

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WESLEY GOMES DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO LIGADO A REDE, EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL**

**CERES / GO
2019**

WESLEY GOMES DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO LIGADO A REDE, EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: ME. PLÍNIO FERREIRA PIRES

**CERES / GO
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, WESLEY GOMES DE.

Estudo da Viabilidade de Implementação de um Sistema Fotovoltaico ligado à Rede, em um Posto de Combustível [Goiás] 2019, 25P, 297 mm (ENC/UEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - Unievangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Energia solar

2. Geração fotovoltaica

3. Viabilidade

4. TIR

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, W. G. de. Estudo da Viabilidade de Implementação de um Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede, em um Posto de Combustível. TCC, Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Campus Ceres, GO, 25p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Wesley Gomes de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico ligado a rede em um posto de combustível .

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

WESLEY GOMES DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO LIGADO A REDE, EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**PLÍNIO FERREIRA PIRES, Me. (UniEVANGELICA CAMPUS CERES)
(ORIENTADOR)**

**CHARLES BASTOS LORENÇO, Me. (UniEVANGELICA CAMPUS CERES)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JÉSSICA NAYARA DIAS, Me. (UniEVANGELICA CAMPUS CERES)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, DIA 11 de DEZEMBRO de 2019.

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE, EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL

Wesley Gomes de Oliveira¹
Plínio Ferreira Pires²

RESUMO

O Brasil possui um dos maiores potenciais solares do mundo, por ter elevados valores diários de irradiação solar média, ou seja, energia solar irradiada por metro quadrado. A energia fotovoltaica tem crescido muito no mundo inteiro, graças ao desenvolvimento da indústria de módulos e painéis, que trouxe ganhos de eficiência energética na operação desses equipamentos e redução de custos. Com isso, projeta-se um aumento acentuado na potência solar instalada no mundo inteiro e especialmente no Brasil, pois esses sistemas estão tornando-se mais acessíveis. Este trabalho faz uma investigação sobre o uso dessa alternativa de geração, aplicado a sistemas ligados a rede em postos de combustível, realizando o projeto e dimensionamento do sistema com base nas tecnologias atualmente disponíveis. Para o dimensionamento do sistema é utilizado o *PVSyst*, um dos *softwares* comercialmente mais utilizado no mundo para projeto de sistemas de geração fotovoltaica. Finalmente é verificada a viabilidade econômica da instalação utilizando indicadores como o VPL (Valor Presente Líquido) positivo e a TIR (Taxa Interna de Retorno) e uma taxa de atratividade, contrastando o investimento necessário com os benefícios econômicos gerados e avaliando o retorno financeiro obtido.

Palavras-chave: Geração Fotovoltaica. Energia Solar. Viabilidade. TIR. VPL.

Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: wesleybernadinho@hotmail.com

² Mestre, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: plinio_pires@hotmail.com

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1	Irradiação Solar	6
2.2	Sistemas fotovoltaicos	6
2.3	Dimensionamento e instalação do sistema fotovoltaico	7
2.4	Normas para conectar-se à rede	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS	8
3.1	Acesso a Microgeração	9
3.2	<i>Software</i> PVSyst.....	10
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	10
4.1	Consumo de energia.....	10
4.2	Localização.....	11
4.3	Pré-dimensionamento do Sistema.....	12
4.4	Dimensionamento do Sistema	13
4.5	Análise Financeira.....	14
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
	REFERÊNCIAS.....	17
	APÊNDICE A	18
A1)	Resultados do Pré-dimensionamento do sistema no PVSyst.....	18
A2)	Especificações Técnicas do Módulo CS6K 270P (Fonte: Canadian Solar Inc.)	19
A3)	Especificações técnicas do inversor SunnyBoy 7000 TLUS 12-240 V (Fonte: SMA).....	20
A4)	Características Técnicas do Sistema.....	21
A5)	Resultados da simulação no <i>software</i> PVSyst	22

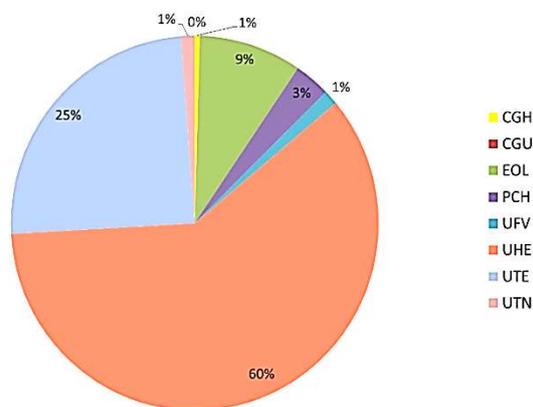
1 INTRODUÇÃO

A captação da energia solar e a sua conversão em outras formas de energia é fundamental para a existência de vida em nosso planeta e tem sido realizada mesmo antes da existência do ser humano, através das plantas e algas unicelulares (SILVA, 2014).

Mitscher e Rüter (2012) analisaram a competitividade de instalações de geração fotovoltaica conectadas à rede elétrica em cinco capitais brasileiras – Florianópolis, Brasília, Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte – cidades com diferentes irradiações solares e tarifas de eletricidade. O estudo mostrou que sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser competitivos em relação às tarifas de eletricidade residenciais, mesmo sem subsídios diretos, e que o valor do investimento inicial é o fator decisivo na determinação da viabilidade econômica das instalações.

Com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados e condições climáticas extremamente favoráveis, o Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos renováveis do mundo, com 164,8 GW de potência instalada (ANEEL, 2019).

Grafico1 – Composição da Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: ANEEL (2019)

Atualmente, a tecnologia fotovoltaica tem se apresentado como a grande aposta para o aproveitamento solar e geração sustentável de eletricidade, principalmente devido a um rápido crescimento na produção mundial de placas coletoras fotovoltaicas, o que permitiu o barateamento dessas instalações geradoras (MIT, 2015). Para que a potência elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos possa ser utilizada na unidade de consumo ou ser exportada para a rede elétrica, ela deve ser convertida de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Essa conversão CC/CA é realizada em um equipamento eletrônico chamado inversor, cuja eficiência depende da tensão de entrada, normalmente na faixa entre 30 V e 750 V. A tensão de uma única célula fotovoltaica é de cerca de 0,6 a 0,7 V. Além da função básica de conversão de potência CC em potência CA, os inversores também são responsáveis por fazer a sincronização de frequência com a rede elétrica, de modo a garantir que a eletricidade tenha o mesmo perfil de onda que é recebido pela rede, sem distorções harmônicas, que significariam perda de qualidade da energia e consequente redução da vida útil dos equipamentos e instalações (SILVA, 2014).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e financeira de um sistema fotovoltaico conectado à rede aplicado em uma empresa de postos de combustíveis na cidade de Itapaci-GO.

Os objetivos específicos foram:

- Coletar os dados referentes à tarifa de energia e área disponível da empresa de postos de combustíveis;
- Avaliar a irradiação solar do local;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico em uma empresa de postos de combustíveis utilizando um *software*;
- Realizar análise de viabilidade financeira através de indicadores para o investidor;
- Analisar se os resultados financeiros são atrativos para os investidores que pensam em aderir a essa alternativa de geração de energia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Irradiação Solar

O Brasil possui locais com níveis anuais de irradiação solar global entre 6.000 e 6.200 kWh/m² (TOLMASQUIM, 2016). Considerando um aproveitamento médio de 7% calculado pelo MIT (2015), essas regiões poderiam gerar entre 420 e 434 kWh/m² de eletricidade por ano. Além disso, considerando que instalações fotovoltaicas podem ser viabilizadas a partir de um limite mínimo de irradiação solar na faixa entre 1.500 a 2.200 kWh/m² (TOLMASQUIM, 2016), praticamente todo o território brasileiro torna-se elegível para a expansão do aproveitamento deste recurso, como é possível observar no mapa brasileiro de irradiação solar global diária no plano inclinado (adequado à aplicação fotovoltaica), apresentado na Figura 1.

Figura 1– Mapa brasileiro de irradiação Solar no plano inclinado.



Fonte: TOLMASQUIM (2016)

2.2 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em três tipos principais (SILVA, 2014):

- **Isolados (off-grid):** esses sistemas não estão conectados à rede e dependem apenas da energia solar. Eles podem incluir baterias para armazenamento de energia e controladores de carga;
- **Conectados à rede (on-grid):** esses sistemas são conectados à rede por meio de inversores, equipamentos que convertem a energia CC em eletricidade CA. Pode haver um inversor centralizado, um para cada conjunto ou um micro-inversor conectado a cada módulo. Quanto maior o número de microinversores, maior o custo do sistema; no entanto, também os desempenhos aumentam porque, para cada módulo, uma tensão ideal é encontrada devido à tecnologia *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Mesmo que não necessitem de baterias, pois em caso de geração de energia fotovoltaica insuficiente a rede fornece a eletricidade necessária, as baterias podem ser incluídas no sistema para aumentar o autoconsumo;
- **Módulos fotovoltaicos híbridos,** combinados, com uma fonte complementar de geração de eletricidade, como um gerador a diesel ou eólico, por exemplo.

2.3 Dimensionamento e instalação do sistema fotovoltaico

Em qualquer instalação solar fotovoltaica o módulo solar fotovoltaico é a unidade básica do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua (RÜTHER, 2004). A corrente do gerador solar é definida pelas conexões em paralelo de painéis individuais ou de *strings* (conjunto de módulos conectados em série). A potência instalada, normalmente especificada em CC, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais.

2.4 Normas para conectar-se à rede

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuída de energia elétrica.

É permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se micro geração distribuída a central geradora com potência instalada até 100 quilowatts (kW) e mini geração distribuída aquela com potência acima de 100 kW e menor ou igual a 1 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

De acordo com a Resolução ANEEL, Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as regras atualizadas pela Resolução Normativa ANEEL nº 517/2012, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora (ANEEL, 2012). Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. Dessa forma, foi criada a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

Além disso, foram estabelecidas regras que simplificam o processo, instituindo-se formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor. A Figura 2 apresenta o passo a passo das etapas que devem ser cumpridas pelo consumidor e pela concessionária para ter acesso ao sistema de micro geração ligado à rede estabelecida pela ANEEL. O prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 100 kW é de 34 dias.

Figura 2 – Procedimentos e etapas de acesso à microgeração



Fonte: ANEEL (2019)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

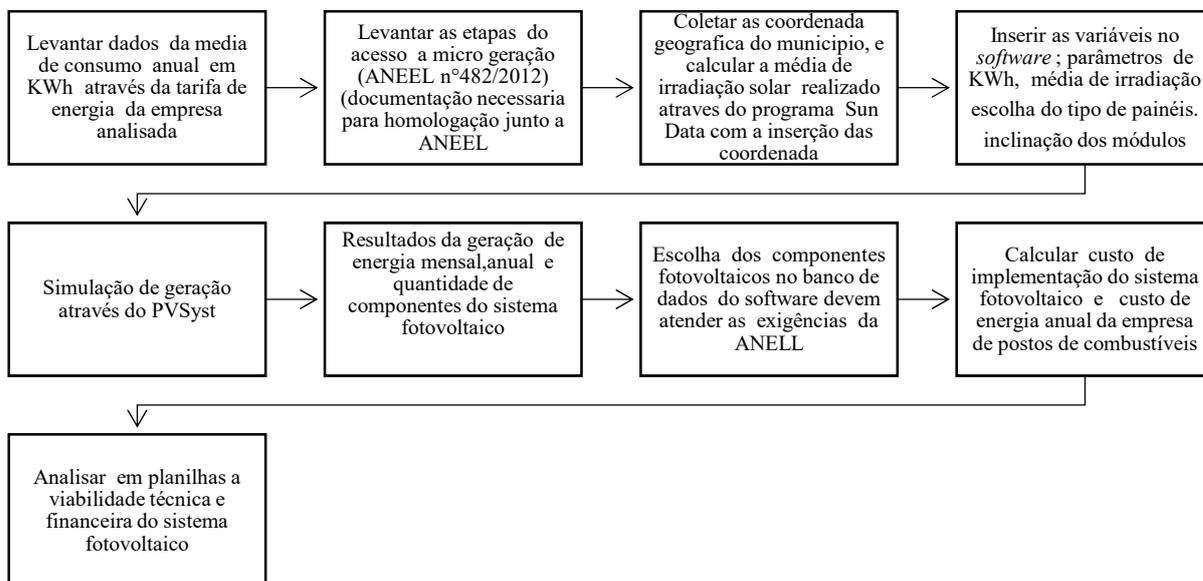
O trabalho foi realizado através do método de pesquisa quantitativa, a qual é baseada em números e cálculos matemáticos, através de *software*. Uma empresa do setor de postos de combustíveis cedeu os dados necessários para o estudo de caso.

Os resultados dessa pesquisa foram analisados em uma simulação financeira para verificar a viabilidade econômica de se instalar esses sistemas em empresas de postos de combustível, a partir do estudo de caso explorado, verificando se os resultados financeiros são atrativos para os investidores que pensam em aderir a essa alternativa de geração.

A metodologia utilizada visa demonstrar de forma precisa as condicionantes financeiras presentes em um investimento para geração de energia utilizando sistema fotovoltaico. Essa é a importância de fundamentar-se em métodos utilizados no mercado financeiro.

O fluxograma apresentado na Figura 3 representa o passo a passo do caminho percorrido para todas as etapas do trabalho desde a coleta dos dados até os resultados financeiros.

Figura 3– Etapas do caminho percorrido



Fonte: autor próprio (2019)

3.1 Acesso a Microgeração

Ainda em relação ao levantamento de dados, através da norma NBR 16274 (ABNT, 2014) foram levantados os critérios para estabelecer e apresentar os requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho, aplicados à atividade de implantação destes sistemas, e um levantamento dos registros de etapas do acesso de microgeração e minigeração distribuída- REN482/2012.

Desde as novas regras da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que começaram a vigorar desde 1º de março de 2016 e visa diminuir os custos, o tempo e aumentar o público alvo, o processo de homologação se tornou muito mais simples e rápido de executar, O Quadro 1 apresenta os documentos necessários para homologação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

Quadro 1 – Documentos Exigidos

ART - Assinada pelo R.T e cliente
Cópias RG, CPF ou CNPJ
Memorial descritivo (Utilizar modelos padronizados pelo CAP)
Termo de responsabilidade assinado pelo profissional e pelo interessado
Projeto elétrico
Procuração
Formulário de solicitação de acesso
Certificado ou número de registro da concessão do INMETRO dos inversores
DataSheet inversor
DataSheet módulos fotovoltaicos
Formulário de dados para registro de central geradora

Fonte: ANEEL (2019)

3.2 Software PVSyst

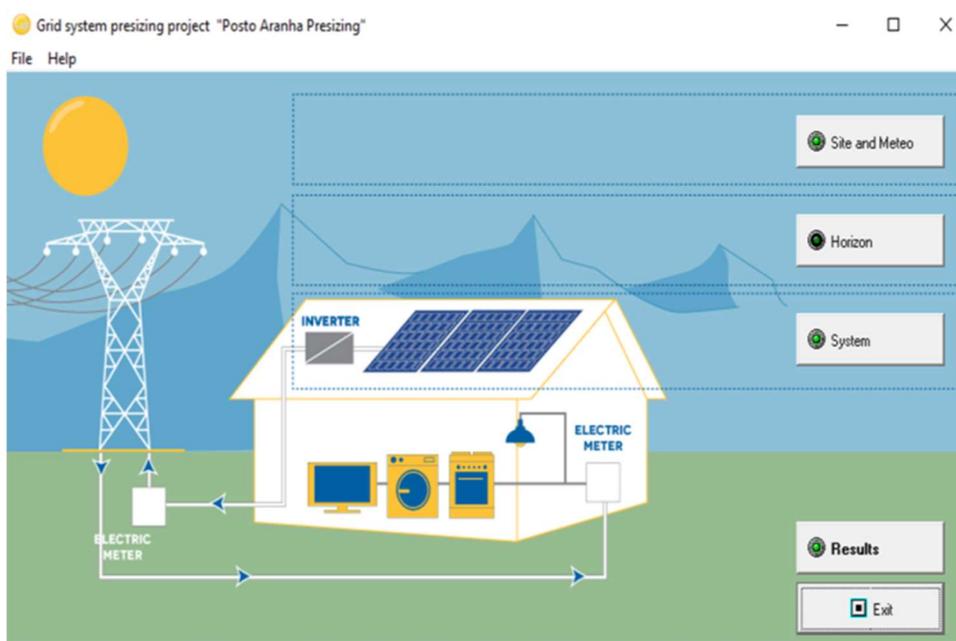
O dimensionamento do sistema será realizado com o auxílio do software *PVSyst* V6.7.6. O PVSyst é um dos *softwares* comerciais mais utilizados no mundo para dimensionamento e projeto de sistemas de geração fotovoltaicos isolados ou conectados à rede. Apesar de não ser um *software* gratuito, é possível baixá-lo e utilizá-lo gratuitamente por um mês com quase todas as suas funções.

O PVSyst pode ser usado para simular sistemas conectados em rede, sistemas autônomos e de bombeamento (MERMOUD; WITTMER, 2014).

O design de projeto visa realizar um projeto completo do sistema fotovoltaico e análise de desempenho usando simulações detalhadas por hora. Estes dados são organizados no âmbito de um projeto, que essencialmente detém a condição geográfica, localização e dados meteorológicos horários. Otimizações e análise de parâmetros podem ser realizadas através de diferentes execuções de simulação, chamadas variantes. As ferramentas incluem o banco de dados meteorológicos, com exibições gráficas ou tabelas e componentes.

A Figura 4 mostra uma das interfaces desse *software*.

Figura 4 –captura de tela de uma das interfaces do PVSyst



Fonte: PVSyst (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consumo de energia

A estimativa da quantidade de energia que deverá ser produzida pelo microgerador em uma unidade para compensação de energia é a primeira etapa básica a ser executada. Para isso deve-se conferir o consumo de energia elétrica em um período de 12 meses. De posse destes valores, é possível analisar a variação do consumo, de acordo com cada época do ano. Esses dados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de Energia em um período de 12 meses (kWh/mês).

Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
6656	4082	6307	6316	5990	6332	5739	6756	5081	4719	5488	4910

Fonte: Próprio autor (2019) a partir de dados da empresa.

Porém, para o estudo em questão, foi utilizado para cálculo das ferramentas de análise de investimento, Acompanhando o histórico das contas de energia deste comércio, verificamos que há um consumo médio de 5.698 kWh/mês, equivalente a um consumo anual de 68.376 kWh. Esse valor anual será utilizado como referência para realizar o dimensionamento do sistema.

4.2 Localização

A Figura 5 apresenta localização da empresa utilizada onde é apresentado o estudo de caso, localizado na Avenida Floresta S/N - Setor Boa Vista, Itapaci - GO (coordenadas geográficas: -14,969017; -49,546181).

Figura 5 – Vista aérea do auto posto de combustíveis



Fonte: Google Maps (2019)

A superfície disponível para instalação dos painéis fotovoltaicos no telhado do auto posto é de aproximadamente 700 m² esse valor foi fornecido pelo dono do posto. Verifica-se também, através da imagem aérea, que não existem obstáculos na vizinhança do local, como prédios e torres, que poderiam projetar sombras sobre os painéis fotovoltaicos.

Além disso, para o dimensionamento do sistema gerador é necessário analisar outros fatores que influenciam neste processo. O primeiro é o índice de irradiação, energia solar incidente por metro quadrado (normalmente medido em kWh/m².dia). A Tabela 2 mostra os índices de irradiação solar média mensal para a localidade, medidos pelo Cresesb e disponibilizados na plataforma Sundata (CRESESB, 2019).

Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal (kWh/m²/dia), Itapaci-GO.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
5,27	5,52	5,10	5,11	4,97	4,66	4,89	5,83	5,57	5,46	5,13	5,31	5,23

Fonte: CRESESB (2019).

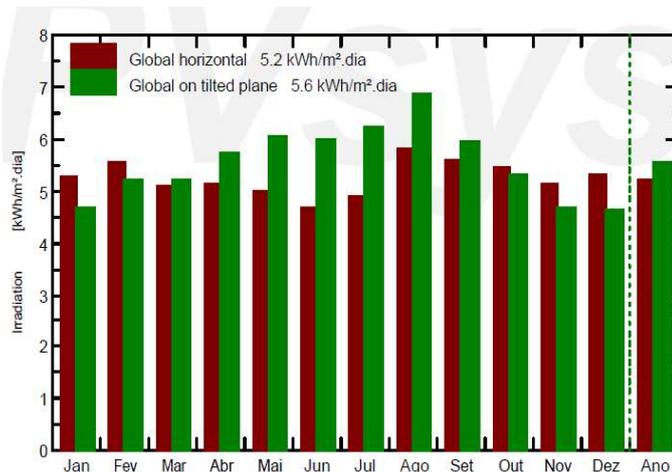
4.3 Pré-dimensionamento do Sistema

Como os painéis serão estáticos (sem rotação para acompanhar o movimento do Sol), a inclinação deve ser otimizada para gerar uma maior quantidade de energia possível. A otimização pode ser feita privilegiando-se a geração elétrica durante o verão (quando o Sol está mais “alto” no céu), durante o inverno (quando o Sol percorre um caminho mais “baixo”), ou privilegiando-se uma geração média ao longo do ano. Optou-se por essa última visto que a operação do auto posto não apresenta qualquer tipo de sazonalidade definida entre inverno e verão. A inclinação dos painéis a ser utilizada no projeto é de 22° orientados ao norte.

Considerando-se essa inclinação de 22°, obtém-se o Gráfico de irradiações sobre o plano horizontal e sobre a superfície dos painéis. Como pode-se observar na Figura 6 (barra verde no gráfico), a inclinação de 20° utilizada tem uma maior incidência de irradiação do que o plano horizontal na média do ano, alcançando um valor de 5,6 kWh/m²/dia.

Ainda em relação à instalação, está se projetando a utilização de painéis padrão, utilizando a tecnologia de células de silício policristalino. Os painéis serão instalados no telhado do auto posto, que por sua vez é uma superfície plana, sem inclinação.

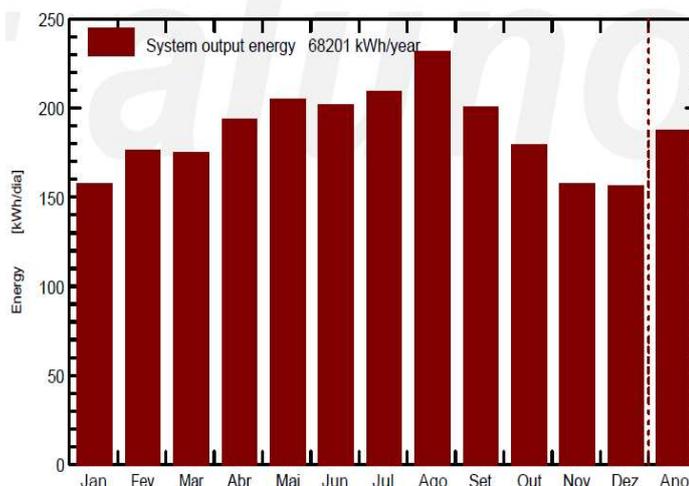
Figura 7 - Valores da irradiação solar no plano horizontal e no plano inclinado (22°)



Fonte: PVSyst (2019)

A Figura 7 mostra o perfil de geração do sistema, mês a mês, tendo uma geração máxima no mês de agosto (cerca de 230 kWh/dia) e geração mínima em novembro e dezembro (cerca de 155 kWh/dia). E no apêndice é apresentado o resultado do dimensionamento preliminar do sistema, que terá potência nominal de 39,6 kWp e uma área total de coleta de irradiação solar (área ativa) de 264 m². Tal sistema seria capaz de gerar 68.376 kWh ao longo de um ano.

Figura 8– Perfil de geração do sistema pré-dimensionado no software PVSyst

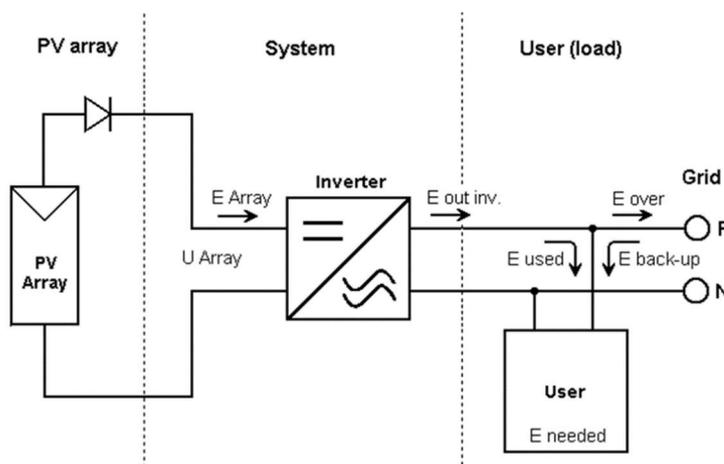


Fonte: PVSyst (2019)

4.4 Dimensionamento do Sistema

Com o pré-dimensionamento, é possível realizar o detalhamento do sistema, escolhendo os equipamentos específicos e realizando seu dimensionamento efetivo. A Figura 9 mostra o esquema elétrico simplificado de instalação. A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, em corrente contínua, é enviada ao inversor, aparelho que faz a conversão CC/CA, fornecendo corrente alternada para atender a demanda do comércio (usuários de energia) ou para a rede elétrica externa, no caso de excedente de geração.

Figura 9 – Esquema Elétrico Simplificado da Instalação



Fonte: PVSyst(2019)

O módulo fotovoltaico escolhido para a instalação foi o CS6K 270P, do fabricante Canadian Solar Inc. Esse módulo, com potência nominal de 270 Wp é composto por 60 células de silício policristalino, foi escolhido por suas boas características de eficiência de conversão (16,47% em condições padrão) e valores adequados de corrente e tensão, respectivamente iguais a 8,75 A e 30,8 V nas condições de máxima potência produzida. Além disso, o fabricante é reconhecido como extremamente confiável, fornecendo produtos de ótima qualidade. Cada módulo possui dimensões de 1650 x 992 x 40 mm. As características técnicas do módulo em questão são apresentadas no apêndice 2 .

Para atingir a potência nominal desejada de 39,6 kWp (resultado do dimensionamento preliminar) são necessários cerca de 147 módulos de 270 W (módulos CS6K 270P). Realizando a distribuição dos módulos em séries e paralelos, de modo obter-se valores adequados de tensão e corrente elétrica no circuito, uma das opções encontradas é utilizar 10 sequências (paralelas) de 14 módulos em série cada uma, obtendo-se 140 módulos no total, capazes de produzir uma potência nominal de 37,8 kWp e cobrindo uma área de coleta de 229 m². A tensão de operação será por volta de 385 V no lado de corrente contínua e uma corrente de 88 A no ponto de maior potência, esses dados foram coletado no *software*.

Para realizar a conversão da eletricidade gerada em corrente contínua em corrente alternada, é preciso utilizar um inversor (aparelho eletrônico que realiza esse tipo de conversão de sinal). Um dos modelos mais populares de inversores para aplicação fotovoltaica é o SunnyBoy, da fabricante SMA. Para esse projeto, foi escolhido o SunnyBoy 7000 TL US 12-240V capaz de converter 7 kW de potência em uma faixa de tensão de entrada de 245 a 480 V. As características técnicas do inversor SunnyBoy 7000 TL US 12-240V estão disponíveis no apêndice 3.

Para conseguir converter toda a potência gerada pelos módulos, serão utilizados 5 inversores em paralelo, obtendo-se uma potência de saída de 35 kW em corrente alternada. A princípio, o projetista inexperiente pode ter a impressão de que existe um subdimensionamento dos inversores, pois sua potência total está abaixo da potência pico dos painéis fotovoltaicos. Porém, essa potência pico refere-se a condições de laboratório (irradiação e temperatura controladas) que jamais serão verificadas em campo. Portanto os inversores especificados têm capacidade de suportar as condições de trabalho do sistema.

Com essa configuração, foi realizada a simulação da operação através do software PVsyst, obtendo-se valores característicos de geração deste sistema a ser instalado e considerando-se também a perspectiva de irradiação diária, utilizando dados meteorológicos históricos (pois nos dias nublados e de chuva a irradiação solar é muito mais baixa). Os resultados dessa simulação são apresentados no apêndice.

Nessa simulação, a geração líquida de energia é de 62.072 kWh no ano, com geração máxima de 6.473 kWh no mês de julho e geração mínima de 3.840 kWh no mês de novembro.

4.5 Análise Financeira

A seguir é apresentado o investimento necessário para realizar a instalação desse sistema. Os módulos CS6K 270P da Canadian Solar têm custo de R\$ 619,00 a unidade. Cada módulo precisa de uma estrutura que custa em torno de R\$ 100,00 (pois essa estrutura deve resistir a ação do tempo, exposta ao ambiente, por toda a vida útil da instalação, de 20 anos). Além disso, os inversores têm custo de R\$ 5.060,00 cada, a validade do orçamento de sistemas fotovoltaicos e 15 dias úteis.

Tabela 3 – Investimento Necessário para Realização do Projeto

Investimento	Quantidade	Valor	Total
Módulos	140	619,00	86.660,00
Estrutura	140	100,00	14.000,00
Inversores	5	5.060,00	25.300,00
Cabos			5.600,00
Montagem(projeto)			101.000,00
Total			232.560,00

Fonte: Próprio Autor (2019).

O valor total dos cabos foi estimado em R\$ 5.600,00 (serão necessários cabos com proteção solar, para resistir aos raios UV e outros agentes ambientais sem que o isolante resseque ou rache, expondo o condutor e deixando o sistema suscetível a ocorrência de curtos circuitos). Finalmente, projeta-se um custo de R\$ 101.000,00 para projeto detalhado, reforço estrutural em alguns pontos do local, montagem homologação e instalação do sistema. Assim, o investimento total na instalação do sistema fotovoltaico será estimado em R\$ 232.560,00.

O sistema instalado irá gerar 62.072 kWh/ano líquidos. Considerando que a empresa atualmente está pagando a eletricidade consumida a um custo de R\$ 0,8807/kWh, a geração fotovoltaica poderá significar uma economia de R\$ 54.666,81/ano. Por tratar-se de uma economia gerada, essa iniciativa aumentará o lucro da empresa, estando sujeita ao pagamento de imposto de renda pelo lucro gerado, portanto, faz-se necessária a simulação dos resultados financeiros. O sistema terá um custo de operação e manutenção projetado em R\$ 6.602,40/ano (2,84% do valor investido). A depreciação do investimento em equipamentos será linear, em 20 anos (o que contempla a situação mais conservadora, com a depreciação mais lenta possível) a depreciação entrará como saldo positivo. Os resultados financeiros obtidos são mostrados na Tabela 4 :

Tabela 4 – Resultados Financeiros Anuais do Projeto

	kWh	Valor	Total
Geração Anual	62.072	0,8807	54.666,81
O&M			-6.602,40
Lucro Bruto			48.064,41
Depreciação			8.828,00
Lucro Antes IR			39.236,41
IR		24%	-9.416,74
Lucro Líquido			29.819,67
Resultado Financeiro			38.647,67

Fonte: Próprio Autor (2019).

Portanto, o projeto irá gerar um resultado financeiro anual de R\$ 38.647,67. Para verificar o retorno financeiro proporcionado pelo projeto, é necessário aplicar uma taxa de desconto ao fluxo de caixa gerado ao longo dos 20 anos de vida útil do projeto. Considerando uma taxa de desconto de 12% essa taxa refere a um investimento mínimo que um investidor pode ganhar quando fazer um investimento, ela foi baseada em um título do tesouro Selic 2035, equivalente ao custo de oportunidade da empresa, temos a seguinte geração de fluxos de caixa:

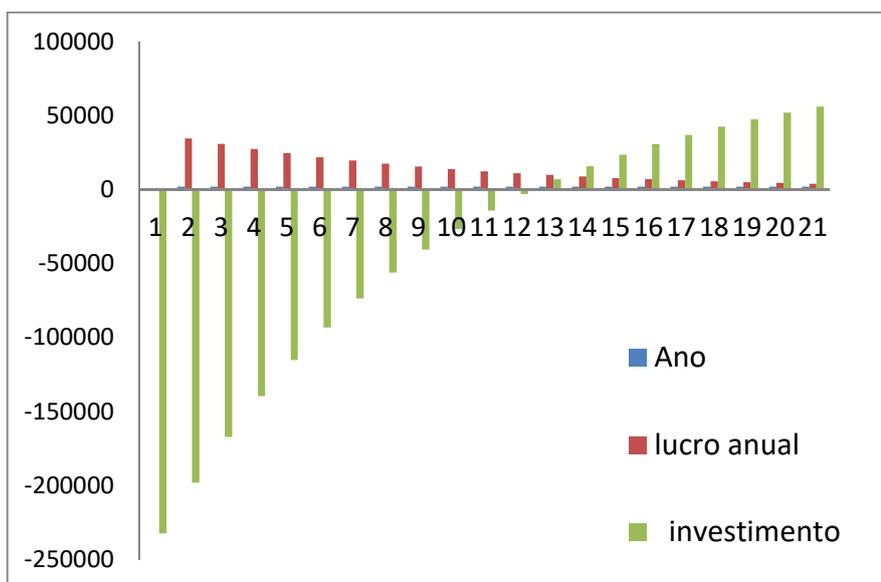
Tabela 5 – Resultados Financeiros Anuais do Projeto

Ano	Valor Nominal	Valor Atualizado	Caixa Acumulado	Ano	Valor Nominal	Valor Atualizado	Caixa Acumulado
0	- 232.560,00	- 232.560,00	- 232.560,00				
1	38.647,67	34.506,85	- 198.053,15	11	38.647,67	11.110,28	- 3.081,75
2	38.647,67	30.809,69	- 167.243,46	12	38.647,67	9.919,89	6.838,14
3	38.647,67	27.508,65	- 139.734,81	13	38.647,67	8.857,05	15.695,19
4	38.647,67	24.561,29	- 115.173,52	14	38.647,67	7.908,08	23.603,27
5	38.647,67	21.929,73	- 93.243,79	15	38.647,67	7.060,79	30.664,06
6	38.647,67	19.580,11	- 73.663,68	16	38.647,67	6.304,27	36.968,33
7	38.647,67	17.482,24	- 56.181,43	17	38.647,67	5.628,81	42.597,14
8	38.647,67	15.609,15	- 40.572,29	18	38.647,67	5.025,73	47.622,87
9	38.647,67	13.936,74	- 26.635,55	19	38.647,67	4.487,26	52.110,13
10	38.647,67	12.443,52	- 14.192,03	20	38.647,67	4.006,48	56.116,61

Fonte: Próprio Autor (2019).

Como é possível observar, o projeto gera um fluxo de caixa positivo, agregando valor à empresa. O retorno do investimento ocorre em doze anos e ao final de sua vida útil, o projeto equivale a um valor gerado de R\$ 56.116,61 (valor presente líquido do projeto). Calculando-se a taxa interna de retorno (TIR) do projeto obtém-se o valor de 16% de retorno ao ano. Se a TIR for maior do que a taxa de desconto de 12% quer dizer que o investimento é atrativo economicamente. O gráfico da Figura 10 representa a análise financeira do projeto

Figura: 10 – retorno dos investimentos x valor investido



Fonte: Próprio Autor (2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo de caso foi possível verificar a viabilidade técnica e econômica do projeto de geração fotovoltaica no Auto Posto Aranha de combustíveis. Utilizando uma fonte de energia renovável, o sistema projetado é capaz de gerar 62.072 kWh/ano, quase a totalidade da eletricidade consumida pela empresa, proporcionando uma economia anual de cerca de R\$ 54.666,81 na conta de energia elétrica. Devido aos impostos e custos operacionais, o resultado financeiro final é de R\$ 38.647,67 por ano.

A partir de um investimento inicial de pouco mais de R\$ 232 mil, o projeto possui retorno a partir do décimo segundo ano de operação, mostrando-se uma alternativa viável para contribuir com os resultados financeiros da empresa, ao mesmo tempo em que utiliza uma fonte de energia limpa e sustentável.

Quando se trata de analisar o retorno do investimento em energia solar, dois fatores são essenciais para o estudo, o custo de implantação desse sistema e valor da tarifa de energia paga.

Instalar um sistema solar fotovoltaico nessa modalidade o pode gerar economia nos custos com energia elétrica para os consumidores dessa área de postos de combustíveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Resolução Normativa 517/2012**. Agência Nacional de Energia Elétrica: Brasília, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>. Acesso em 11 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Nota Técnica 056/2017**. Agência Nacional de Energia Elétrica: Brasília, 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9. Acesso em 11 maio 2019.

CRESESB (2019). **Potencial Solar – SUNDATA**. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em 15 maio 2019.

MIT. **The Future of Solar Energy**. Massachusetts Institute of Technology: 2015. Disponível em: <<https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. **Energy Policy**, n. 49, p. 688-694, jul. 2012.

RAMPINELLI, G.A.; KRENZINHER, A.; ROMERO, F.C. Descrição e análise de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 15.1, p. 25-50, 2013.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.

SILVA, Ennio Peres da. **Fontes renováveis de energia: Produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

TOLMASQUIM, M. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

TÉCNICAS, A. B. (2014). NBR16274:sistemas fotovoltaicos conectados à rede — requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro.

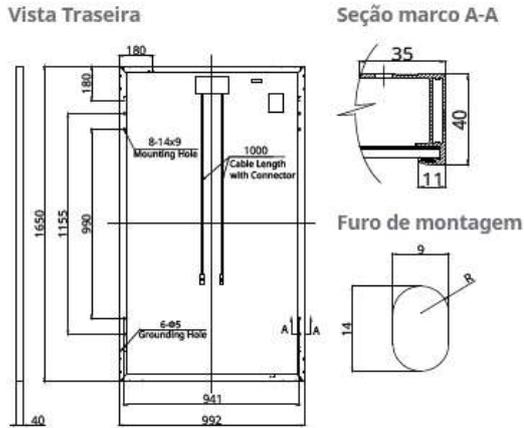
APÊNDICE A

A1) Resultados do Pré-dimensionamento do sistema no PVsyst

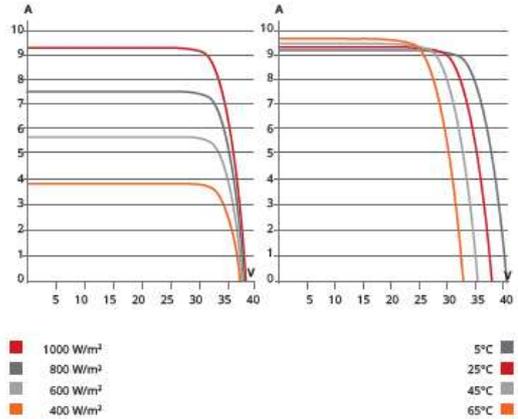
PVSYST V6.76	Página 1/1																																																																													
Pré-dimensionamento do sistema em rede																																																																														
Localização geográfica	Itapaci	País Brazil																																																																												
Localização	Latitude -14.97° S	Longitude -49.55° W																																																																												
Tempo definido como	Tempo legal Fuso horário TU-3	Altitude 567 m																																																																												
Orientação do plano dos módulos	Inclinação 22°	Azimute 0°																																																																												
PV-field installation main features																																																																														
Module type	Standard																																																																													
Technology	Polycrystalline cells																																																																													
Mounting method	Flat roof																																																																													
Back ventilation properties	Free standing																																																																													
System characteristics and pre-sizing evaluation																																																																														
PV-field nominal power (STC)	Pnom	39.6 kWp																																																																												
Collector area	Acoll	264 m ²																																																																												
Annual energy yield	Eyear	68.2 MWh	Specific yield 1721 kWh/kWp																																																																											
Economic gross evaluation	Investment	108400 EUR																																																																												
		Energy price	0.16 EUR/kWh																																																																											
Meteo and incident energy		System output																																																																												
<p>Global horizontal 5.2 kWh/m².dia Global on tilted plane 5.6 kWh/m².dia</p>		<p>System output energy 68201 kWh/year</p>																																																																												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gl. horiz.</th> <th>Coll. Plane</th> <th>System output</th> <th>System output</th> </tr> <tr> <th></th> <th>kWh/m².dia</th> <th>kWh/m².dia</th> <th>kWh/dia</th> <th>kWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Jan.</td><td>5.27</td><td>4.89</td><td>157.8</td><td>4891</td></tr> <tr><td>Fev.</td><td>5.52</td><td>5.23</td><td>178.0</td><td>4928</td></tr> <tr><td>Mar.</td><td>5.10</td><td>5.20</td><td>175.0</td><td>5425</td></tr> <tr><td>Abr.</td><td>5.11</td><td>5.74</td><td>193.2</td><td>5797</td></tr> <tr><td>Mai.</td><td>4.97</td><td>6.07</td><td>204.2</td><td>6329</td></tr> <tr><td>Jun.</td><td>4.86</td><td>5.99</td><td>201.6</td><td>6048</td></tr> <tr><td>Jul.</td><td>4.89</td><td>6.21</td><td>209.2</td><td>6484</td></tr> <tr><td>Ago.</td><td>5.83</td><td>6.87</td><td>231.2</td><td>7187</td></tr> <tr><td>Set.</td><td>5.57</td><td>5.96</td><td>200.6</td><td>6019</td></tr> <tr><td>Out.</td><td>5.46</td><td>5.32</td><td>179.2</td><td>5556</td></tr> <tr><td>Nov.</td><td>5.13</td><td>4.67</td><td>167.1</td><td>4712</td></tr> <tr><td>Dez.</td><td>5.31</td><td>4.64</td><td>166.3</td><td>4844</td></tr> <tr><td>Ano</td><td>5.23</td><td>5.55</td><td>188.9</td><td>68201</td></tr> </tbody> </table>		Gl. horiz.	Coll. Plane	System output	System output		kWh/m ² .dia	kWh/m ² .dia	kWh/dia	kWh	Jan.	5.27	4.89	157.8	4891	Fev.	5.52	5.23	178.0	4928	Mar.	5.10	5.20	175.0	5425	Abr.	5.11	5.74	193.2	5797	Mai.	4.97	6.07	204.2	6329	Jun.	4.86	5.99	201.6	6048	Jul.	4.89	6.21	209.2	6484	Ago.	5.83	6.87	231.2	7187	Set.	5.57	5.96	200.6	6019	Out.	5.46	5.32	179.2	5556	Nov.	5.13	4.67	167.1	4712	Dez.	5.31	4.64	166.3	4844	Ano	5.23	5.55	188.9	68201		
	Gl. horiz.	Coll. Plane	System output	System output																																																																										
	kWh/m ² .dia	kWh/m ² .dia	kWh/dia	kWh																																																																										
Jan.	5.27	4.89	157.8	4891																																																																										
Fev.	5.52	5.23	178.0	4928																																																																										
Mar.	5.10	5.20	175.0	5425																																																																										
Abr.	5.11	5.74	193.2	5797																																																																										
Mai.	4.97	6.07	204.2	6329																																																																										
Jun.	4.86	5.99	201.6	6048																																																																										
Jul.	4.89	6.21	209.2	6484																																																																										
Ago.	5.83	6.87	231.2	7187																																																																										
Set.	5.57	5.96	200.6	6019																																																																										
Out.	5.46	5.32	179.2	5556																																																																										
Nov.	5.13	4.67	167.1	4712																																																																										
Dez.	5.31	4.64	166.3	4844																																																																										
Ano	5.23	5.55	188.9	68201																																																																										

A2) Especificações Técnicas do Módulo CS6K 270P (Fonte: Canadian Solar Inc.)

MÓDULO / DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)



CS6K-270P / CURVAS I-V



DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Potência nominal máx. (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Corrente operacional opt. (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Tensão circuito aberto (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Corrente curto-circuito (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Eficiência do módulo	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
Temperatura operacional	-40°C ~ +85°C			
Tensão do sistema máx.	1000 V (IEC) ou 1000 V (UL)			
Proteção contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Class. máx. fusíveis em série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

* Sob Condições de Teste Padrão (STC) de irradiação de 1000 W/m², espectro AM de 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

DADOS ELÉTRICOS | NOCT*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Potência nominal máx. (Pmax)	191 W	195 W	198 W	202 W
Tensão operacional opt. (Vmp)	28.0 V	28.2 V	28.3 V	28.5 V
Corrente operacional opt. (Imp)	6.83 A	6.92 A	7.00 A	7.08 A
Tensão circuito aberto (Voc)	34.9 V	35.1 V	35.3 V	35.4 V
Corrente curto-circuito (Isc)	7.36 A	7.45 A	7.53 A	7.63 A

* Sob Temperatura Operacional Normada Célula (NOCT), irradiação de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C, velocidade do vento 1 m/s.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo célula	Policristalina, 6 polegadas
Configuração cél.	60 (6×10)
Dimensões	1650 × 992 × 40 mm (65.0 × 39.1 × 1.57 in)
Peso	18.2 kg (40.1 lbs)
Vidro dianteiro	Vidro temperado de 3.2 mm
Material do marco	Alumínio anodizado
J-Box	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm ² (IEC) ou 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Conectores	T4 series ou PV2 series
Por Pallet	26 peças, 520 kg (1146.4 lbs)
Por Container (40' HQ)	728 peças

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificações	Dados
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.41 % / °C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.31 % / °C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.053 % / °C
Temp. operacional nominal da célula	43±2 °C



A3) Especificações técnicas do inversor SunnyBoy 7000 TLUS 12-240 V (Fonte: SMA)

Technical data	Sunny Boy 7000TL-US	
	208 V AC	240 V AC
Input (DC)		
Max. usable DC power (@ $\cos \varphi = 1$)	7300 W	
Max. DC voltage	600 V	
Rated MPPT voltage range	245 - 480 V	
MPPT operating voltage range	125 - 500 V	
Min. DC voltage / start voltage	125 V / 150 V	
Max. operating input current / per MPP tracker	30 A / 18 A	
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	2	
Output (AC)		
AC nominal power	6000 W	7000 W
Max. AC apparent power	6000 VA	7000 VA
Nominal AC voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V
AC grid frequency; range	60 Hz / 59.3 - 60.5 Hz	
Max. output current	29.2 A	
Power factor ($\cos \varphi$)	1	
Output phases / line connections	1 / 2	
Harmonics	< 4%	
Efficiency		
Max. efficiency	96.8%	96.8%
CEC efficiency	96.5%	96.5%



A4) Características Técnicas do Sistema

PVSYST V6.76		Página 1/3		
Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação				
Projeto :	ITAPACI.GO			
Localização geográfica	Itapaci	País	Brazil	
Localização	Latitude	-14.97° S	Longitude	-49.55° W
Tempo definido como	Tempo legal	Fuso horário TU-3	Altitude	567 m
	Albedo	0.20		
Dados meteorológicos:	Itapaci	Meteonorm 7.2 (2008-2012), Sat=100% - Synthetic		
Variante da simulação : Posto Aranha Simulation3				
	Data da simulação	13/05/19 13h48		
Parâmetros da simulação	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings		
Orientação do plano dos módulos	Inclinação	22°	Azimute	0°
Modelos utilizados	Transposição	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sem horizonte			
Sombras próximas	Sem sombras			
Exigências do consumidor :	Carga ilimitada (rede)			
Características do grupo FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	CS6K - 270P	
Original PVSyst database		Fabricante	Canadian Solar Inc.	
Número de módulos FV		Em série	14 módulos	
Número total de módulos FV		Nr. módulos	140	
Potência global do grupo		Nominal (STC)	37.8 kWp	
Características de funcionamento do grupo (50°C)	Ump	385 V	Em condições de func.	33.9 kWp (50°C)
Superfície total	Superfície módulos	229 m²	I mpp	88 A
			Superfície célula	204 m²
Inversor				
Original PVSyst database		Modelo	Sunny Boy 7000TL-US-22 -240V	
Características	Tensão de funcionamento	245-480 V	Potência unitária	7.00 kWac
Bateria de inversores	N.º de inversores	5 unidades	Potência total	35 kWac
			Rácio Pnom	1.08

A5) Resultados da simulação no software PVSyst

PVSYST V6.76		Página 2/3						
Sistema acoplado à rede: Resultados principais								
Projeto :		ITAPACI.GO						
Variante da simulação :		Posto Aranha Simulation3						
Parâmetros principais do sistema								
Tipo de sistema		No 3D scene defined, no shadings						
Orientação do plano dos módulos		inclinação 22° azimuth 0°						
Módulos FV		Modelo CS6K - 270P Pnom 270 Wp						
Grupo FV		Número de módulos 140 Pnom total 37.8 kWp						
Inversor		Modelo Sunny Boy 7000TL-US-22 -240V 7.00 kW ac						
Bateria de inversores		Número de unidades 5.0 Pnom total 35.0 kW ac						
Exigências do consumidor		Carga ilimitada (rede)						
Resultados principais da simulação								
Produção do sistema		Energia produzida 62.07 MWh/ano Prod. específica 1642 kWh/kWp/ano						
		Índice de performance (PR) 81.97 %						
<p>Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 37.8 kWp</p> <p>Índice de performance (PR)</p>								
Posto Aranha Simulation3								
Balances e resultados principais								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	
Janeiro	158.4	76.60	23.10	142.0	138.1	4.572	4.396	0.819
Fevereiro	155.1	71.40	23.00	146.2	142.5	4.686	4.514	0.817
Março	166.8	83.70	22.72	168.3	164.3	5.408	5.218	0.820
Abril	158.7	61.20	22.43	175.6	171.9	5.619	5.424	0.817
Mai	154.7	52.40	21.09	185.3	182.1	5.964	5.759	0.822
Junho	150.0	33.60	19.55	190.2	187.4	6.164	5.954	0.828
Julho	165.9	33.80	19.90	208.2	205.0	6.698	6.473	0.823
Agosto	176.4	49.60	21.40	205.0	201.5	6.549	6.328	0.816
Setembro	170.1	59.40	22.99	178.9	175.3	5.649	5.450	0.806
Outubro	155.3	86.50	24.14	150.5	146.6	4.830	4.651	0.818
Novembro	133.8	83.70	22.46	122.5	118.9	3.997	3.840	0.829
Dezembro	148.2	79.10	22.80	130.5	126.6	4.228	4.063	0.824
Ano	1893.4	771.00	22.13	2003.3	1960.2	64.363	62.072	0.820
Legendas:	GlobHor	Irradiação global horizontal	GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras				
	DiffHor	Irradiação difusa horizontal	EArray	Energia efetiva à saída do grupo				
	T_Amb	Temperatura ambiente	E_Grid	Energia injetada na rede				
	GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	PR	Performance Ratio (Quociente de performance)				