a Figura 20.

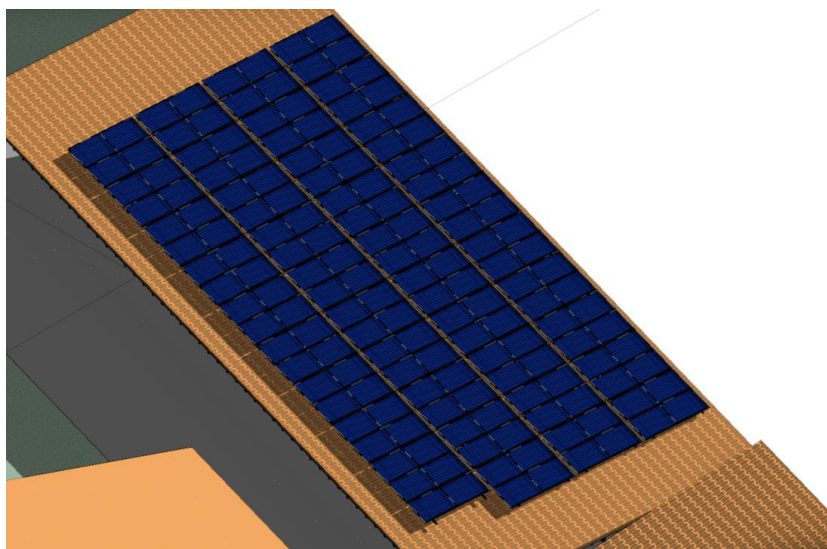
Figura 7 – Estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 08:00h



FONTE: O próprio autor.

Sem sombreamento direto causado por qualquer interferência durante o período em análise.

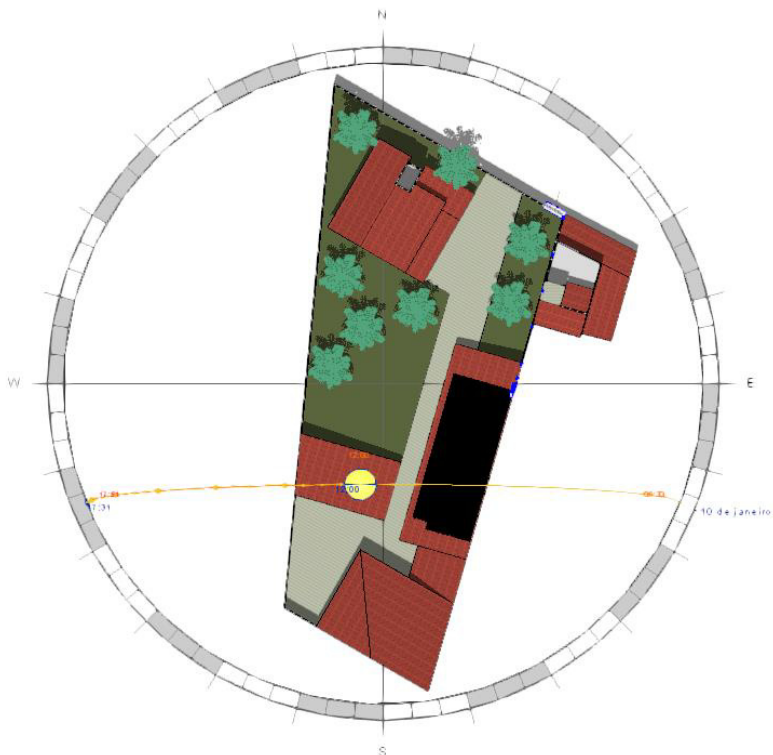
Figura 8 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 08:00h



FONTE: O próprio autor.

A simulação feita, Figura 10, mostra que as 08h00 não existem painéis FV sombreados.

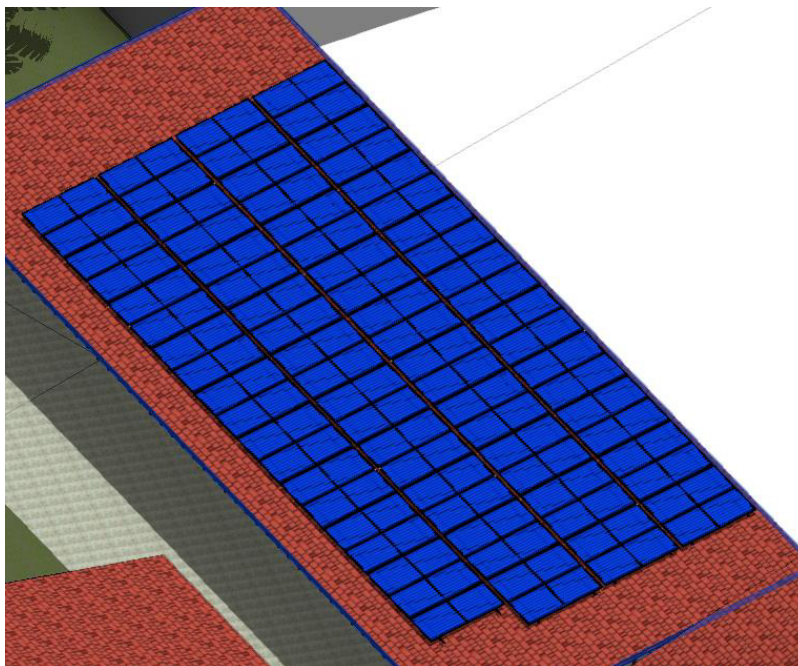
Figura 9 – Estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 12:00h



FONTE: O próprio autor.

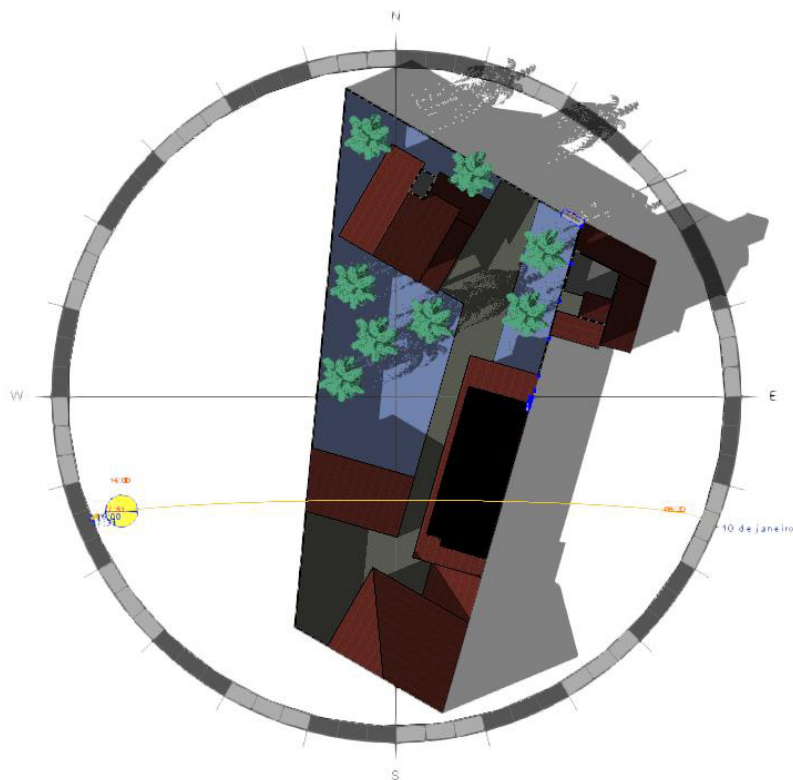
As Figuras 11 e 12 mostram simulação para horário de pico do Sol, 12h00, indicando ausência de sombreamento sobre os módulos FV.

Figura 10 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 12:00h



FONTE: O próprio autor.

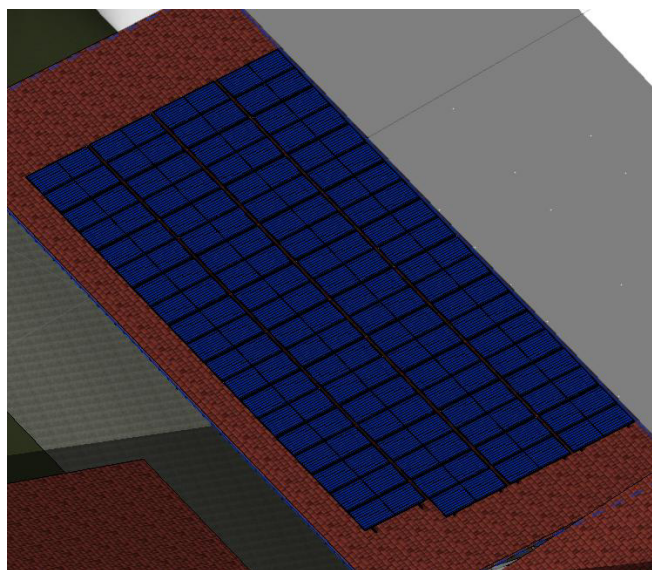
Figura 11 – Estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 16:00h



FONTE: O próprio autor

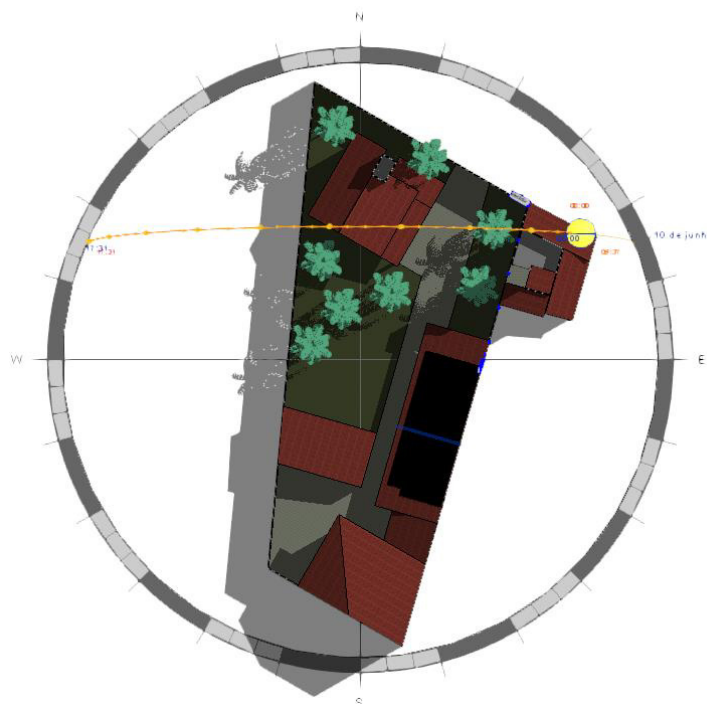
Encerra-se o estudo para o dia 10 de janeiro de 2020 nas Figuras 13 e 14, simulando o estudo de sombreamento às 16h00. Observa-se sombreamento, porém devido ao pôr do sol que ocorre entre 16h00 e 17h00.

Figura 12 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 janeiro de 2020, 16:00h



FONTE: O próprio autor

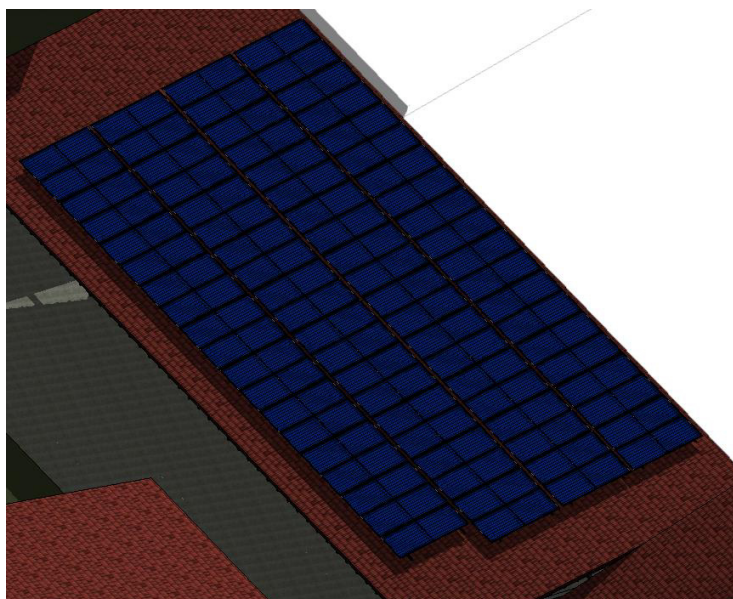
Figura 13– Estudo sombreamento 10 junho de 2020, 08:00h



FONTE: O próprio autor

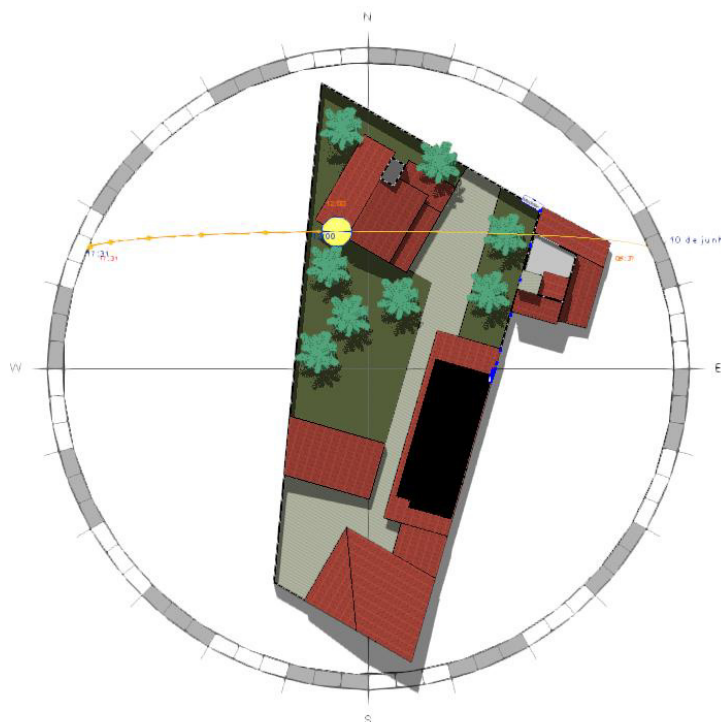
A segunda data escolhida, no horário de 08h00, ilustradas nas Figuras 15 e 16, mostram ausência de sombreamento para o horário.

Figura 14 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 junho de 2020, 08:00h



FONTE: O próprio autor

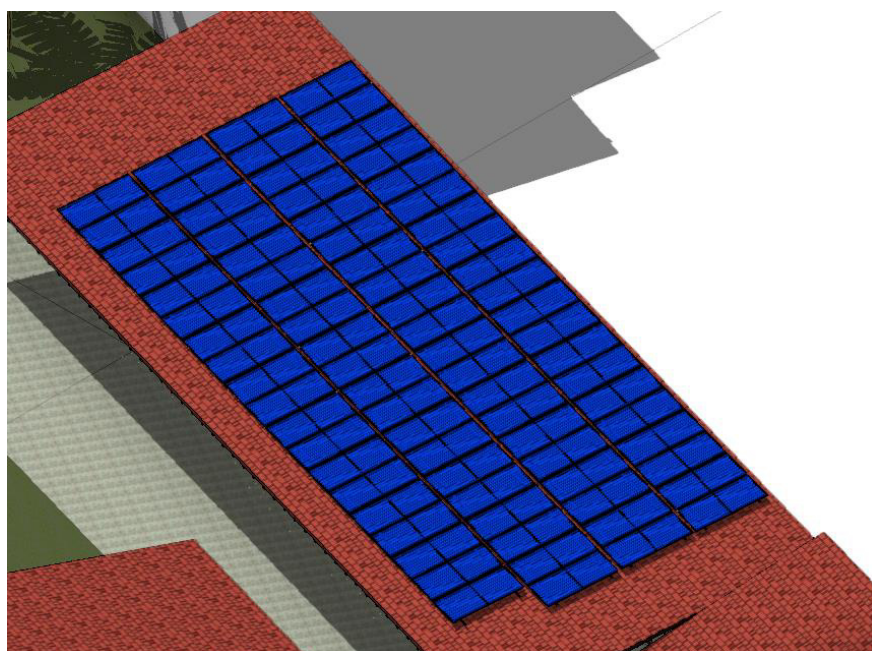
Figura 15 – Estudo sombreamento 10 junho de 2020, 12:00h



FONTE: O próprio autor

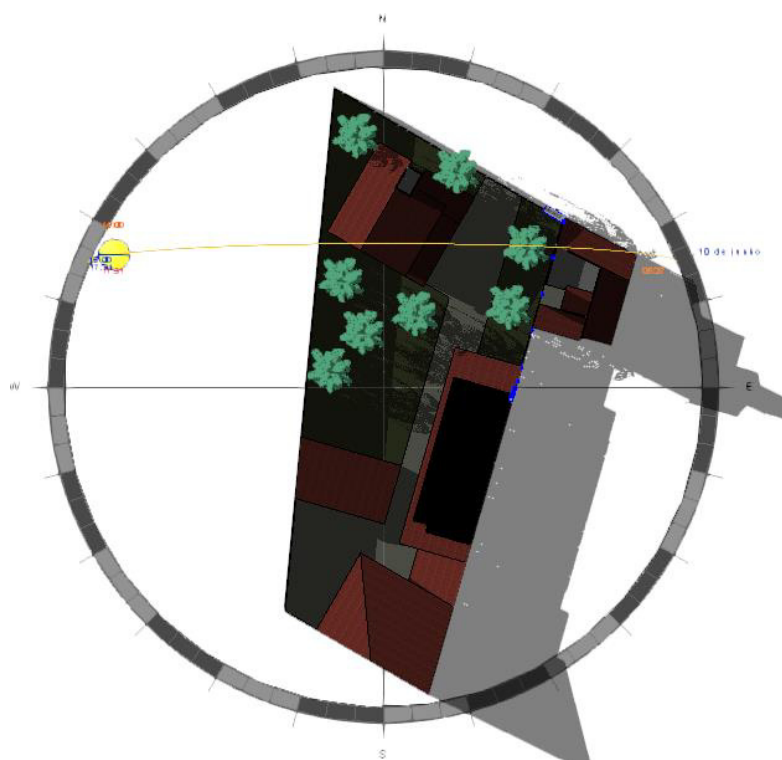
A simulação ilustrada nas Figuras 17 e 18 mostra o sombreamento quando o Sol se encontra no ponto mais elevado. Observa-se a ausência de pontos de sombra sobre os painéis FV.

Figura 16 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 junho de 2020, 12:00h



FONTE: O próprio autor

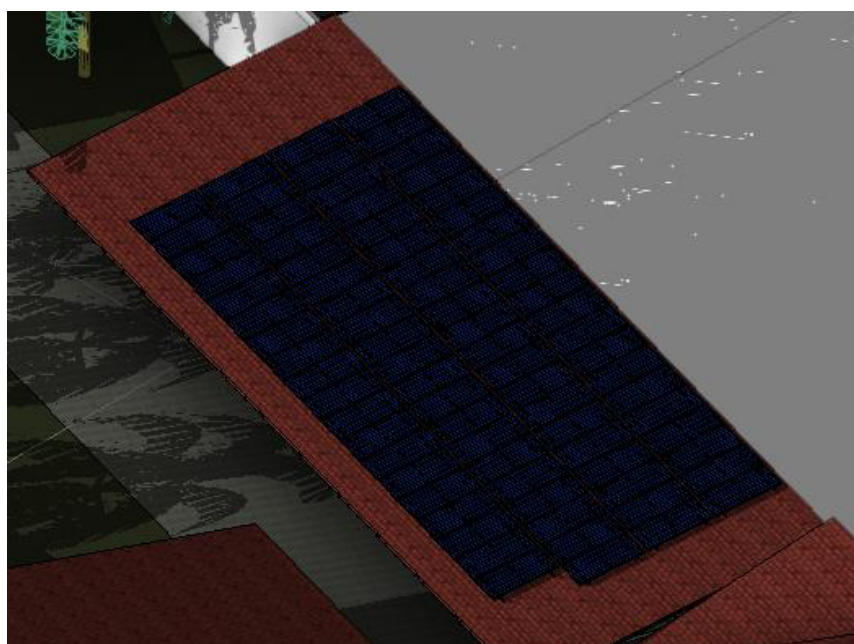
Figura 17 – Estudo sombreamento 10 junho de 2020, 16:00h



FONTE: O próprio autor

O estudo de sombreamento termina no dia 10 de junho de 2020, às 16h00min, com indicado nas Figuras 19 e 20. Observa-se o mesmo fato ocorrido nas Figuras 13 e 14.

Figura 18 – Vista isométrica estudo de sombreamento 10 junho de 2020, 16:00h



FONTE: O próprio autor

5 ANÁLISE COM RETSCREEN

O *software* RETScreen Clean Energy Management, abreviado como RETScreen, é um *software* de análise projetos de energia limpa desenvolvido pelo governo do Canadá que inclui versão livre de custo, que dará base para esse estudo.

Definiram-se parâmetros selecionados para a análise do programa RETScreen Expert, para auxílio na tomada de decisão comparando viabilidade técnica, financeira e eficiência energética. Para esse nível de detalhamento a versão do programa é paga, mas permite o modo Visualizador para edição e elaboração dos relatórios.

O *software* possui dados meteorológicos, de equipamentos, especificações técnicas, além de inúmeras ferramentas para análise de custo, emissão de poluentes e financeiros em sua base de dados.

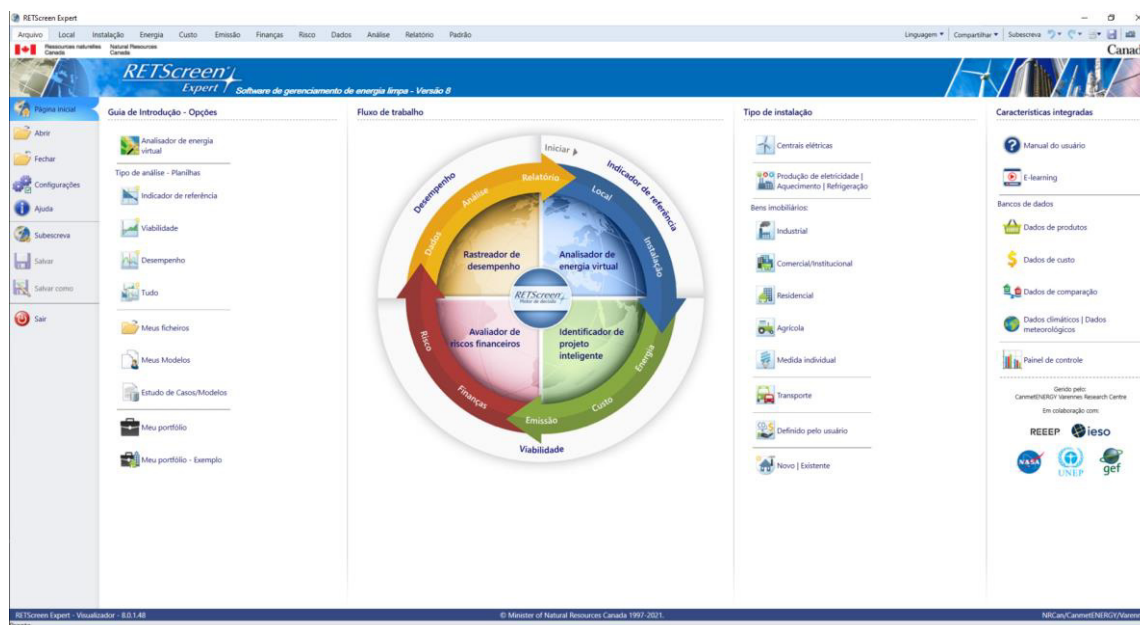
Utilizaram-se dos seguintes parâmetros para análise:

- Tipo de projeto: Produção de Eletricidade;
- Tecnologia: Fotovoltaica;
- Tipo de Análise: Viabilidade;
- Sistema: Fixo com inclinação de 15° e azimute 280°;
- Eficiência dos Inversores: Caso 1 97,8% e Caso 2 98,8%;
- Perdas diversas: 2%;
- Taxa de indexação sobre eletricidade exportada: 0%;
- Reajuste do combustível: 5%a.a.;
- Custo: Primeiro Caso R\$ 33.013,71 e segundo Caso R\$ 138.970,88;
- Custo de O&M: 0,5% a.a. do custo inicial (SOARES, 2010);
- Vida do projeto: 25 anos;
- Razão da dívida: 0% (pagamento a vista);
- Taxa de inflação: 4,52% a.a. (IBGE 2020);
- Taxa de desconto: 2,75% ao ano, tomando como base a rentabilidade utilizando a taxa de juros SELIC.

- **Aba Inicial**

A Figura 21 é a página inicial do RETScreen.

Figura 19 – Página inicial RETScreen



FONTE: O próprio autor

Na opção “Configurações” modificou-se a moeda em uso para real (BRL), para iniciar a análise.

- **Aba Local**

Informações sobre a planta foram alocadas na aba instalações, como mostrado na Figura 22 e 23.

Figura 20 – Características do Local

Condições de Referência do site

Localização dos dados climáticos: Brasil - Ceará - Fortaleza

Local das instalações: Brazil - Ceará - Caucaia

Legenda

- Local das instalações
- Localização dos dados climáticos

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Local das instalações	Fonte
Latitude		-3,8	-3,6	
Longitude		-38,6	-38,7	
Zona climática		0A - Extremamente quente - Úmido		Solo+NASA
Elevação	m	26	12	Solo - Mapa
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	23,1		Solo
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	32,1		Solo
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	4,6		NASA

FONTA: O próprio autor

O local de instalação foi configurado de acordo com as coordenadas do projeto, já informado no início desse estudo, e a base de dados de Fortaleza fora selecionada, pois é o ponto mais próximo que o RETScreen possui.

As características do local, carregadas pela base de dados do *software*, ilustradas na Figura 23.

Figura 21 – Dados Climáticos

Mês	Temperatura do Ar	Humidade relativa	Precipitação	Radiação solar diária - horizontal	Pressão Atmosférica	Velocidade do Vento	Temperatura do Solo	Graus-dia para aquecimento 18 °C	Refrigeração graus-dias 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Janeiro	27,3	78,0%	114,39	5,33	101,2	4,8	28,2	0	536
Fevereiro	26,7	79,0%	148,68	5,14	101,2	4,4	27,7	0	468
Março	26,3	84,0%	254,20	4,67	101,2	3,8	27,2	0	505
Abril	26,5	85,0%	271,80	4,53	101,2	3,6	26,8	0	495
Mai	26,3	82,0%	162,13	5,03	101,3	4,2	26,6	0	505
Junho	25,9	80,0%	102,90	5,00	101,4	4,9	26,2	0	477
Julho	25,7	80,0%	47,12	5,69	101,5	5,5	26,1	0	487
Agosto	26,1	75,0%	12,71	6,19	101,5	6,3	26,9	0	499
Setembro	26,6	74,0%	6,00	6,25	101,4	6,7	28,0	0	498
Outubro	27,0	73,0%	5,58	6,47	101,3	6,7	28,7	0	527
Novembro	27,2	74,0%	6,00	6,36	101,2	6,4	29,0	0	516
Dezembro	27,3	76,0%	25,73	6,06	101,2	5,8	29,0	0	536
Anual	26,6	78,3%	1.157,24	5,56	101,3	5,3	27,5	0	6.050
Fonte	Solo	Solo	NASA	Solo	Solo	NASA	NASA	Solo	Solo
Medido a					m	10	0		

FONTA: O próprio autor

• Aba Instalação

Como explicado anteriormente, escolheu-se o modelo de viabilidade para usina FV para a análise dos dois casos, como ilustrado na Figura 24.

Figura 22 – Informações Instalação

FONTE: O próprio autor.

• Aba Energia

Na Figura 25 o valor de R\$/kWh foi preenchido de acordo com o valor médio pago na conta de energia elétrica, de R\$0,77 por cada kWh consumido.

Figura 23 – Eletricidade e Combustível

FONTE: O próprio autor.

A Figura 26 mostra os dados dos equipamentos, para o primeiro caso, carregados pela base de dados do RETScreen e a Figura 28 para o segundo caso.

Figura 24 – Carga de Base FV caso 1

Usina - Trabalho de Conclusão de Curso - TCC - Fotovoltaica

Combustíveis & horários
 Eletricidade e combustíveis

Tecnologia
 Eletricidade
 6,8 kW
 31,60 kW

Resumo
 Incluir o sistema?
 Comparação

Fotovoltaica
 Descrição: 6,8 kW
 Nota: Caso 1

Nível: Nível 1, Nível 2
 E-learning

Fotovoltaica - Nível 2

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar: Fixo
 Inclinação: 15
 Azimut: 280

Mostrar dado

Fotovoltaica

Tipo	mono-Si
Potência elétrica	6,84 kW
Fabricante	Jinko Solar
Modelo	mono-Si - JKM360M-72-V
Número de unidades	19
Eficiência	18,55%
Temperatura de operação normal da célula	45 °C
Coefficiente de Temperatura	0,4% / °C
Área do coletor solar	36,9 m ²
Fator de ajuste de célula solar de dois lados	0%
Perdas diversas	2%

Inversor

Eficiência	97,8%
Capacidade	8 kW
Perdas diversas	2%

Resumo

Fator de Utilização	19,4%
Custos iniciais	33.014 BRL
Custo de operações e manutenção (economia)	25 BRL/kW-ano
Preço eletricidade exportada	171 BRL
Preço eletricidade exportada - anual	0,77 BRL/kWh
Eletricidade exportada p/ rede	11,6 MWh
Receita com eletricidade exportada	8.937 BRL

FONTE: O próprio autor.

A base de dados do RETScreen da versão utilizada para essa análise não possui o equipamento escolhido inicialmente para o estudo, dessa forma, para evitar o redimensionamento, para a análise o *software* escolheu-se o modelo na Figura 27, *JINKO mono-Si - JKM360M-72-V*, totalizando 6,84 kWp em 19 painéis de 360 W para o primeiro caso e 31,68 kWp em 88 painéis para o segundo caso. As demais configurações iniciais para o estudo, como inversor e outros equipamentos foram mantidas.

Figura 25 – Pannel FV escolhido

Sistema	Eletricidade
Tecnologia	Fotovoltaica
Tipo	mono-Si
Faixa de capacidade	<input type="range"/> kW 0 para kW 1
Fabricante	Jinko Solar
Modelo	mono-Si - JKM360M-72-V
Capacidade por unidade	W 360
Número de unidades	19
Capacidade	kW 6,84

Eficiência: 18,55 %
Perímetro: 1,94 m²

FONTE: O próprio autor.

Figura 26 - Carga de Base FV segundo caso

Usina - Trabalho de Conclusão de Curso - TCC - Fotovoltaica

Combustíveis & horários

Eletricidade e combustíveis

Tecnologia

4 Eletricidade
6,8 kW
31,60 kW

Resumo

Incluir o sistema?

Comparação

Fotovoltaica

Descrição 31,60 kW

Nota Caso 2

Nível

Nível 1

Nível 2

E-learning

Fotovoltaica - Nível 2

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar Fixo

Inclinação 15

Azimut 280

Mostrar dado

Fotovoltaica

Tipo mono-Si

Potência elétrica kW 31,68

Fabricante Jinko Solar

Modelo mono-Si - JKM360M-72-V

Número de unidades 88

Eficiência % 18,55%

Temperatura de operação normal da célula °C 45

Coefficiente de Temperatura % / °C 0,4%

Área do coletor solar m² 171

Fator de ajuste de célula solar de dois lados % 0%

Perdas diversas % 2%

Inversor

Eficiência % 98,8%

Capacidade kW 36

Perdas diversas % 2%

Resumo

Fator de Utilização % 19,6%

Custos iniciais BRL 138.971

Custo de operações e manutenção (economia) BRL /kW-ano 46

BRL 1.457

Preço eletricidade exportada Preço eletricidade exportada - anual

BRL/kWh 0,77

Eletricidade exportada p/ rede MWh 54,3

Receita com eletricidade exportada BRL 41.817

FONTE: O próprio autor.

Os dados de rendimento de inversor foram retirados do Quadro 4 para o primeiro caso e da Quadro 5 para o segundo caso.

Os valores iniciais de projetos foram calculados acessando os valores do próprio fornecedor, acrescidos de 7% para equipamentos e matérias adicionais, 5% para frete dos mesmos, 20% para custos e lucro da empresa instaladora e 18% para impostos. Porcentagens com base em pesquisa de mercado de empresas voltadas para o processo de elaboração do projeto, homologação junto à concessionária e instalação de equipamentos FV,

Custos de operação e manutenção foram adotados em 0,5% do valor inicial do projeto (SOARES, 2010), imaginando deslocamento e limpeza geral do sistema.

Uma rápida análise de custo, receita e retorno simples é gerada como resumo da planta, Figura 29 e Figura 30.

Figura 27 – Análise de Energia Caso 1

		Capacidade	Eletricidade	Custos iniciais	Receita com eletricidade exportada	Custo do combustível	Custo de operações e manutenção (economia)	Retorno simples	Incluir o sistema?
Eletricidade exportada p/ rede		kW	MWh	BRL	BRL	BRL	BRL	ano	<input type="checkbox"/>
Eletricidade									
6,8 kW	6,8	11,6	33.014	8.937	0	171	3,8	<input checked="" type="checkbox"/>	
31,60 kW	0	0	0	0	0	0		<input type="checkbox"/>	
Total	6,8	11,6	33.014	8.937	0	171	3,8		

FONTE: O próprio autor.

Figura 28 - Análise de Energia Caso 2

		Capacidade	Eletricidade	Custos iniciais	Receita com eletricidade exportada	Custo do combustível	Custo de operações e manutenção (economia)	Retorno simples	Incluir o sistema?
Eletricidade exportada p/ rede		kW	MWh	BRL	BRL	BRL	BRL	ano	<input type="checkbox"/>
Eletricidade									
6,8 kW	0	0	0	0	0	0		<input type="checkbox"/>	
31,60 kW	31,7	54,3	138.971	41.817	0	1.457	3,4	<input checked="" type="checkbox"/>	
Total	31,7	54,3	138.971	41.817	0	1.457	3,4		

FONTE: O próprio autor.

• Aba Custo

A aba de custos carrega as informações de custo inicial de projeto e custos de manutenção preenchidos previamente. Sem a necessidade de alteração da mesma.

A Figura 31 representa os custos para o caso 1 e a Figura 32 representa os custos para o caso 2.

Figura 29 – Aba Custos caso 1

RETScreen - Análise de Custos Assinante: Visualizador

Custos iniciais (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
Custo inicial				BRL 33.014
Mostrar dado				
Definido pelo usuário	custo			BRL -
Total de custos de investimento				BRL 33.014
Custo anual (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
Custo de operações e manutenção (economia)	projeto			BRL 171
Mostrar dado				
Definido pelo usuário	custo			BRL -
Total de custos anuais				BRL 171
Economia anual	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
Definido pelo usuário	custo			BRL -
Economia total anual				BRL -

FONTE: O próprio autor.

Como mencionado anteriormente, sem modificações nessa aba, para esse estudo.

Figura 30 – Aba Custos caso 2

RETScreen - Análise de Custos Assinante: Visualizador

Custos iniciais (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
Custo inicial				BRL 138.971
Mostrar dado				
Definido pelo usuário	custo			BRL -
Total de custos de investimento				BRL 138.971
Custo anual (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
Custo de operações e manutenção (economia)	projeto			BRL 1.457
Mostrar dado				
Definido pelo usuário	custo			BRL -
Total de custos anuais				BRL 1.457
Economia anual	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade
Definido pelo usuário	custo			BRL -
Economia total anual				BRL -

FONTE: O próprio autor.

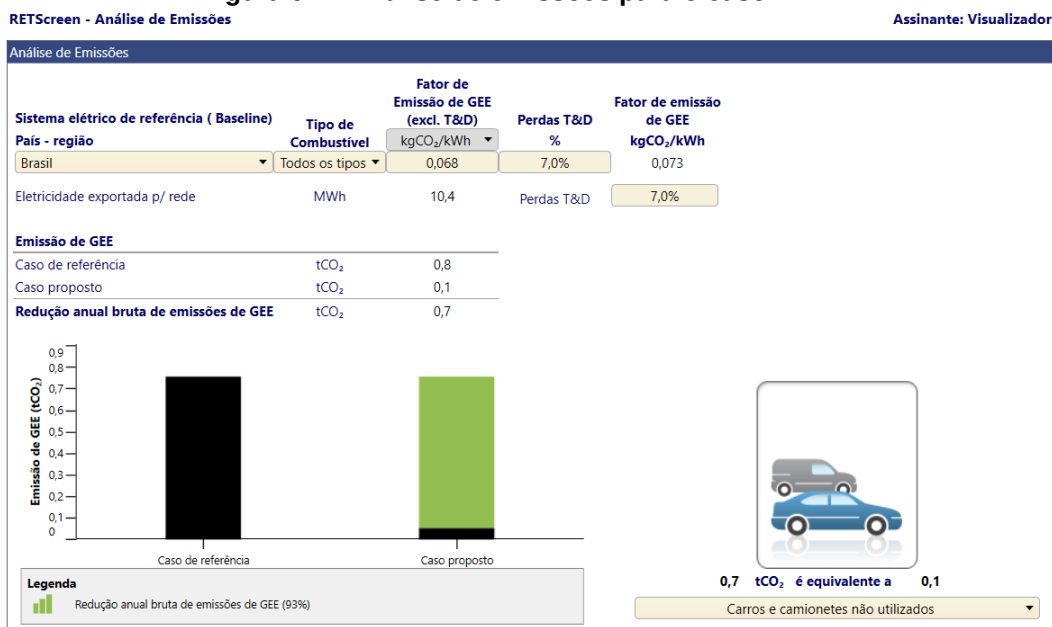
Como mencionado anteriormente, sem modificações nessa aba, para esse estudo.

• Aba Emissão

Como benefícios ao meio ambiente, desenvolve-se análise da redução de gases do efeito estufa (GEE) levando em consideração a potência de cada sistema FV.

A figura 33 ilustra uma análise de redução de emissão de gases poluentes para o caso 1.

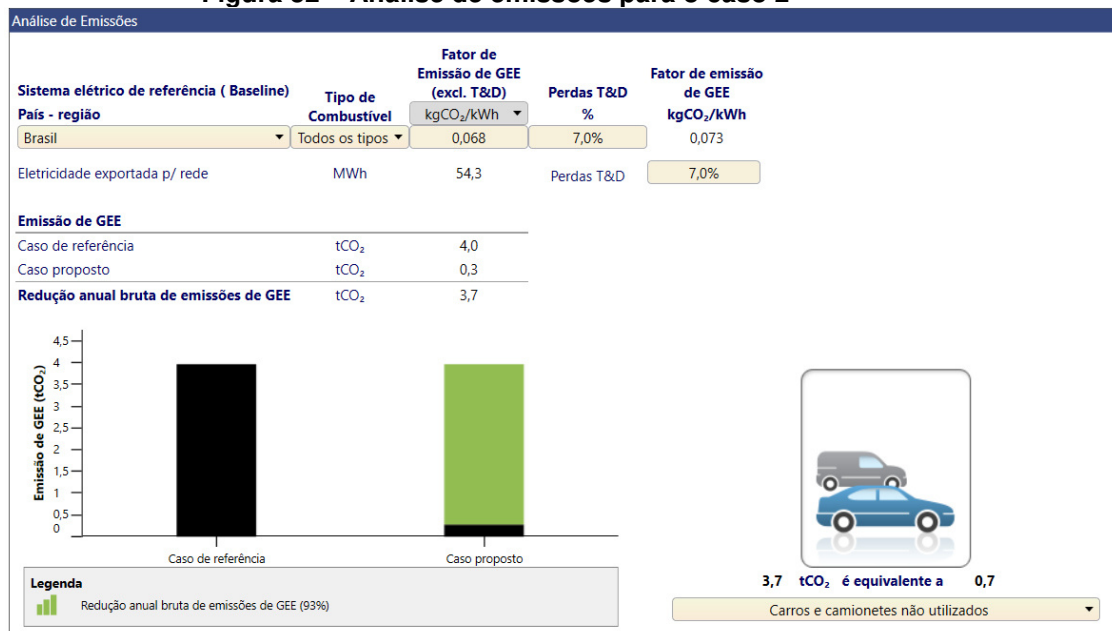
Figura 31 – Análise de emissões para o caso 1



FONTE: O próprio autor.

Os dados para análise de poluentes do caso 2 seguem na Figura 34.

Figura 32 – Análise de emissões para o caso 2



FONTE: O próprio autor.

Observa-se a redução de 0,7 tCO₂ para o caso 1 e de 3,7 tCO₂ para o caso 2.

• Aba Finanças

Para análise, foi considerado taxa de inflação do ano de 2020 de 4,52%a.a. (IBGE, 2020).

A taxa de descontos, que pode ser definida como a porcentagem de retorno do valor investido de 2,75%a.a, considerando a taxa Selic de abril de 2021.

Para vida útil, utilizou-se a média padronizada pelos fornecedores de 25 anos. A Figura 35 apresenta esses parâmetros.

Figura 33 – Análise Financeira caso 1

RETScreen - Análise Financeira				Assinante: Visualizador		
Parâmetros financeiros				Custos Economia Receitas		
Geral				Custos iniciais		
Reajuste do custo do combustível			5%	Custo inicial	100%	BRL 33.014
Taxa de inflação	%		4,52%	Total de custos de investimento	100%	BRL 33.014
Taxa de desconto	%		2,5%	Fluxo de caixa anual - Ano 1		
Taxa de reinvestimento	%		0%	Pagamento anual de custos e empréstimos		
Vida do projeto	ano		25	Custo de operações e manutenção (economia)	BRL	171
Financiamento				Pagamento da dívida	BRL	0
Incentivos e subsídios	BRL		0	Total de custos anuais	BRL	171
Razão da dívida	%		0%	Economia e receita anual		
Análise do imposto de renda				Receita com eletricidade exportada	BRL	8.937
				Receita pela redução de GEE	BRL	0
				Outras receitas (custo)	BRL	0
				Receita da produção de EL	BRL	0
				Total de economia e receita anual	BRL	8.937
				Fluxo monetário anual líquido - Ano 1	BRL	8.766
Receita anual				Viabil. Financeira		
Receita com eletricidade exportada				TIR antes impostos-capital próprio	%	26,4%
Eletricidade exportada p/ rede	kWh		11.607	TIRM antes impostos-capital próprio	%	7,8%
Preço eletricidade exportada	BRL/kWh		0,77	TIR antes impostos - ativos	%	26,4%
Receita com eletricidade exportada	BRL		8.937	TIRM antes impostos - ativos	%	7,8%
Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada	%		0%	Retorno simples	ano	3,8
Receita pela redução de GEE				Retorno do capital próprio	ano	3,8
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO ₂ /an		1	Valor Presente Líquido (VPL)	BRL	126.088
Redução anual bruta de emissões de GEE - 25 anos	tCO ₂		20	Economia anual no ciclo de vida	BRL/ano	6.844
Receita pela redução de GEE	BRL		0	Razão custo benefício (C-B)		4,8
Outras receitas (custo)				Juros da dívida		Sem débito
Receita da produção de Energia Limpa (EL)				Custo de Redução de GEE	BRL/tCO ₂	-8.685
				Custo da Geração de energia	BRL/kWh	0,18
				Fluxo de caixa anual		
				Ano	Antes imposto	Cumulativo
				#	BRL	BRL
				0	-33.014	-33.014
				1	8.759	-24.255
				2	8.751	-15.505
				3	8.742	-6.763
				4	8.733	1.971
				5	8.724	10.695
				6	8.714	19.409
				7	8.704	28.114
				8	8.694	36.807
				9	8.683	45.490
				10	8.671	54.162
				11	8.659	62.821
				12	8.647	71.468
				13	8.634	80.101
				14	8.620	88.721
				15	8.606	97.327
				16	8.591	105.917
				17	8.575	114.492
				18	8.558	123.050
				19	8.541	131.592
				20	8.523	140.115
				21	8.505	148.620
				22	8.485	157.105
				23	8.465	165.570
				24	8.443	174.013
				25	8.421	182.434

FONTE: O próprio autor.

Como obtido na Figura 35, observa-se o retorno simples de 3,8 anos para o primeiro caso.

E para o caso 2, representada na Figura 36.

Figura 34 – Análise Financeira caso 2

RETScreen - Análise Financeira			Assinante: Visualizador						
Parâmetros financeiros			Custos Economia Receitas			Fluxo de caixa anual			
Geral			Custos iniciais			Ano			
Reajuste do custo do combustível		5%	Custo inicial	100%	BRL	138.971	#	Antes imposto	Cumulativo
Taxa de inflação	%	4,52%	Total de custos de investimento	100%	BRL	138.971		BRL	BRL
Taxa de desconto	%	2,5%	Fluxo de caixa anual - Ano 1						
Taxa de reinvestimento	%	0%	Pagamento anual de custos e empréstimos						
Vida do projeto	ano	25	Custo de operações e manutenção (economia)	BRL	1.457		0	-138.971	-138.971
Financiamento			Pagamento da dívida	BRL	0		1	40.294	-98.677
Incentivos e subsídios	BRL	0	Total de custos anuais	BRL	1.457		2	40.225	-58.451
Razão da dívida	%	0%	Economia e receita anual						
Análise do imposto de renda			Receita com eletricidade exportada	BRL	41.817		3	40.154	-18.298
			Receita pela redução de GEE	BRL	0		4	40.078	21.781
			Outras receitas (custo)	BRL	0		5	40.000	61.780
			Receita da produção de EL	BRL	0		6	39.918	101.698
			Total de economia e receita anual	BRL	41.817		7	39.832	141.530
			Fluxo monetário anual líquido - Ano 1	BRL	40.360		8	39.742	181.271
Receita anual			Viabil. Financeira						
Receita com eletricidade exportada			TIR antes impostos-capital próprio	%	28,7%		9	39.648	220.920
Eletricidade exportada p/ rede	kWh	54.308	TIR antes impostos-capital próprio	%	8,1%		10	39.550	260.470
Preço eletricidade exportada	BRL/kWh	0,77	TIR antes impostos - ativos	%	28,7%		11	39.448	299.917
Receita com eletricidade exportada	BRL	41.817	TIR antes impostos - ativos	%	8,1%		12	39.340	339.257
Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada	%	0%	Retorno simples	ano	3,4		13	39.228	378.486
Receita pela redução de GEE			Retorno do capital próprio	ano	3,5		14	39.111	417.597
Redução anual bruta de emissões de GEE	tCO ₂ /an	4	Valor Presente Líquido (VPL)	BRL	584.070		15	38.989	456.586
Redução anual bruta de emissões de GEE - 25 anos	tCO ₂	92	Economia anual no ciclo de vida	BRL/ano	31.701		16	38.861	495.448
Receita pela redução de GEE	BRL	0	Razão custo benefício (C-B)		5,2		17	38.728	534.175
Outras receitas (custo)			Juros da dívida		Sem débito		18	38.588	572.763
Receita da produção de Energia Limpa (EL)			Custo de Redução de GEE	BRL/tCO ₂	-8.598		19	38.442	611.205
			Custo da Geração de energia	BRL/kWh	0,186		20	38.289	649.495
							21	38.130	687.625
							22	37.963	725.588
							23	37.789	763.377
							24	37.607	800.984
							25	37.417	838.401

FONTE: O próprio autor.

E de 3,4 anos para o segundo caso, como ilustrado na Figura 36.

Os demais detalhes sobre a análise do primeiro caso como custos iniciais, custos adicionais de manutenção, retorno de capital e geração estão no Apêndice I ao Apêndice VIII.

Os demais detalhes sobre a análise do segundo caso como custos iniciais, custos adicionais de manutenção, retorno de capital e geração estão no Apêndice IX ao Apêndice XVI.

Com esses parâmetros da análise realizada pelo software, presente nos apêndices I ao XVI, fornece a informação de que o estudo do primeiro caso gerará 11.607 kWh, enquanto o segundo caso gerará 54.308 kWh de energia elétrica fornecida à carga. Os valores de geração são próximos aos valores de consumo previsto para os dois casos.

A análise retorna diversos indicadores de viabilidade financeira. O tempo de retorno simples seria de 3,8 anos para o primeiro caso e de 3,4 anos para o segundo caso. Ao final da vida útil de projeto, de 25 anos, esse investimento terá rendido aproximadamente R\$ 182.434,00 para o primeiro caso e R\$ 838.401,00 para o segundo caso.

6 CONCLUSÃO

Com consumo médio de 1.005,5 kWh/mês e com previsão de aumento do mesmo para 5.003,08 kWh/mês, considerando também aumento da inflação, do valor por kWh consumido, das taxações dadas durante períodos do ano e diminuição do custo da tecnologia de implantação de sistema FV a implementação de um sistema FV se torna atrativo, baseado nos capítulos anteriores.

Com capacidade de geração no primeiro caso de 11.607 kWh, ocasionando a redução de 1.029,2 kg/ano de carbono, o que equivale a 1,03 carro/ano, e de 54.308 kWh para o segundo caso, ocasionando a redução de 4.905,5 kg/ano de carbono, o que equivale a 4,89 carro/ano, verificou-se que os dois modelos estudados geram benefícios ao meio ambiente.

A geração no primeiro caso deixará ainda dois terços da empresa dependentes diretamente da distribuidora de energia elétrica, enquanto o segundo caso deixará apenas o custo de disponibilidade.

Utilizando os *softwares* citados durante esse trabalho, foi possível dimensionar e verificar a viabilidade financeira da implementação dos dois casos.

Com a análise financeira, foi possível observar a TIR e o VPL para comparar os dois casos.

Os dois tempos de retorno simples foram bem próximos, 3,4 anos para o primeiro e 3,8 anos para o segundo, porém, devido à diferença de potência dos projetos, resulta uma diferença de R\$ 655.967,00 acumulados ao fim da vida útil estipulada entre os dois casos estudados.

Ocasionalmente a redução de 4.905,5 kg/ano de carbono, o tempo de retorno mais baixo, valor de retorno financeiro mais alto e com capital disponível para ambos os estudos, o segundo caso se tornou mais atrativo, contudo o valor inicialmente investido será mais elevado.

A modelagem em tecnologia *BIM*, permitiu a cotação de material e estrutura, bem como a análise para montagem e dimensionamento dos cabos e material de proteção de forma mais eficaz.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2016. 34 p.

CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. **Dimensionamento de planta FV conectada à rede elétrica**. Fortaleza: UFC, 2017. 18 slides, color.

ENERGIA FOTOVOLTAICA: **Manual Sobre Tecnologias, Projecto E Instalação. Manual Sobre Tecnologias, Projecto E Instalação**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2004. 368 p.

LISITA JÚNIOR, Orlando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede: Estudo de caso - 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

IZIDORO, Bruna Caroline; ORSI, Gustavo Cadoso; CORDEIRO, Leandro Ricardo. **Estudo do Panorama Nacional para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Após resolução 482/2012da ANEEL**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

MEYER, Rodolfo; MORAES NETO, Siqueira de. **Energia Solar Fotovoltaica: a revolução energética já começou no Brasil**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-no-brasil.html>. Acesso em: 16 dez. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de energia Elétrica 2020**. Brasília: MME/EPE, 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) - 1995-2019**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano decenal de expansão de energia 2027**. Brasília: MME/EPE, 2018.
Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202027_aprovado_OFICIAL.pdf. Acesso em: 20 dez. 2020.

MOREIRA JUNIOR, Orlando; SOUZA, Celso Correia. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha**. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2018.

PORTAL BRASILEIRO DE DADOS ABERTOS. **Ministério de Minas e Energia – MME**. Disponível em: <https://dados.gov.br/organization/about/ministerio-de-minas-e-energia-mme>. Acesso em: 09 abr. 2021.

PHB Solar. **Estrutura de Fixação de Telhados**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/estruturas-de-fixacao-telhados.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PHB Solar. **Inversores Trifásicos**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/inversor-trifasico-phb20k-dt.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PHB Solar. **Inversores Monofásicos**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/inversores-monofasicos.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PHB Solar. **Inversores Monofásicos**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/string-box-monofasico.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PHB Solar. **Quadro de Proteção de Corrente Alternada**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/quadro-ca.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

PHB Solar. **StringBox Trifásicas**. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/string-box-trifasico.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos – O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis, 2004.

THEVENARD, D., LENG, G., & MARTEL, S. (IEEE, 2000). **The RETScreen model for assessing potential PV projects**. *Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE* (pp. p. 1626-1629.). IEEE.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: UTFPR, 2009. D

ZHANG, Teresa. **Solar Power World: What's a good value for kWh/kWp? An overview of specific yield. – 2017**. Disponível em: [https://www.solarpowerworldonline.com/2017/08/specific-yield-overview/#:~:text=Specific%20yield%20\(or%20simply%20%E2%80%9Cyield,Location](https://www.solarpowerworldonline.com/2017/08/specific-yield-overview/#:~:text=Specific%20yield%20(or%20simply%20%E2%80%9Cyield,Location). Acesso em: 06 mar. 2021.

ZILLES, Roberto. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012

APÊNDICE

Apêndice I – Folha de Rosto Caso 1

Relatório de viabilidade

Estudo de Caso

Trabalho de Conclusão de Curso



Usina - Fotovoltaica

Preparado para:

UFC

Preparado por:

Pedro Marques Costa

Apêndice II – Resumo Caso 1

Resumo

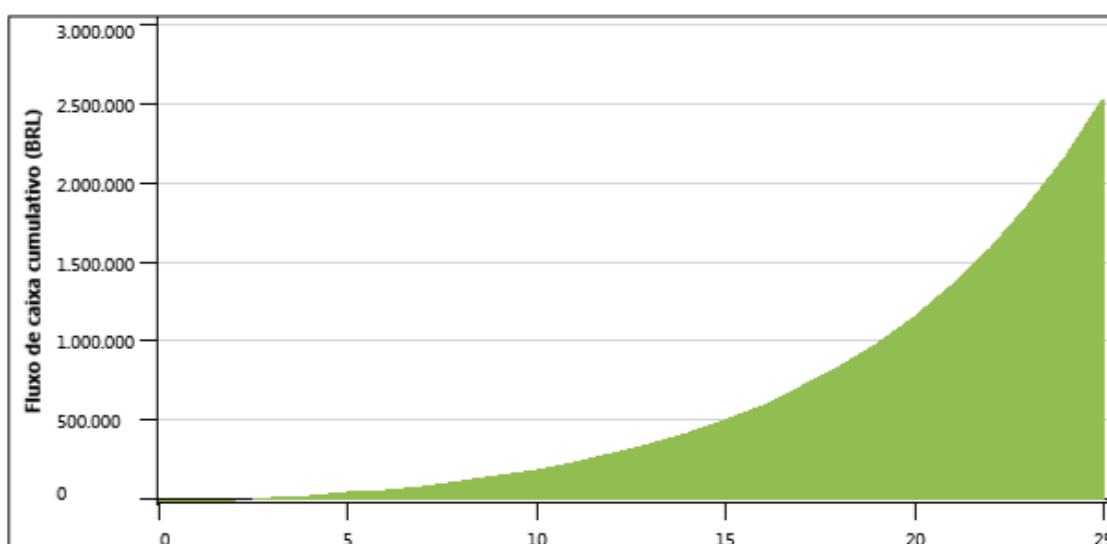
O presente relatório foi elaborado utilizando o RETScreen Clean Energy Management Software. As principais observações e recomendações desta análise são apresentadas abaixo:

Alvo

	Eletricidade exportada p/ rede kWh	Receita com eletricidade exportada BRL	Redução de emissões dos GEE tCO₂
Caso proposto	11.607	8.937	0,79

Os principais resultados são os seguintes:

Fluxo de caixa - Cumulativo





Apêndice III – Local e dados Climáticos

Local | Dados climáticos

Local



Legenda

-  Local das instalações
-  Localização dos dados

	Unidade	Localização dos dados climáticos	Local das instalações
Nome		Brasil - Ceará - Fortaleza	Brazil - Ceará - Caucaia
Latitude	'N	-3,8	-3,6
Longitude	'E	-38,6	-38,7
Zona climática		0A - Extremamente quente - Úmido	0A - Extremamente quente - Úmido
Elevação	m	26	12

Apêndice IV – Usina Caso 1

Alvo

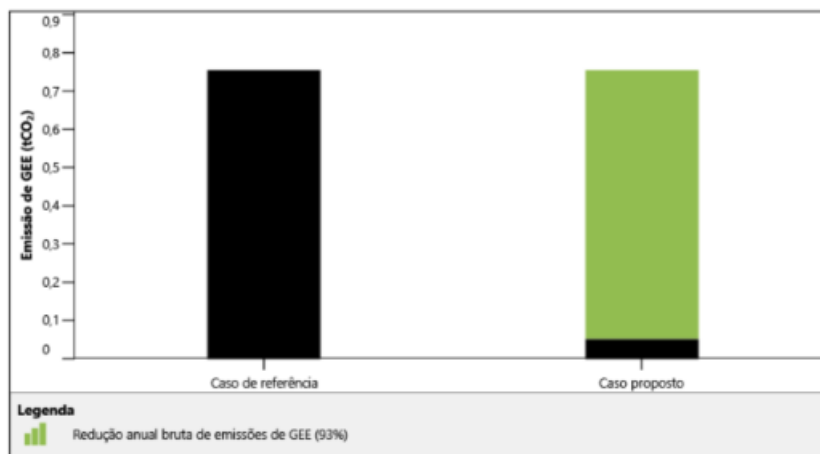
Resumo

	Eletricidade exportada p/ rede kWh	Receita com eletricidade exportada BRL	Redução de emissões dos GEE tCO₂
Caso proposto	11.607	8.937	0,79

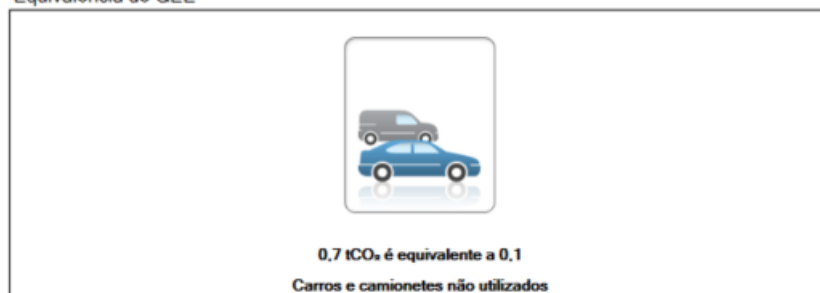
Apêndice V – Emissões de GEE Caso 1

Emissão de GEE

Emissão de GEE



Equivalência de GEE



Emissão de GEE		
Caso de referência	0,8	tCO ₂
Caso proposto	0,1	tCO ₂
Redução anual bruta de emissões de GEE	0,7	tCO₂

Apêndice VI – Análise Financeira Caso 1

Viabil. Financeira

Custos | Economia | Receitas

Custos iniciais			
Custo inicial	100%	BRL	33.014
<hr/>			
Total de custos de investimento	100%	BRL	33.014
Incentivos e subsídios		BRL	0
<hr/>			
Fluxo de caixa anual - Ano 1			
Pagamento anual de custos e empréstimos			
Custo de operações e manutenção (economia)		BRL	171
Pagamento da dívida		BRL	0
<hr/>			
Total de custos anuais		BRL	171
<hr/>			
Economia e receita anual			
Receita com eletricidade exportada		BRL	8.937
Receita pela redução de GEE		BRL	0
Outras receitas (custo)		BRL	0
Receita da produção de EL		BRL	0
<hr/>			
Total de economia e receita anual		BRL	8.937
<hr/>			
Fluxo monetário anual líquido - Ano 1		BRL	8.766

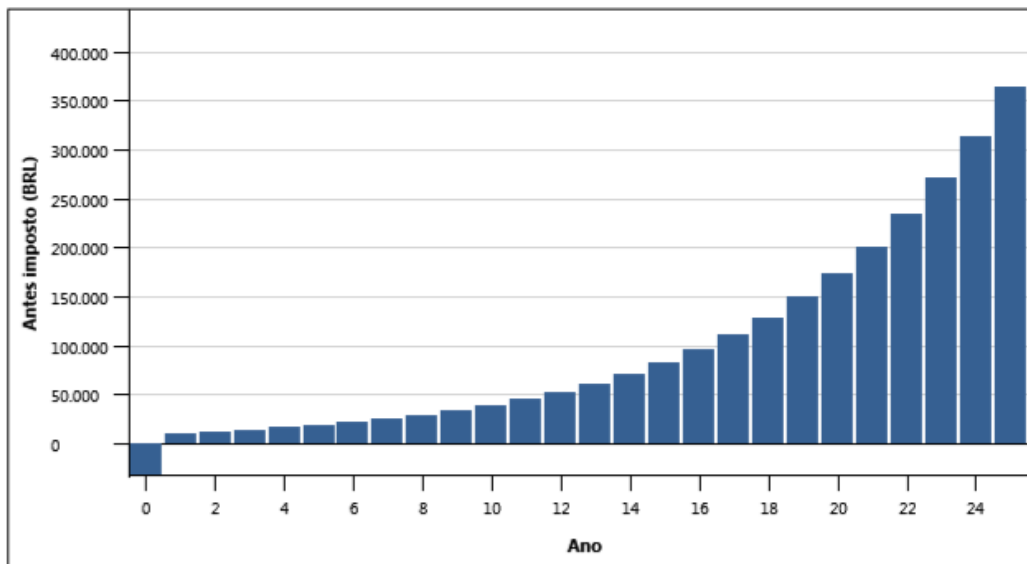
Viabil. Financeira

TIR antes impostos-capital próprio	%	26,3%
TIRM antes impostos-capital próprio	%	7,8%
TIR antes impostos - ativos	%	26,3%
TIRM antes impostos - ativos	%	7,8%
Retorno simples	ano	3,8
Retorno do capital próprio	ano	3,8
Valor Presente Líquido (VPL)	BRL	126.088
Economia anual no ciclo de vida	BRL/ano	6.844
Razão custo benefício (C-B)		4,8
Custo de Redução de GEE	BRL/tCO ₂	-8.685
Custo da Geração de energia	BRL/kWh	0,18

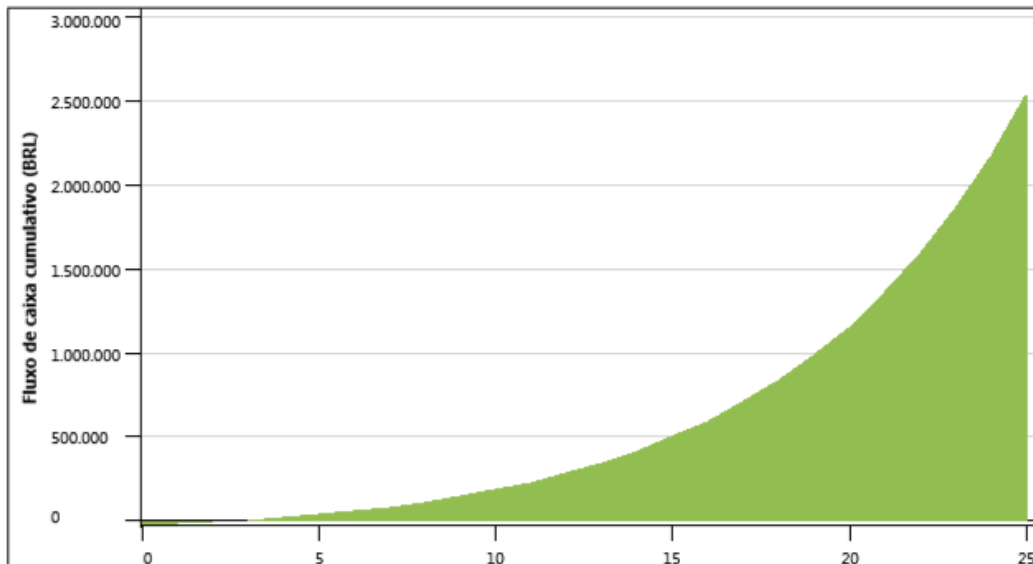
Apêndice VII – Fluxo de Caixa caso 1

Fluxo de caixa

Anual



Cumulativo



Apêndice VIII – Folha de Rosto Caso 2

Relatório de viabilidade

Estudo de Caso

Trabalho de Conclusão de Curso



Usina - Fotovoltaica

Preparado para:

UFC

Preparado por:

Pedro Marques Costa

Apêndice IX – Resumo Caso 2

Resumo

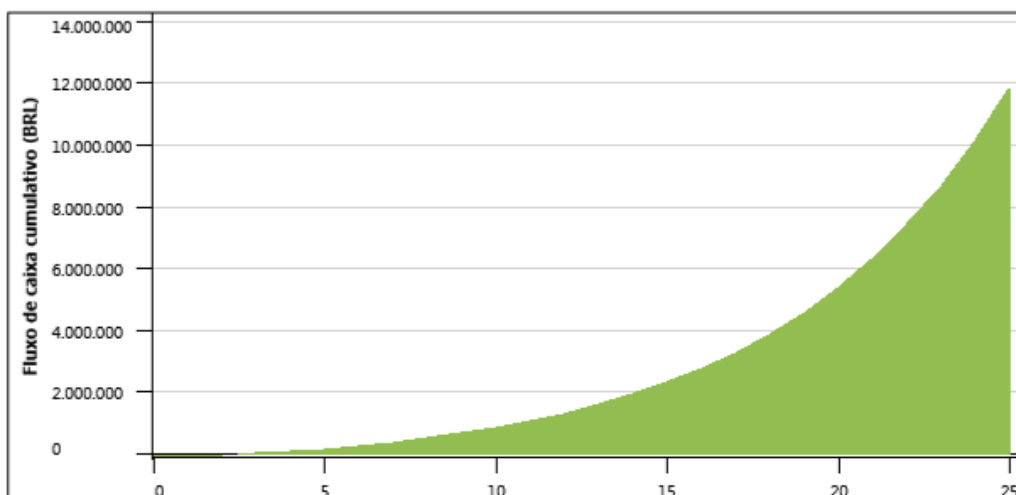
O presente relatório foi elaborado utilizando o RETScreen Clean Energy Management Software. As principais observações e recomendações desta análise são apresentadas abaixo:

Alvo

	Eletricidade exportada p/ rede kWh	Receita com eletricidade exportada BRL	Redução de emissões dos GEE tCO₂
Caso proposto	54.308	41.817	3,7

Os principais resultados são os seguintes:

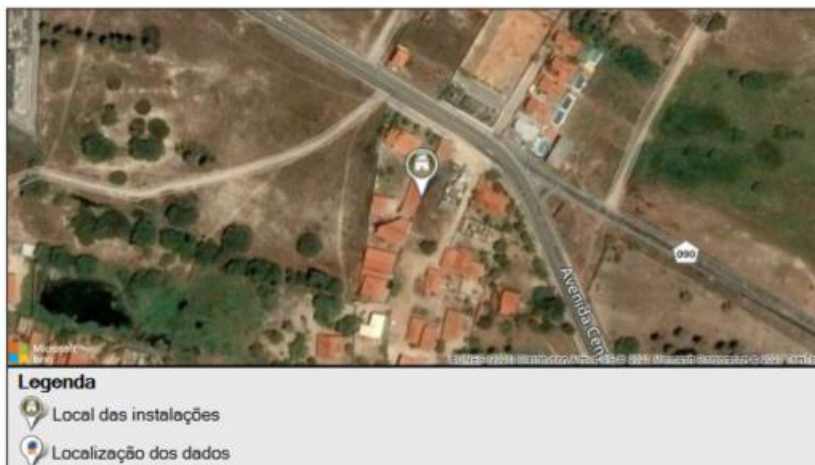
Fluxo de caixa - Cumulativo



Apêndice X – Local e dados Climáticos

Local | Dados climáticos

Local



	Unidade	Localização dos dados climáticos	Local das instalações
Nome		Brasil - Ceará - Fortaleza	Brazil - Ceará - Caucaia
Latitude	'N	-3,8	-3,6
Longitude	'E	-38,6	-38,7
Zona climática		0A - Extremamente quente - Úmido	0A - Extremamente quente - Úmido
Elevação	m	26	12

Apêndice XI – Usina Caso 2**Alvo**

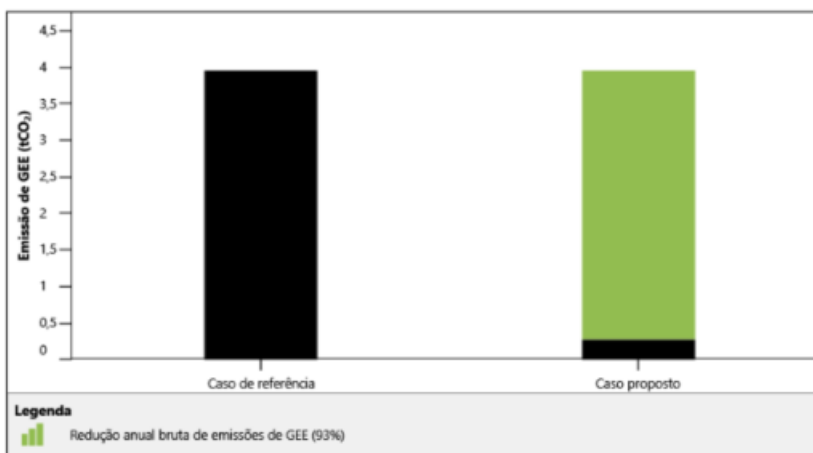
Resumo

	Eletricidade exportada p/ rede kWh	Receita com eletricidade exportada BRL	Redução de emissões dos GEE tCO₂
Caso proposto	54.308	41.817	3,7

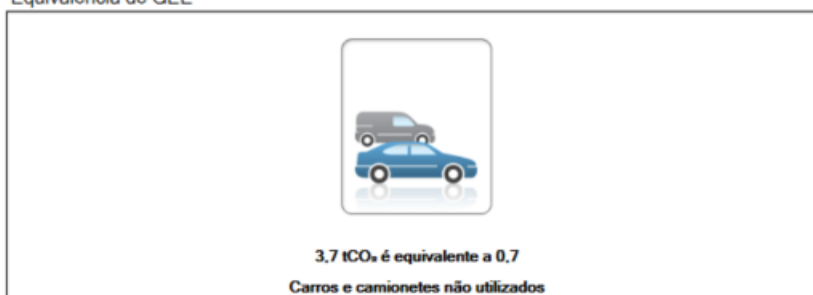
Apêndice XII – Emissões de GEE Caso 2

Emissão de GEE

Emissão de GEE



Equivalência de GEE



Emissão de GEE		
Caso de referência	4	tCO ₂
Caso proposto	0,3	tCO ₂
Redução anual bruta de emissões de GEE	3,7	tCO₂

Apêndice XIII – Análise Financeira Caso 2

Viabil. Financeira

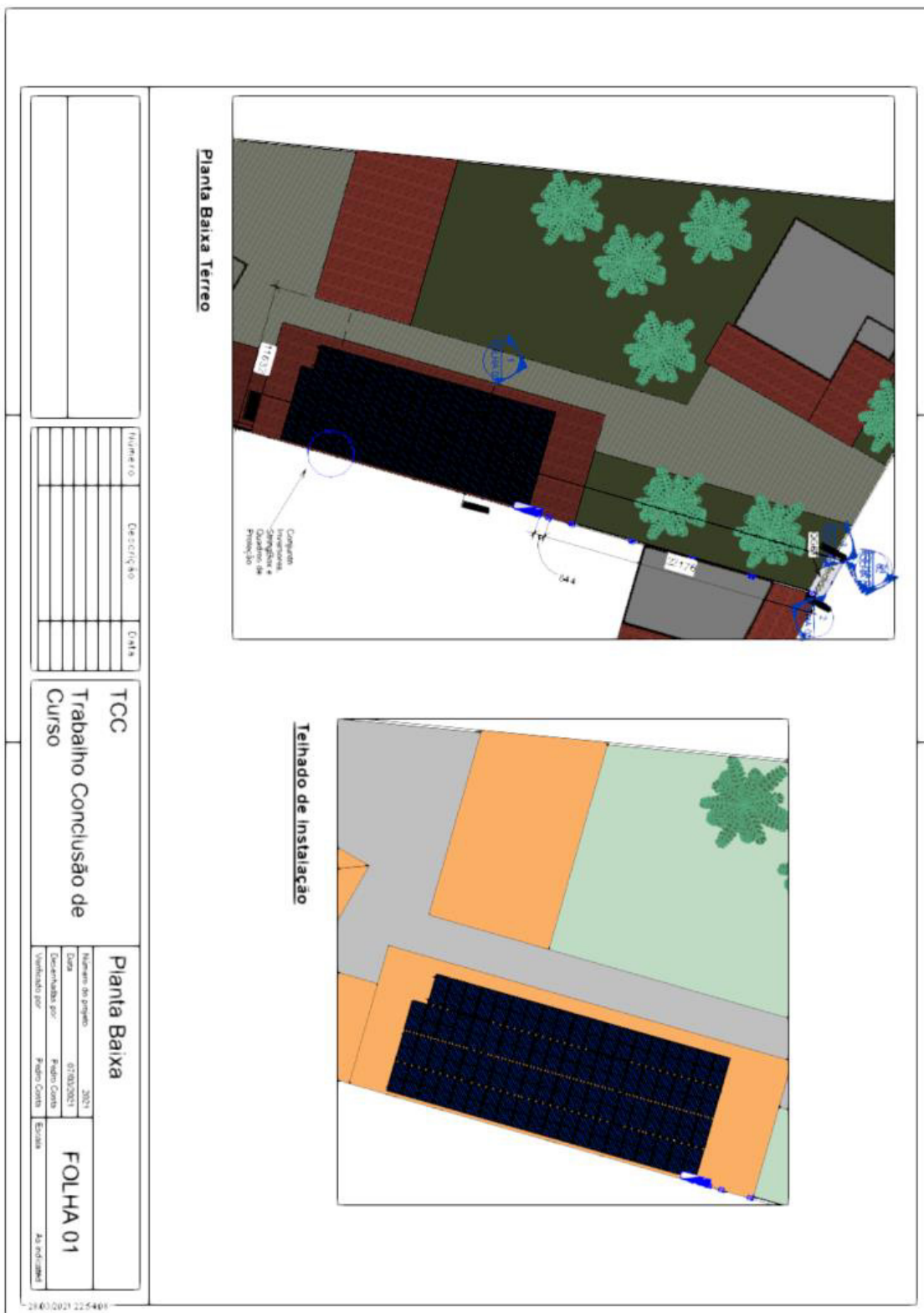
Custos | Economia | Receitas

Custos iniciais			
Custo inicial	100%	BRL	138.971
<hr/>			
Total de custos de investimento	100%	BRL	138.971
Incentivos e subsídios		BRL	0
<hr/>			
Fluxo de caixa anual - Ano 1			
Pagamento anual de custos e empréstimos			
Custo de operações e manutenção (economia)		BRL	1.457
Pagamento da dívida		BRL	0
<hr/>			
Total de custos anuais		BRL	1.457
Economia e receita anual			
Receita com eletricidade exportada		BRL	41.817
Receita pela redução de GEE		BRL	0
Outras receitas (custo)		BRL	0
Receita da produção de EL		BRL	0
<hr/>			
Total de economia e receita anual		BRL	41.817
Fluxo monetário anual líquido - Ano 1		BRL	40.360

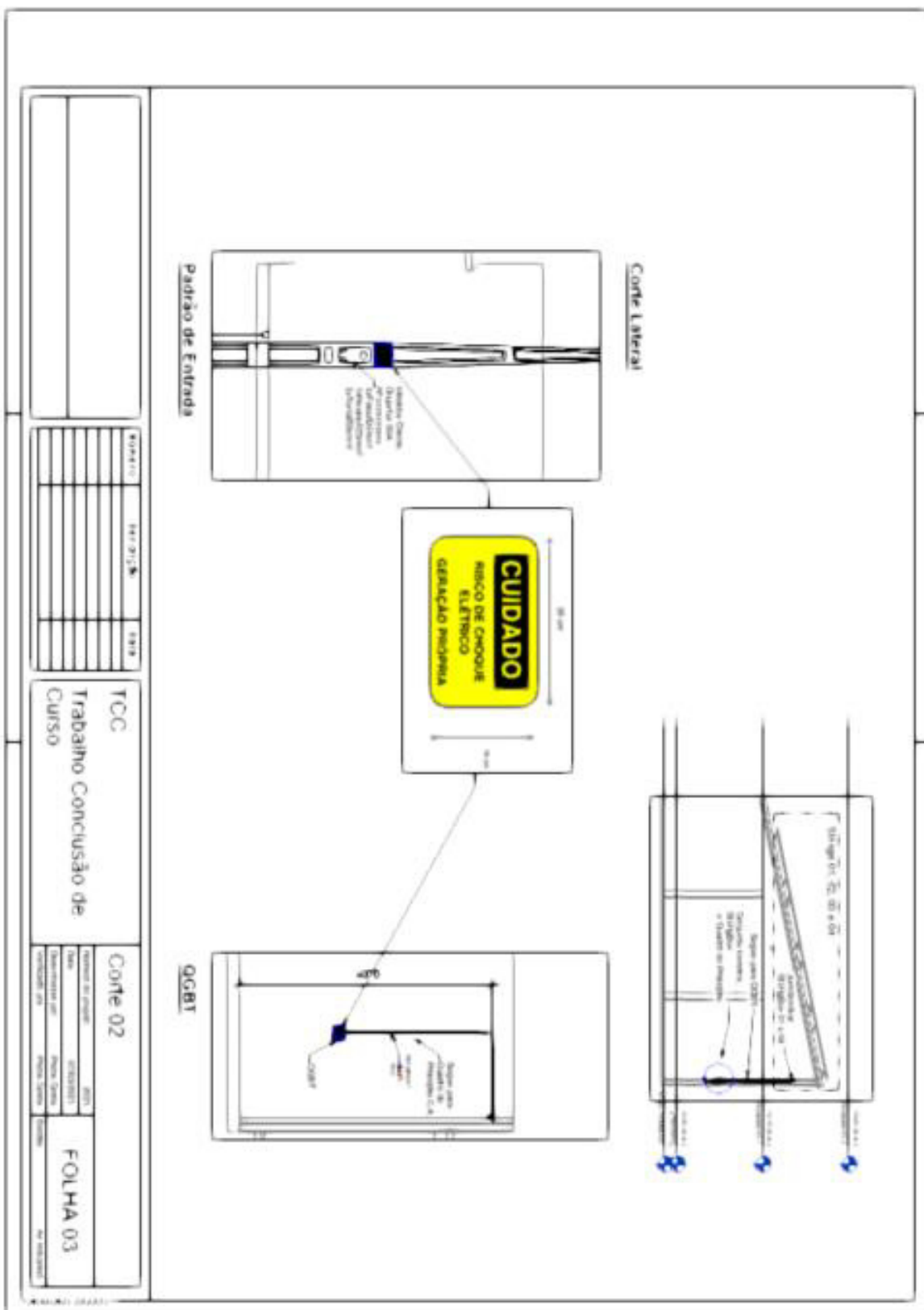
Viabil. Financeira

TIR antes impostos-capital próprio	%	28,7%
TIRM antes impostos-capital próprio	%	8,1%
TIR antes impostos - ativos	%	28,7%
TIRM antes impostos - ativos	%	8,1%
Retorno simples	ano	3,4
Retorno do capital próprio	ano	3,5
Valor Presente Líquido (VPL)	BRL	584.070
Economia anual no ciclo de vida	BRL/ano	31.701
Razão custo benefício (C-B)		5,2
Custo de Redução de GEE	BRL/tCO ₂	-8.598
Custo da Geração de energia	BRL/kWh	0,186

Apêndice XIV – Planta Baixa



Apêndice XV – Corte 01



Apêndice XVII – Vistas

Apêndice XVIII – Diagrama

