

## **POWER TREE - ÁRVORE GERADORA DE ENERGIA - CAMPUS ITATIBA**

Larissa Bueno Tescarolo <sup>1</sup>

Marcus Fabio Abel Pinto <sup>1</sup>

Annete Silva Faesarella <sup>2</sup>

Universidade São Francisco – Campus Itatiba

lariitescarolo1999@gmail.com | fabio63399@gmail.com |

annete.faesarella@usf.edu.br

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Engenharia Elétrica

<sup>2</sup>Professor Orientador

### **RESUMO**

O presente artigo tem como objetivo desenvolver na Universidade São Francisco - Campus Itatiba, o projeto de uma árvore geradora de energia solar - *Power Tree* - com módulos fotovoltaicos, ligada à rede de distribuição de energia elétrica da CPFL que supre a energia da Universidade São Francisco de Itatiba, São Paulo. O projeto inclui todos os cálculos para dimensionamento da estrutura de painéis solares, inversores, equipamentos de proteção e desenho da árvore, sendo feita uma pesquisa no mercado escolhendo os modelos de equipamentos que se adequam ao sistema. O resultado foi o dimensionamento da *PowerTree* que contará com 10 módulos fotovoltaicos de 425W. Além de trazer sombra e conforto para os usuários, ela contém tomadas para o carregamento de dispositivos eletrônicos comportando até 10 pessoas em uso simultâneo. A partir dos cálculos obteve-se como resultado que a *Power Tree* pode suprir 72% da energia consumida no prédio 3 da universidade, abatendo cerca de R\$22.340,45 da conta de luz. O artigo conta com uma estimativa financeira de custos para realização do projeto de R\$ 26.771,36 , análise das vantagens e *payback* de aproximadamente 1,2 meses.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar, sustentabilidade, sistema fotovoltaico, economia de energia.

### **ABSTRACT**

This article aims to develop a project for a solar energy generating tree - *Power Tree* - with photovoltaic modules, connected to the CPFL electric energy distribution network that supplies the energy of the São Francisco de Itatiba University, São Paulo. The project includes all calculations for dimensioning the structure of solar panels, inverters, protection equipment and tree design, with a market research being carried out, choosing the equipment models that fit the system. The result was the dimensioning of the *PowerTree*, which will feature 10 425W photovoltaic modules. In addition to bringing shade and comfort to users, it contains sockets

for charging electronic devices with capacity for up to 10 people in simultaneous use. From the calculations, it was obtained as a result that PowerTree can supply 72% of the energy consumed in building 3 of the university, deducting part of the value from the electricity bill. The article has a financial estimate of costs for carrying out the project, analysis of the advantages and calculation of the investment payback, with a better cost-benefit ratio at the end of the estimate.

## **INTRODUÇÃO**

Sustentabilidade é o uso de recursos naturais para suprir necessidades sem que isso possa agredir o meio ambiente a curto, médio e longo prazo e juntando o benefício da sustentabilidade com a geração de energia dá-se o nome de energia limpa, citando como grande potencial no Brasil a geração de energia solar fotovoltaica.

O sol é considerado uma fonte de energia inesgotável, os raios solares são absorvidos pela terra através dos mares, nuvens e massas terrestres (TERRA, 2019). O Brasil por sua vez possui irradiação média anual entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano (SOLARGIS, 2020), isso se dá devido sua localização geográfica tendo grande parte do seu território próximo a linha do equador, e mesmo nos territórios brasileiros com menor incidência seu potencial para geração de energia fotovoltaica ainda é maior que em alguns países Europa (CENSOLAR, 2020).

A quantidade de irradiação adquirida pode ser aproveitada com os painéis fotovoltaicos que tem como função fazer a conversão da energia solar em energia elétrica sem gerar poluição atmosférica.

Chama a atenção o uso da energia solar no Brasil, com base em dados da ABSOLAR essa energia corresponde a 1,7% da matriz energética sendo 72,6% do montante usado para aproveitamento em residências, visando a economia na conta de energia, ou aquecimento da água (PORTAL SOLAR, 2019).

Uma das formas de aproveitamento da energia solar é sua utilização nas “árvores geradoras de energia” que consistem em estruturas em forma de torre, com placas fotovoltaicas na extremidade superior e pontos de energia disponíveis na sua base.

Um exemplo onde a energia solar fotovoltaica foi aplicada foi na instalação de uma árvore solar na Universidade Estadual do Ceará com o intuito de carregar bicicletas elétricas (PORTAL SOLAR, 2019).

O presente artigo tem como foco um projeto de uma árvore solar, a *Power Tree*, na Universidade São Francisco de Itatiba -SP. Nesse projeto, apresenta-se uma árvore que em

suas ramificações será de placas fotovoltaicas. Sua função será gerar sombra, iluminação, conforto para as pessoas que forem usá-la, contará com entradas USB e tomadas para o carregamento de dispositivos eletrônicos e estará ligada à rede elétrica podendo assim gerar crédito no consumo de energia da universidade.

Para a *Power Tree* existia uma parceria com o curso de arquitetura e ainda, a utilização de uma ferramenta para o cálculo da irradiação solar, considerando a quantidade de incidência da luz solar no local, sombra causada pelos edifícios, e demais fatores naturais que podem influenciar no projeto.

O projeto engloba todo o conceito relacionado com a geração de energia de painéis fotovoltaicos, análise da quantidade da irradiação solar no Brasil e uma pesquisa referente aos materiais que são usados e seus funcionamentos como os inversores de frequência, sistema on-grid e sistema de proteção.

Após o término deste artigo, sejamos capazes de concluir a viabilidade da implementação da *Power Tree* considerando o custo de implementação.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

O presente artigo apresenta no referencial teórico os principais conceitos necessários para o estudo e entendimento de uma árvore geradora de energia com placas fotovoltaicas. É abordado o conceito da geração de energia e funcionamento das placas fotovoltaicas, os componentes usados como o inversor e sistema de proteção e a irradiação solar no Brasil. Com essas informações será feito o estudo de caso da *Power Tree* na cidade de Itatiba e as vantagens que ela apresenta.

### *GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA*

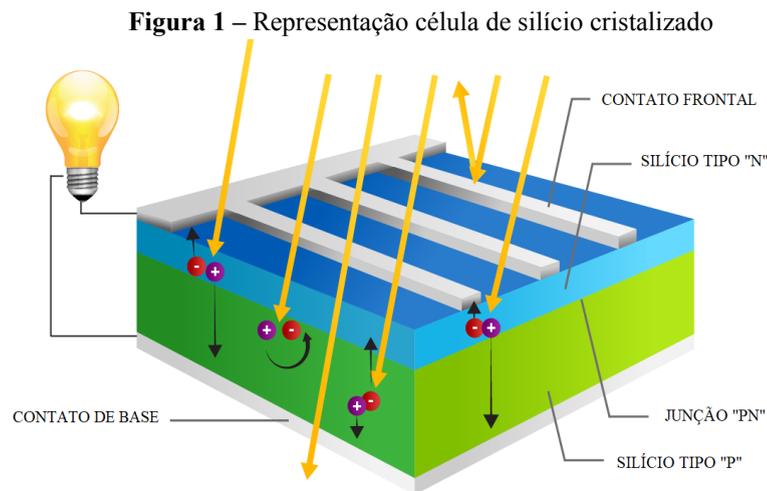
A energia solar é transmitida por meio da radiação que é uma energia gerada no interior do sol quando ocorre uma fusão em alta velocidade entre átomos de hidrogênio que geram átomos de hélio, essa energia é a que chega na superfície da atmosfera e irradia em diversas direções durante seu percurso até o solo.

Uma das maneiras de se aproveitar essa energia é com o sistema solar para a geração de energia elétrica, através de placas fotovoltaicas.

Os materiais fotovoltaicos são constituídos por uma estrutura cristalina, esses cristais apresentam uma banda de energia, que pode conter ou não elétrons. Na tabela periódica

elementos com quatro elétrons em sua camada de valência, um deles é o Silício (Si) que é um material semiconductor e mais usado para a fabricação das placas fotovoltaicas, sendo que para isso um cristal de silício precisa passar por uma combinação com átomos de fósforo (P) chamado tipo N e Boro (B) chamado tipo P. Quando ocorre a junção P-N criando duas camadas opostas, uma positiva e outra negativa, um campo elétrico surge nessa junção. (REIS, Lineu Belico Dos. Geração de Energia Elétrica. 2000)

Na célula fotovoltaica essas camadas são coladas juntas conforme Figura 1:

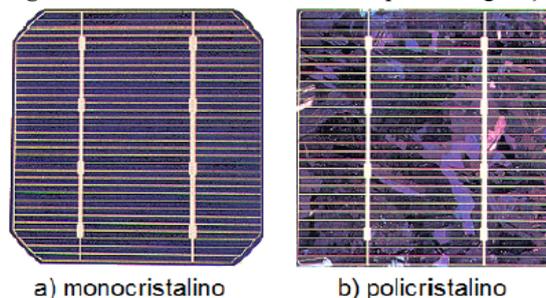


Fonte: Bluesol

Quando os fótons, que são as partículas contidas na luz, atingem essa célula, ocorre uma reação com os átomos de silício e faz com que os elétrons se desloquem, gerando uma diferença de potencial, chamada de efeito fotovoltaico (Energia Solar Fotovoltaica, BLUESOL).

As células fotovoltaicas de silício predominantes no mercado podem ser do tipo policristalino (p-Si) e monocristalino (m-Si) apresentadas na Figura 2, que usa a tecnologia de filmes finos com Si amorfo que podem ser dobrados ou prensados internamente com vidro. A maior vantagem dessas células é que não causam danos ao meio ambiente e nem à saúde, isso pois 60% da crosta terrestre é composta por quartzo ou dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ).

**Figura 2 - Células fotovoltaicas de primeira geração**



Fonte: Suniva

As células policristalinas possuem diversas dimensões e orientações, o Si é derretido e colocado em moldes em formato de bloco, os cristais não formam uma estrutura única durante a solidificação e eles são cortados em finas fatias na forma de lâminas que se dá o nome de *Waffers* (NETO, 2012).

Já nas células monocristalinas o silício passa por um processo em que seus átomos formam um único cristal, esse cristal é cortado em secção semi quadrada e fatiado também em lâminas, seus cantos são recortados em formato de um octógono, esses por sua vez são mais eficientes, sendo essa a razão de ser o mais utilizado no mercado atualmente (REIS,2000).

### *INVERSORES DE FREQUÊNCIA*

Um dos principais módulos de um sistema fotovoltaico seguindo de suas placas são os inversores de frequência. O painel solar define a corrente de saída como corrente contínua, porém o uso da corrente se dá em corrente alternada e essa é a função do inversor, converter a energia CC (Corrente Contínua) em CA (Corrente Alternada) na tensão adequada para o sistema.

Atualmente existem dois tipos de inversores: os *off-grid* e os *on-grid*, que significa respectivamente desconectados também chamados de autônomos e os conectados à rede elétrica. Os inversores autônomos são inversores que ficam isolados da rede e trabalham conectados às placas fotovoltaicas e às baterias de armazenamento de energia que garantem o seu funcionamento mesmo em dias sem sol, ou seja, ele se sustenta através das baterias. Já os inversores conectados à rede chamados também de *grid-tie* direciona automaticamente para a rede elétrica como corrente alternada.

O principal inversor usado em sistema *on-grid* é o *Grid-Tie*, onde sua característica é sincronizar sua frequência com a tensão de saída e quando o sistema está sem energia ele automaticamente isola o sistema fotovoltaico da rede, esse é um requisito internacional de segurança para que não ocorra acidentes (Inversor Grid-Tie. Portal Solar).

Para uso dos inversores de frequência é ideal o conhecimento da folha de dados, pois nela está presente a potência nominal que pode variar mas a faixa comum é de 10 à 2.000W, a tensão de saída que normalmente é 110V ou 220V, sua eficiência máxima que deve ser acima de 94%, além dessas informações a maioria dos *Grid-Tie* usam 1 MPPT, que significa em português rastreamento do ponto máximo de potência. Esse recurso garante que os módulos fotovoltaicos operem sempre no modo máximo de potência e conseqüentemente geração o

máximo de energia e por último apresenta o grau de proteção IP (Inversor *Grid-Tie*. Portal Solar).

A escolha do inversor é feita após o cálculo da quantidade de painéis fotovoltaicos que serão usados para que assim sejam definidos os parâmetros e dimensionamentos do sistema para que o inversor não seja danificado.

### *SISTEMA DE PROTEÇÃO*

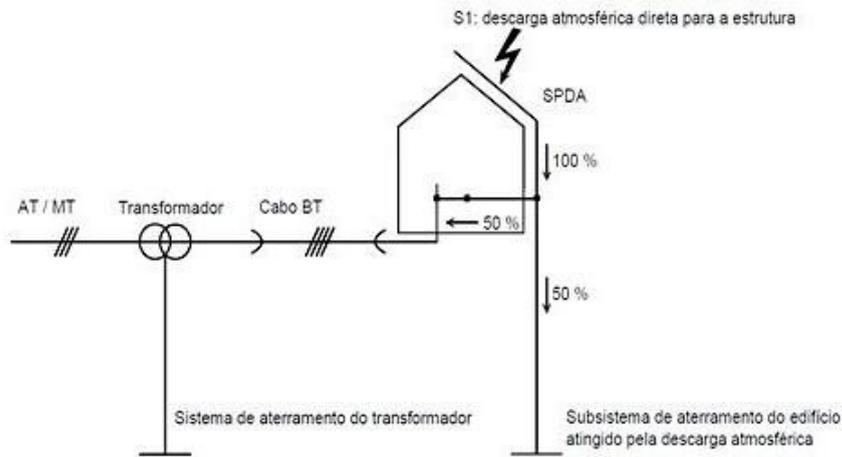
Os sistemas com placas fotovoltaicas assim como todo sistema elétrico ficam expostos a situações comuns como descargas atmosféricas e condições naturais como chuva que precisam ser protegidos. Segundo a ECOSOLYS o Brasil nos últimos seis anos chegou a uma média de 77,8 milhões de raios por ano (Como proteger um sistema voltaico. ECOSOLYS).

Para essa proteção temos três itens que devem ser levados em consideração, são eles: Sistema de aterramento, sistema contra descargas atmosféricas (*SPDA*) consideradas as descargas diretas, dispositivo de proteção contra surtos (*DPS*) para descargas indiretas e também *String-Box* para a proteção dos módulos e inversores.

As descargas ocorrem a partir do acúmulo de cargas opostas em nuvens e quando ocorre essa forte atração e o ar que os circundam não é o suficiente para isolá-los e então é provocada a descarga. Quando descargas atingem diretamente as instalações do sistema fotovoltaico para qual não se tem um sistema de proteção *SPDA*, ocorre que energia irá buscar caminhos alternativos para o aterramento, nesse caso ocorre as sobretensões danificando o sistema e podendo causar acidentes.

Com o *SPDA* instalado a corrente da descarga elétrica passa por um malha de aterramento que será direcionada para o solo, isso é feito com todos os módulos e partes metálicas. Segundo a norma *ABNT NBR 5419* estabelece uma distância de 1 metro entre a estrutura e o para raio. Observa-se na Figura 3 a propagação da descarga elétrica com a proteção *SPDA*.

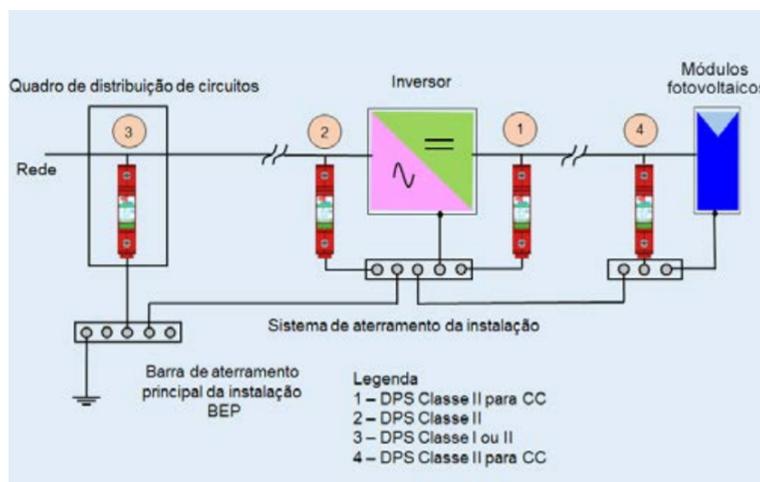
**Figura 3 - Propagação da descarga atmosférica com proteção SPDA.**



Fonte: Google, 2021.

O sistema de proteção indireto chamado de DSP ocorre uma irradiação do campo eletromagnético gerado mesmo que o raio ocorra a quilômetros de distância de um sistema, pois as descargas são da ordem de milhões de Joules (MJ). O DSP é ligado entre a fase e o aterramento. A Figura 4 representa o diagrama de um sistema de proteção DSP.

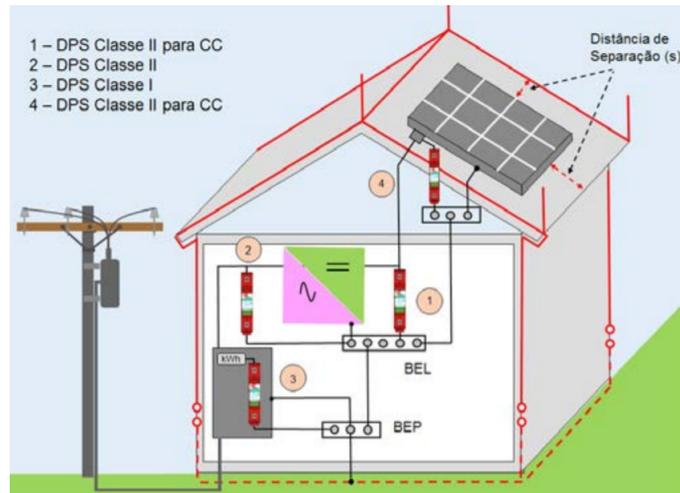
**Figura 4 - Diagrama DPS**



Fonte: Clamper, 2021

O sistema de proteção contra surtos detecta as sobretensões desviando-as para o aterramento, o circuito desse sistema funciona como circuito aberto e quando ocorre o surto de tensão ele se torna um circuito fechado trabalhando com variação da impedância fase-neutro ou terra. (O que é DSP. Canal Solar). Os sistemas de proteção contra surtos podem ou não estar conectados ao SPDA conforme figura 5.

**Figura 5** - Esquema de localização e tipo dos DPS em um sistema fotovoltaico com módulos não conectados ao SPDA.



Fonte: Clamper, 2021.

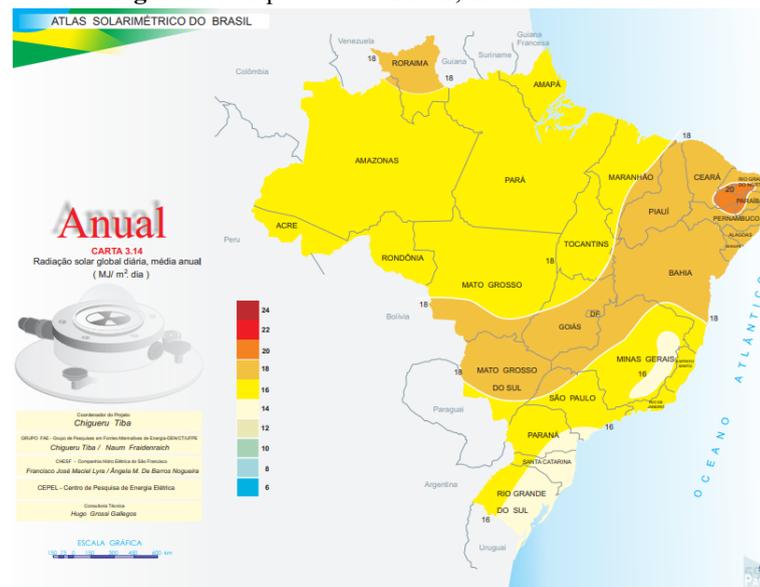
Outro equipamento que também é usado é o *String-Box* que se trata do quadro elétrico instalado entre os painéis e o inversor, e este quadro pode conter dispositivos de proteção variando de acordo com a necessidade do sistema, normalmente chaves e fusíveis.

### *CONCENTRAÇÃO DA ENERGIA SOLAR*

Para que seja possível a elaboração de um projeto de geração de energia elétrica com placas fotovoltaicas, é necessário que seja feito um estudo solarimétrico da região onde é localizado o projeto, ou seja, calcular a quantidade de raios solares que atingem a região ao longo do tempo. Para que esses dados existam, é feito um longo e importante estudo, com base em mais de um ano de amostras coletadas para que o resultado se torne relevante e confiável e assim concluir se vale ou não a pena a implementação do projeto.

Atualmente existem instituições responsáveis por essas pesquisas, como por exemplo o CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito) e a CENSOLAR. Na figura 6 é possível conferir o mapa solarimétrico do Brasil.

**Figura 6 - Mapa solar do Brasil, média anual**



*Fonte:* Cresesb, 2021.

No mapa é possível observar que os maiores e melhores índices de radiação pertencem a região do Nordeste brasileiro, o que significa que é nessa região onde os painéis fotovoltaicos terão seu melhor rendimento, diferente da região sul do país, onde a incidência dos raios é consideravelmente menor. Ainda nas regiões de menor incidência solar, o Brasil apresenta grandes vantagens na recepção desses raios solares para a geração de energia fotovoltaica.

### *ÁRVORE GERADORA DE ENERGIA*

O conceito de árvore geradora de energia vem sendo estudado cada vez mais nos últimos anos por pesquisadores ao redor de todo o mundo, desenvolvendo e valorizando a geração de energia solar e renovável. O *design* é como uma árvore, seu tronco é substituído por uma estrutura metálica com ramificações onde são instaladas as placas fotovoltaicas. A construção dessas árvores pode ocupar 1% do espaço em relação a um sistema plano de mesma potência (MAITY, 2013).

Para locais públicos e com áreas pequenas disponíveis para a instalação a árvore geradora de energia apresenta grandes vantagens como a capacidade de atender uma alta demanda energética que pode ser conectada à rede e além de gerar energia o *design* da árvore pode fornecer iluminação, com bancos em sua volta para o conforto, carregamento de dispositivos eletrônicos, ou seja, são multifuncionais.

No Brasil já temos algumas árvores solares instaladas em alguns estados, o projeto pioneiro foi inaugurado em fevereiro de 2017 no estado de Fortaleza, Ceará, na Universidade Estadual do Ceará – UECE como mostra a figura 7.

**Figura 7 -** Árvore solar inaugurada no campus Itaperi – UECE



**Fonte:** Bluesol

Composta por dez placas fotovoltaicas que estão instaladas em formato de folha além de chamar a atenção com seus 10 metros de altura a árvore tem a função de carregar bicicletas elétricas, gerando 500 kW/mês de potência ela é capaz de carregar até dez bicicletas por dia, abastecidas em torno de quatro horas e possui entradas USB para o carregamento de dispositivos eletrônicos. (PORTAL MEC, 2018)

O engenheiro responsável pelo projeto, Jonas Becker, detalha que quando carregadas as bicicletas elétricas podem durar até 5 horas alcançando uma velocidade de 45km/h. Quando as bicicletas não estiverem sendo carregadas a energia será repassada para a rede pública a fim de gerar créditos energéticos que possam ser usados posteriormente para compensar a energia consumida da rede. (BLUESOL, 2017)

Outros estados como São Paulo, Rio de Janeiro e Goiás também instalaram modelos de árvores geradoras de energia.

Além de todas as vantagens apresentadas, as árvores solares trazem o aumento da conscientização da importância das fontes de energias renováveis e seus benefícios ambientais, que podem fornecer sombra e gerar uma grande economia no custo de energia elétrica quando conectada à rede. Os painéis apresentam longa vida útil e necessitam de pouca manutenção.

O investimento nesse sistema possui baixo *payback*, ou seja, rápido tempo de retorno do investimento.

## METODOLOGIA

No presente artigo será realizado o projeto da *Power Tree* na universidade São Francisco de Itatiba-SP, através do dimensionamento de um sistema fotovoltaico que seja capaz de gerar energia para que os usuários possam recarregar seus dispositivos eletrônicos e gerar créditos para a rede da universidade. Para esse fim, serão realizados todos os cálculos para determinar a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários, considerando a incidência solar no local..

Por fim, será avaliado o custo *versus* benefícios através do cálculo do tempo de *payback* através da economia de energia mensal.

## IRRADIAÇÃO SOLAR

A fim de saber a irradiação solar mensal será usado a ferramenta *Sundata* da CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, o local escolhido para a instalação da *Power Tree* foi na entrada lateral do prédio 2 da USF, conforme figura 8.

**Figura 8** - Local de instalação da *PowerTree*



Fonte - Google Maps

Para cálculo da irradiação nesse local inserimos as coordenadas cuja latitude é de 23° 0' e 2.365'' e longitude é de 46° 50' e 43.329'', onde os resultados podem ser analisados conforme Tabela 1.

**Tabela 1 - Dados de Irradiância solar**

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	5,52	5,81	5,07	4,61	3,77	3,51	3,67	4,62	4,78	5,39	5,68	6,09	4,88	2,58
☑	Ângulo igual a latitude	23° N	5,00	5,54	5,22	5,25	4,68	4,59	4,69	5,51	5,10	5,26	5,20	5,41	5,12	,95
☑	Maior média anual	21° N	5,07	5,59	5,23	5,22	4,63	4,52	4,62	5,46	5,10	5,30	5,26	5,49	5,12	1,07
☑	Maior mínimo mensal	29° N	4,78	5,37	5,15	5,31	4,83	4,78	4,87	5,63	5,09	5,13	4,99	5,15	5,09	,86

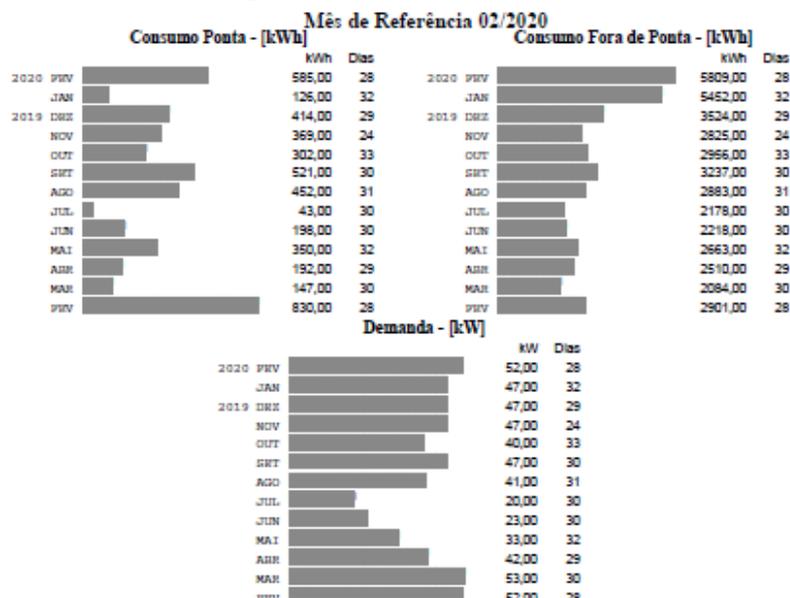
Fonte - *sundata*

Conclui-se que a melhor média é de 5,12 kWh/m<sup>2</sup> que é para o ângulo igual a latitude e o ângulo que fornece maior média anual.

### CONSUMO ENERGIA USF

Segundo dados obtidos com a Universidade, atualmente existem três demandas de energia, uma para cada prédio, nesse projeto será considerado apenas o prédio 3, com isso foi informado que a USF possui um gasto mensal de 15 mil reais e pode-se observar o consumo de ponta (HP) e fora de ponta (HFP) e a demanda conforme figura 9.

**Figura 9 - Demonstrativo de consumo mensal**



Fonte - Universidade São Francisco

Junto a esses dados, a universidade informou que possui a quantidade de 4.000 alunos, sendo 300 no período matutino.

### DIMENSIONAMENTO DA POWER TREE

Para dimensionamento do sistema fotovoltaico o primeiro cálculo a ser realizado é a potência que o sistema fotovoltaico obtém, para isso usamos a equação 1.

$$P_{FV} = \frac{C}{Irr \cdot F} \quad [1]$$

Em que:

- $P_{FV}$  é a potência do sistema fotovoltaico, em kWp.
- $C$  é o consumo anual de energia, em kWh/ano
- $Irr$  é a radiação solar local (em kWh/m<sup>2</sup>/ano) no plano de instalação dos painéis
- $F$  é o fator de performance do sistema

Para o fator de performance deve ser considerado as perdas do sistema assim usamos o valor base entre 0,7 e 0,9.

Deve-se calcular também a quantidade de módulos do sistema a partir da equação 2.

$$Qp = \frac{Pp}{Ppe} \quad [2]$$

Em que:

- $Qp$  é a quantidade de painéis
- $Pp$  é a potência total
- $Ppe$  é a potência específica do painel

Para saber a potência requerida pelos dispositivos a serem carregados, utiliza-se a equação 3.

$$Ah \cdot V = Wh \quad [3]$$

Em que:

- $Ah$  é a corrente (amperes/hora)
- $V$  é a tensão (Volts)
- $Wh$  é a potência requerida pelo dispositivo (Watt/hora)

### **RESULTADOS OBTIDOS**

Para execução do projeto, será utilizado o módulo fotovoltaico da marca *QCELLS* modelo *Q.PEAK DUO L-G6 (QCELLS, 2021)* de material Monocristalino, aplicando ao

sistema será considerado um rendimento de 85%. Dados disponíveis em seu *datasheet*, mostrado na figura 10.

**Figura 10:** Dados técnicos do módulo fotovoltaico.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS							
POWER CLASS			405	410	415	420	425
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC <sup>1</sup> (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)							
Minimum	Power at MPP <sup>1</sup>	P <sub>MPP</sub> [W]	405	410	415	420	425
	Short Circuit Current <sup>1</sup>	I <sub>SC</sub> [A]	10.65	10.70	10.74	10.79	10.83
	Open Circuit Voltage <sup>1</sup>	V <sub>OC</sub> [V]	48.14	48.38	48.63	48.88	49.13
	Current at MPP	I <sub>MPP</sub> [A]	10.14	10.18	10.23	10.27	10.32
	Voltage at MPP	V <sub>MPP</sub> [V]	39.95	40.27	40.58	40.89	41.20
	Efficiency <sup>1</sup>	η [%]	≥18.9	≥19.1	≥19.4	≥19.6	≥19.8
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NMOT <sup>2</sup>							
Minimum	Power at MPP	P <sub>MPP</sub> [W]	303.1	306.9	310.6	314.4	318.1
	Short Circuit Current	I <sub>SC</sub> [A]	8.58	8.62	8.65	8.69	8.73
	Open Circuit Voltage	V <sub>OC</sub> [V]	45.38	45.62	45.86	46.09	46.33
	Current at MPP	I <sub>MPP</sub> [A]	7.98	8.01	8.05	8.09	8.12
	Voltage at MPP	V <sub>MPP</sub> [V]	37.99	38.29	38.59	38.88	39.17

Fonte: QCELLS, 2021

A *Power tree* contará com 10 módulos de 425 W cada e desta forma a potência CC disponibilizada pelo sistema é calculada pela equação 2.

$$Qp = \frac{Pp}{Ppe} \rightarrow 10 = \frac{Pp}{425} \rightarrow Pp = 4.25Wp \text{ ou } 4,25 kWp$$

Desta forma a potência do sistema CC é de 4,25 kWp.

Para definir a demanda calcula-se o consumo anual suprido pela *Power Tree*, dado pela equação 1.

$$P_{FV} = \frac{C/Irr}{F} \rightarrow 4,25 = \frac{C/(5,120*365)}{0,85} \rightarrow 4,25 = \frac{C/1868,8}{0,85} \rightarrow$$

$$\rightarrow 3,62 = \frac{C}{1868,8} \rightarrow C = 6.751,04 kWh/ano$$

De acordo com o cálculo acima, a *PowerTree* pode suprir:

- 6.751,04 kWh/ano
- 562,59 kWh/mês
- 18,76 kWh/dia

Para a escolha do inversor leva-se em consideração que ele deve ter no mínimo 75% da potência do sistema fotovoltaico, então:

- Potência sistema CC = 4,25 kWp
- Potência sistema AC = 4,25 \* 0,75 = 3,19 kW

Para essa situação, foi escolhido o inversor da marca Fronius, modelo Primo 4.0-1 de 4 kW, conforme indicado na figura 11:

**Figura 11:** Inversor escolhido.

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12,0 A / 12,0 A	
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	18,0 A / 18,0 A	
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V	
Tensão de alimentação inicial (U <sub>dc start</sub> )	80 V	
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V	
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V	
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	200 - 800 V	210 - 800 V
Numero de rastreadores MPP	2	
Número de entradas DC	2 + 2	
Certificado INMETRO	Concessão: 002132/2016	Concessão: 002130/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150	
DADOS DE SAÍDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	3,000 W	4,000 W
Max.potência de saída	3,000 VA	4,000 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	13,0 A	17,4 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)	
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Distorção harmônica total	< 5 %	
Fator de potência (cos φac,r)	0,85 - 1 ind. / cap.	

**Fonte:** Fronius, 2021

Para saber a potência requerida pelos dispositivos a serem carregados, utiliza-se a equação 3.

$$Ah * V = Wh \quad [3]$$

A bateria dos celulares da atualidade possuem uma autonomia média de 5000mAh com um carregador padrão de 5V, isso equivale a 25 Wh por celular, no caso de um carregador turbo com a mesma capacidade porém com um carregador de 12 V, tem-se um consumo de 60 Wh, pode-se então considerar uma média de 37,5 Wh por estudante que usar a *Power Tree* para uma recarga de seu *smartphone*.

No caso de *laptops*, tem-se uma média de 6 células/bateria em cada *laptop* do mercado, o que equivale a uma autonomia média de 4400mAh a 5200mAh, ou seja, para cada *laptop* carregado, considerando que suas fontes têm entre 15V a 20V, obtém-se um consumo médio de 66Wh a 104 Wh.

Com base em informações da universidade, são 400 estudantes no período diurno e 2600 no período noturno. A *Power Tree* terá capacidade para 10 pessoas em uso simultâneo, por aproximadamente uma hora, o que resulta em um consumo de 375 kWh no caso de 10 celulares ou 1,04 kWh no caso de 10 *laptops*, uma média de 707,5Wh

Supondo que os estudantes usem a árvore durante 10 horas por dia, durante 22 dias do mês (exclusos finais de semana), tem-se um consumo médio de:

- 7,08 kWh/dia
- 155,65 kWh/mês
- 1.867,80 kWh/ano

Com base nos cálculos de geração de energia, pode-se obter este resultado de forma simples. Sabe-se que *PowerTree* pode suprir 6.751,04 kWh/ano e que a demanda dos estudantes é de 1.867,8 kWh/ano, ao subtrair esses valores tem-se:

$$6.751,04 - 1.867,8 = 4.883,24 \text{ kWh/ano}$$

Pode-se observar que a *PowerTree* abaterá um total de 4.883,24 kWh da conta de luz da universidade, anualmente, equivalente a 72% de energia.

Com a ajuda do arquiteto Vinicius Padovani foi projetado o desenho da árvore geradora de energia, observa-se o resultado na Figura 12.

**Figura 12:** *PowerTree*.



A *Power Tree* contará com 10 ramificações com módulos fotovoltaicos, um tronco de material de fibra de vidro e 10 tomadas para o carregamento dos dispositivos eletrônicos, seu banco e sua mesa será de madeira. A árvore contém um dimensionamento de 10 metros de altura e 8,5m de largura, as placas fotovoltaicas possuem 2,080m de altura, 1,030m de largura e 0,035m de espessura.

Conforme pode-se observar na imagem em um determinado momento do dia o prédio irá fazer sombra na árvore, isso ocorrerá por volta das 3:30PM, logo, a árvore irá receber raios solares considerando um dia de céu aberto até esse horário.

### SISTEMA DE PROTEÇÃO

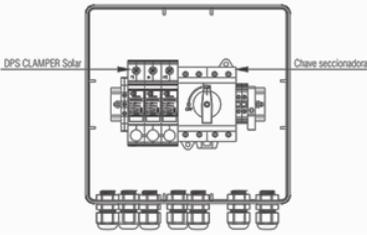
Para a segurança da *Power Tree* e seus usuários, será utilizado uma *String Box* da marca *CLAMPER*, modelo *Solar SB 1000 V 1-2E/1S*, a qual conta com dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e dispositivo de seccionamento do circuito entre o módulo fotovoltaico e o inversor.

O dimensionamento foi realizado de acordo com a tensão de entrada do inversor que é de 80 até 1000V, como pode-se observar na figura 11. Ressalta-se que a *String Box* faz parte do sistema de proteção DC da *PowerTree*. Na figura 13 encontra-se o *datasheet* da *String Box*.

**Figura 13:** Datasheet *String Box*.

Características técnicas	Unid.	CLAMPER Solar SB
Código CLAMPER	-	013413
Norma aplicável	-	IEC 61643-31
Nº de entradas	-	1 ou 2
Nº de saídas	-	1
Seção dos condutores	mm <sup>2</sup>	4
Tensão nominal de operação - U <sub>n</sub>	V <sub>cc</sub>	1.000
Corrente de carga nominal - I <sub>n</sub>	A	13
Potência máxima - W <sub>max</sub>	W	13.000
Temperatura de operação	°C	-40 ... +70
Involucro	-	Material com características de não propagação e auto-extinção do fogo (ABS + aditivo UV)
Grau de proteção	-	IP65
Peso aproximado	kg	1,5
Dimensões máximas	mm	215 x 210 x 100 (C x A x P)

Estrutura do produto



**Fonte:** Clamper, 2021

## ESTIMATIVA FINANCEIRA

Para o cálculo de *payback* do projeto, foi elaborada uma planilha de custos da *Power Tree* conforme a figura 14.

**Figura 14** - Planilha de custos/*payback*.

TOTAL PROJETO	QTD	CUSTO TOTAL
INVERSOR FRONIUS 4.0-1	1	R\$ 9.027,36
MÓDULOS Q.PEAK DUO L-G6	10	R\$ 13.489,00
ESTRUTURA	10	R\$ 750,00
STRING BOX	1	R\$ 605,00
CUSTO PROJETO		R\$ 2.000,00
INSTALAÇÃO		R\$ 900,00
<b>TOTAL PROJETO INSTALADO</b>		<b>R\$ 26.771,36</b>
<b>RETORNO DO INVESTIMENTO</b>		
<i>Geração Power Tree</i>	562,59 kWh/mês	
<b>TOTAL ABATIDO</b>	<b>R\$ 22.340,45</b>	
<b>TOTAL GASTO</b>	<b>R\$ 26.771,36</b>	
RETORNO EM MESES	<b>1,20</b>	
RETORNO EM ANOS	<b>0,10</b>	

No retorno do investimento apresentado na tabela da figura 14 em “Geração da *Power Tree*” foi considerado rendimento total, levando-se em conta os créditos obtidos através da geração fotovoltaica, que geram abatimentos na fatura de energia da universidade e ainda a parte utilizada diretamente da *Power Tree*.

Pode-se observar que o tempo previsto para o retorno do investimento feito na *Power Tree* é de aproximadamente 1,2 meses, considerando o rendimento máximo mensal da árvore de 562,59 kWh/mês e bandeira vermelha patamar 1, no valor de R\$ 3.971,00 a cada 100 kWh para cálculo do quanto será abatido mensalmente.

## CONCLUSÃO

O presente artigo atingiu o objetivo de desenvolver a *Power Tree* e é evidente que o projeto se mostra com uma solução eficiente nos quesitos ambientais e econômicos, a partir da estimativa financeira pôde-se concluir que apesar de ser um alto investimento inicial o mesmo possui um tempo de *payback* baixo recuperando o investimento em pouco tempo.

Com os cálculos do dimensionamento dos painéis solares conclui-se que a árvore geradora de energia ligada à rede de distribuição de energia elétrica da Universidade São

Francisco, é capaz de suprir 72% da demanda anual de consumo de energia equivalente a um total de 4.883,24 kWh.

O conceito de árvore fotovoltaica vem ganhando força e sendo utilizada cada vez mais em diversos ambientes e funções, é um tema inovador e sustentável. A *Power Tree* possui um *design* moderno trazendo sombra e conforto para os usuários que forem utilizá-lo carregando seus dispositivos eletrônicos ou apenas descansando, o projeto apresenta grandes vantagens e constitui uma fundamentação teórica abrindo caminho para futuras pesquisas sobre o tema geração de energia solar a partir de sistemas fotovoltaicos.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ÁRVORE SOLAR. Portal Mec. Disponível em :  
<<http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/arvore-solar>>. Acesso em 18, Junho de 2021

ÁRVORE SOLAR NA UNIVERSIDADE DO CEARÁ. BLUESOL. Disponível em :  
<<https://blog.bluesol.com.br/arvore-solar-em-universidade-no-ceara/>>. Acesso em 18, Junho de 2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ INAUGURA ÁRVORE SOLAR. PORTAL SOLAR, 2017. Disponível em: <Universidade Estadual do Ceará inaugura árvore solar>. Acesso em 28, Abril de 2021.

BANDEIRA TARIFÁRIA VERMELHA. ANEEL, 2021. Disponível em:  
<[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-define-que-bandeira-tarifaria-de-julho-custara-r-9-492-valor-sera-analisado-em-consulta-publica/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-define-que-bandeira-tarifaria-de-julho-custara-r-9-492-valor-sera-analisado-em-consulta-publica/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/)>. Acesso em 18, Outubro de 2021.

CENSOLAR, Expertos en formación en Energía Solar, 2020. Disponível em:  
<<https://www.censolar.org>>. Acesso em 10, Abril de 2021.

COMO PROTEGER UM SISTEMA FOTOVOLTAICO. ECOSOLYS. Disponível em:  
<<https://ecosolys.com.br/como-proteger-um-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em 01, Junho 2021.

CLAMPER 2021, disponível em:  
<[https://www.skysollaris.com.br/produtos\\_ver/185/string-box-clamper-2-entradas-e-2-sa-das/](https://www.skysollaris.com.br/produtos_ver/185/string-box-clamper-2-entradas-e-2-sa-das/)>. Acesso em 20, Novembro de 2021.

ENERGIA SOLAR. BLUESOL. Disponível em:  
<<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>>. Acesso em 24, Maio de 2021.

ENERGIA SOLAR NO BRASIL. PORTAL SOLAR, 2019. Disponível em:  
<<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil>>. Acesso em 11, Abril de 2021

FRONIUS, 2021. Disponível em:  
<<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/instaladores-e-parceiros/dados-tecnicos/todos-os-produtos/inversor/fronius-primo/fronius-primo-4-0-1>>. Acesso em 15, Outubro de 2021.

INVERSOR GRID TIE. PORTAL SOLAR. Disponível em:  
<<https://www.portalsolar.com.br/inversor-grid-tie>>. Acesso em 26, Maio de 2021.

MAITY, S. N. Development of solar power tree an innovation that uses up very less land and yet generates much more energy from the sun rays by spv method. Journal of Environmental Nanotechnology, v. 2, p. 59–69, fev. 2013.

NETO, Manuel Rangel Borges; CARVALHO, Paulo. Geração de Energia Elétrica Fundamentos. 2012.

O BRASIL É UM DOS PAÍSES COM MAIOR POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR. TERRA, 2019. Disponível em  
<<https://www.terra.com.br/noticias/dino/o-brasil-e-um-dos-paises-com-maior-potencial-para-geracao-de-energia-solar>>. Acesso em: 11, Abril de 2021.

O QUE É DSP. CANAL SOLAR. Disponível em:  
<<https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em 01, Junho de 2021

QCELLS, 2001. Disponível em:  
<[https://www.q-cells.com/en/main/products/solar\\_panels/G6/g6\\_series03.html](https://www.q-cells.com/en/main/products/solar_panels/G6/g6_series03.html)>. Acesso em 15, Outubro de 2021.

REIS, Lineu Belico Dos. Geração de Energia Elétrica. 2000.

SOLARGIS. Disponível em: <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>> Acesso em 18, Setembro 2021.