

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA

LEONARDO MARQUES PEREIRA PERES

**Dimensionamento de uma usina de geração fotovoltaica para Faculdade de Engenharia -
Câmpus São João da Boa Vista**

São João da Boa Vista

2022

LEONARDO MARQUES PEREIRA PERES

**Dimensionamento de uma usina de geração fotovoltaica para Faculdade de Engenharia -
Câmpus São João da Boa Vista**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações do Campus de São João da Boa Vista, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações .

Orientador: Prof. Dr. André Alves Ferreira

São João da Boa Vista

2022

P437d

Peres, Leonardo Marques Pereira

Dimensionamento de uma usina de geração fotovoltaica para a faculdade de engenharia - câmpus de São João da Boa Vista / Leonardo Marques Pereira Peres. -- São João da Boa Vista, 2022

28 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista

Orientador: André Alves Ferreira

1. Energia solar. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Geração de energia fotovoltaica. 4. Células solares. 5. Geração distribuída de energia elétrica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DIMENSIONAMENTO DE UMA USINA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA**

Aluno: Leonardo Marques Pereira Peres
Orientador: Prof. Dr. André Alves Ferreira

Banca Examinadora:

- André Alves Ferreira (Orientador)
- Genilson Julião do Carmo (Examinador)
- Wilian Miranda dos Santos (Examinador)

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no prontuário do aluno (Expediente nº 055/2022)
--

São João da Boa Vista, 21 de julho de 2022

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso apresenta um dimensionamento de uma usina fotovoltaica para a Faculdade de Engenharia – Câmpus de São João da Boa Vista com o objetivo de mostrar de forma prática como chegar na quantidade necessária de geração de potencia, analisar diversos aspectos que podem ser negativos e impedir um rendimento melhor do sistema e entender como um gerador fotovoltaico funciona, apresentando seus equipamento e mostrando quais métricas são usadas hoje para escolher equipamentos de qualidade e que entreguem um bom rendimento. Com diversas formas hoje de dimensionar sistemas, é apresentado o raciocínio lógico para os cálculos que muitas vezes são apenas feitos por planilhas e software, que também são indispensáveis, pois tem uma precisão melhor de perdas e efeitos climáticos. O dimensionamento para a Faculdade de Engenharia – Câmpus de São João da Boa Vista necessita de uma usina fotovoltaica com geração de 159,72 kWp, sendo enquadrada em Minigeração, mas para um projeto inicial, uma usina menor com geração de 74,27 kWp é considerada como Microgeração e simplifica etapas de instalação. Além de um efeito econômico, uma usina fotovoltaica se mostra uma grande ação positiva para um mundo mais sustentável, já que é uma energia 100% limpa e que se mostra promissora no mercado, também resulta com grande economia nos gastos mensais e retorno do investimento com o tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar; Sistemas de energia fotovoltaica; Geração de energia fotovoltaica; Células solares; Geração distribuída de energia elétrica.

ABSTRACT

This work presents a design of a photovoltaic plant for the Faculdade de Engenharia – Câmpus de São João da Boa Vista with the objective of showing in a practical way how to reach the necessary amount of generation, analyze several aspects that can be negative and prevent a better performance of the system and learn how a photovoltaic generator works, presenting their equipment and showing which metrics are used today to choose quality equipment that delivers a good performance. With today's different ways of sizing systems, logical reasoning is presented for calculations that are often only done by spreadsheets and software, which are also indispensable, as they have a better accuracy of losses and climatic effects. The dimensioning for Faculdade de Engenharia – Campus de São João da Boa Vista requires a photovoltaic plant with a generation of 159.72 kWp, being called in Minigeração, but for an initial project, a smaller plant with a generation of 74.27 kWp is considered as Microgeneration and simplifies installation steps. In addition to an economic effect, a photovoltaic plant proves to be a great positive action for a more sustainable world, since it is a 100% clean energy and that shows promise in the market, it also results in great savings in monthly expenses and return on investment.

KEYWORDS: Solar energy; Photovoltaic power systems; Photovoltaic power generation; Solar cells; Distributed generation of electric power.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Vangard 1	10
Figura 2	Preços do Sistema fotovoltaico no mercado brasileiro.	10
Figura 3	Número de instalação fotovoltaica conectadas à rede.	11
Figura 4	Matriz elétrica Brasileira.	11
Figura 5	Sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	12
Figura 6	Componentes do módulos fotovoltaico	14
Figura 7	Coleta de dados	17
Figura 8	Coordenadas da instalação	19
Figura 9	Top 10 Módulos Fotovoltaicos	20
Figura 10	Top 10 Inversores Fotovoltaicos	21
Figura 11	Sumario da simulação do PVsyst	22
Figura 12	Produção normalizada por kWp instalado	23
Figura 13	Diagrama de perdas.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gastos da UNESP no ano de 2019.	18
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	CONCEITOS PRELIMINARES	12
2.1	Sistema fotovoltaico	12
2.1.1	Sistemas <i>on-grid</i> ou <i>grid-tie</i>	12
2.1.2	Sistemas <i>off-grid</i> ou autônomos	13
2.1.3	Sistemas híbridos	13
2.2	Componentes	13
2.2.1	Módulo ou painel fotovoltaico	13
2.2.2	Inversor Solar	14
2.2.3	Quadros de proteção	14
2.2.4	Cabos e conectores	14
2.2.5	Estruturas de fixação	14
2.2.6	Banco de baterias e controlador de carga	15
3	COLETA DE DADOS	16
4	DIMENSIONAMENTO	18
4.1	Cálculos	18
4.2	Composição do gerador	20
5	SIMULAÇÃO EM <i>SOFTWARE</i>	22
6	CONCLUSÃO	26
7	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Energias renováveis como a energia fotovoltaica vem sendo cada vez mais procuradas, seja pela escassez hídrica que vem acontecendo ao decorrer dos anos ou pelo fato de que fontes não renováveis estarem se esgotando.

A energia solar esteve presente na vida humana desde o começo da evolução, mas em 1839, pela pesquisa do físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que descobriu o efeito fotovoltaico em um experimento com cloreto de prata imerso em uma solução ácida que gerava uma corrente quando iluminada, portanto, tal efeito é a geração de uma corrente elétrica em um material semicondutor exposto à luz.

Em 1883, Charles Fritts, um inventor Nova-iorquino, fez a primeira célula fotovoltaica feita de selênio revestido de ouro. A célula gerava corrente contínua e constante para a conversão elétrica, que tinha eficiência máxima de 1%. [1]

Albert Einstein teve grande contribuição aos estudos do efeito fotoelétrico, aprimorando e modernizando os conceitos da descoberta de Heinrich Hertz de 1887, que futuramente, em 1922, fez com que o físico recebesse o prêmio Nobel por seu trabalho sobre tal efeito. [1]

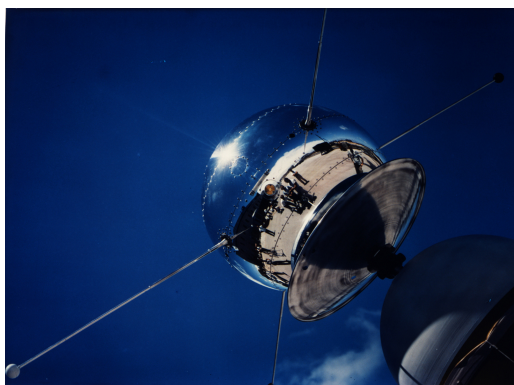
O físico suíço Walter Schottky criou em 1930 a célula fotovoltaica de mono-silício prática. Porém em 1954, na *Bell Laboratories* nos Estados Unidos, Calvin Fuller elaborou o processo de dopagem do silício, e Gerald Pearson estabilizou as placas de silício a partir de reações químicas produzidas pelo contato de uma junção P-N ou diodos com as placas mergulhadas em lítio, podendo observar um comportamento fotovoltaico nas placas analisadas. E em 1955, Daryl Chapin precisava de uma fonte de energia diferente para as baterias usadas em redes telefônicas remotas, que precisavam ser substituídas sempre que a bateria acabava, usando então células de silício para alimentar uma rede telefônica na Geórgia. [1]

A energia fotovoltaica teve sua primeira grande aplicação em 1958, na área aeroespacial, sendo a *Vanguard 1* a primeira nave lançada com essa tecnologia. Seu lançamento aconteceu na Florida no dia 17 de março de 1958, na Estação da Força Aérea de Cabo Canaveral. Com capacidade instalada de aproximadamente 1 W, era composto por seis células solares de silício. A energia gerada pelas células solares alimentava transmissores de rádio, um deles com frequência de 108 MHz e outro com 108,3 MHz, transmitindo sinal por mais de 6 anos. A Figura 1 apresenta o satélite *Vanguard 1* que ainda esta em órbita, mas não em operação. [1, 2, 3]

A primeira instalação comercial terrestre de energia fotovoltaica, aconteceu em 1963 no farol da ilha Ogami, Japão com 242 W de potência. E em 1982 foi construída a primeira usina solar fotovoltaica, localizada na Califórnia – EUA, com potência de 1 MW.

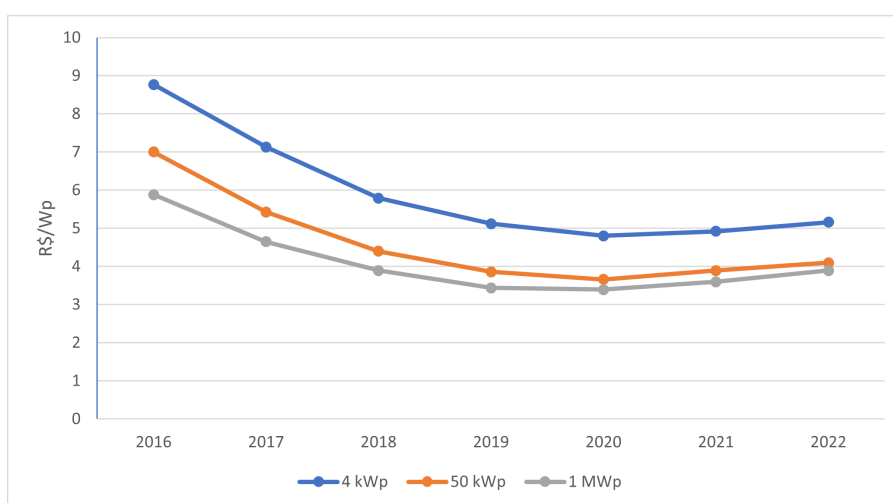
A partir de então, as pesquisas nas áreas continuaram crescendo e usinas foram instaladas em todo o mundo, em residências, comercio, indústria e até em meio de transportes, deixando a energia solar cada vez mais conhecida e procurada. A eficiência dos módulos foram aumentando, e o preço comercial caindo. A Figura 2 mostra o preço de kits ao decorrer dos anos e a Figura 3 mostra o crescimento de instalações. [6]

Figura 1 – Vangard 1



fonte: NASA, 2015.

Figura 2 – Preços do Sistema fotovoltaico no mercado brasileiro.



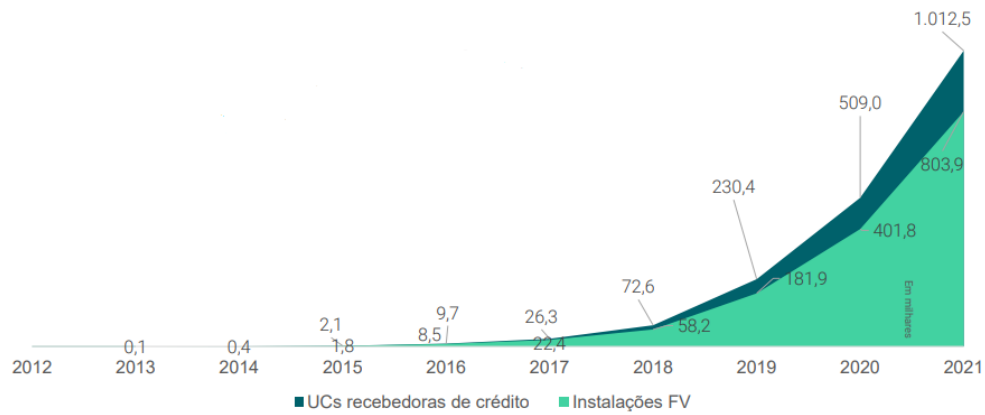
fonte: Adaptado de Geener, 2022, .

Grandes marcos foram acontecendo com o tempo e em 1999 o mundo inteiro atingiu a capacidade instalada total de 1 GW. Nos anos 90, os primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede foram instalados na Alemanha, e vendo o sucesso dessa modalidade, nos anos 2000 outros países mais desenvolvidos fizeram o mesmo, elevando a produção anual mundial para 4,2 GWp de células fotovoltaicas. [4, 5]

No Brasil a energia solar chegou no ano de 2011, com sua primeira usina solar instalada no município de Tauá, no Ceará. Em 2012, com a criação da Resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), estipulou-se regras no segmento dos sistemas de Geração Distribuída, fazendo com que qualquer pessoa física ou jurídica pudesse instalar micro ou mini gerador próprio para produção de energia. [1, 4, 5]

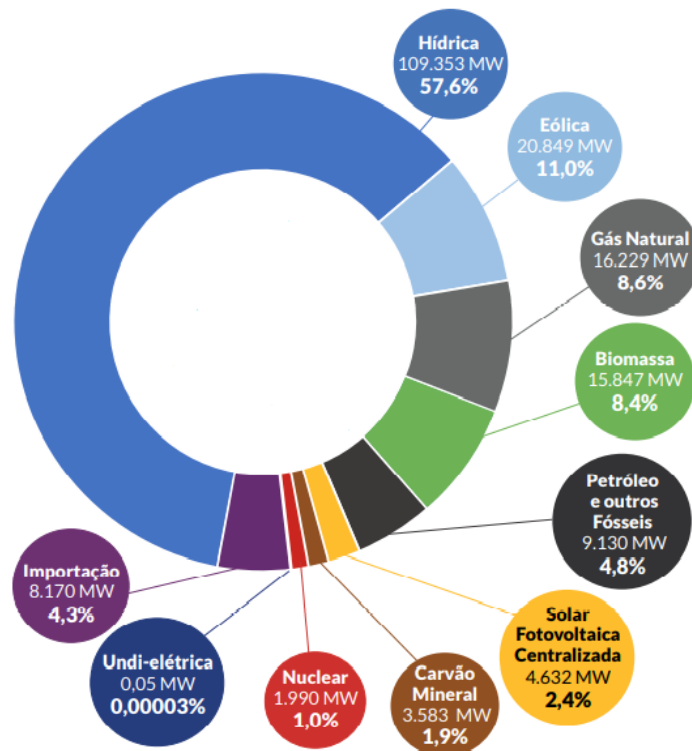
A matriz elétrica Brasileira hoje tem maior porcentagem hídrica como vemos na Figura 4 e o solar fotovoltaica com apenas 2,4% mas isso muda mensalmente e mais expressivamente anualmente, fazendo com que a necessidade de fontes não renováveis caia. Isso ocorre por grande parte das usinas fotovoltaicas ainda serem residenciais. [7]

Figura 3 – Número de instalação fotovoltaica conectadas à rede.



fonte: Greener,2022.

Figura 4 – Matriz elétrica Brasileira.



fonte: ABSOLAR, 2022.

2 CONCEITOS PRELIMINARES

2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por diversos componentes que instalados juntos captam, transformam e transmitem a energia que vem do sol até os equipamentos eletrônicos das casas e redes de transmissão das distribuidoras. Existem três tipos de sistemas fotovoltaicos.

2.1.1 Sistemas *on-grid* ou *grid-tie*

Estes sistemas fotovoltaicos são conectados à rede elétrica, produzindo energia elétrica em paralelo com a rede elétrica. São usados em locais atendidos pela rede de distribuição de energia elétrica. [8]

Figura 5 – Sistema fotovoltaico *on-grid*



fonte: Sebrae

A Figura 6 mostra que o painel converte a energia recebida pela radiação solar e direcionada, por cabos, para o inversor que é responsável em transformar essa energia de corrente contínua para corrente alternada, que é como chega da rede até as casas. Essa energia é ligada ao quadro elétrico que distribui para casa alimentando os eletrodomésticos conforme necessidade. A energia excedente vai para o medidor bidirecional colocado pela concessionária de energia da sua região, esse medidor contabiliza o que está sendo injetado na rede e isso se torna créditos para você usar no período sem sol, onde a energia que será consumida pela sua casa, será a proveniente da rede.

2.1.2 Sistemas *off-grid* ou autônomos

Estes sistemas têm baterias, assim trabalhando desconectados da rede elétrica de distribuição. A bateria é essencial neste sistema para poder disponibilizar energia em horários de baixa geração solar e período noturno. Eles são compostos pelos mesmos itens do on-grid mais o banco de baterias como expresso anteriormente e controlador de carga. [8]

2.1.3 Sistemas híbridos

São sistemas que trabalham tanto conectados à rede elétrica como desconectado também, sendo alimentados pelos painéis solares e fazendo o armazenamento no banco de baterias e fornecendo também quando é necessário, evitando o uso da concessionária em horários de maior tarifa. Este sistema funciona com uma chave que liga e desliga o sistema onde ele estiver sendo usado, pois no Brasil ainda não existe legislação para o paralelismo da concessionária e banco de baterias. [8]

2.2 COMPONENTES

O kit fotovoltaico é composto por diversos itens que trabalhando juntos, geram e direcionam a energia convertida para sua casa, são eles: módulos fotovoltaicos, inversores CC-CA, String-box, cabos (normalmente pretos e vermelhos), conectores MC4 e estruturas de fixação. [8]

2.2.1 Módulo ou painel fotovoltaico

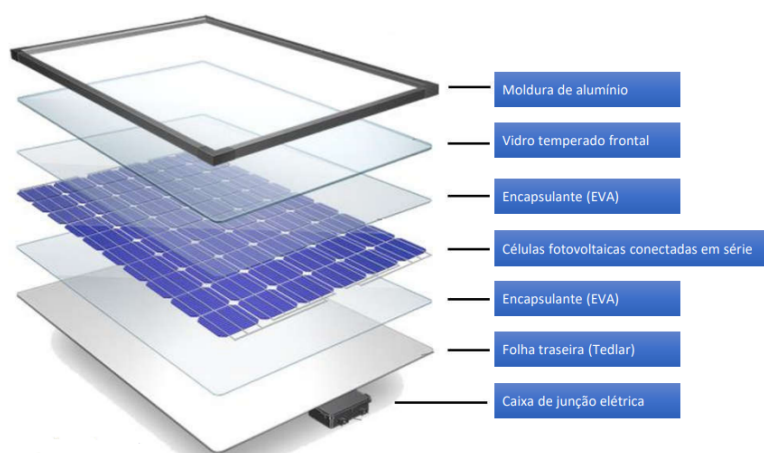
O módulo ou painel fotovoltaico é onde vai ser captado a luz do sol e as células fotovoltaicas vão absorver parte da radiação solar, convertendo-as em eletricidade. A radiação solar é radiação eletromagnética emitida pelo sol, parte dessa radiação é a luz visível, e outra parte é a infravermelha é usada para produzir calor nos sistemas térmicos. Então a radiação solar visível e parte da radiação infravermelha são usadas pelas células fotovoltaicas para produzir eletricidade, porém grande parte da radiação solar não é absorvida. A eficiência do módulo está ligada com a absorção apenas uma parte da radiação é expressa em torno de 20% dependendo do módulo.[8]

Os módulos são compostos por uma moldura de alumínio, vidro temperado frontal, encapsulante (EVA) envolvendo as células fotovoltaicas conectadas em série, folha traseira (*Tedlar*) e caixa de junção elétrica. [8]

Existem vários tipos de módulos, os mais comuns são o *standard* (padrão) que é o mais encontrado no mercado, ele recebe luz apenas na parte frontal. Temos também o módulo *double-glass* (vidro duplo) contendo duas lâminas de vidro, na frente e atrás, sendo mais resistente e durável. O módulo bifacial também possui vidro duplo sendo ele é capaz de receber luz no dois lados, gerando mais energia. O módulo *half-cell* é chamado assim pois é como se as células fotovoltaicas fossem cortadas ao meio, tendo assim 144 células menores em vez de 72 como alguns módulos, a principal vantagem nesse módulo é ter uma eficiência maior pois possui menos resistências ôhmicas e ao ocorrer algum sombreamento sobre algumas células, afeta menos a geração do painel ao todo. [8]

No mercado há diversas outras tecnologias em módulos mas os mais usados são esses e combinações dele que faz com que tenham uma eficiência cada vez melhor.

Figura 6 – Componentes do módulos fotovoltaico



fonte: Canal Solar, 2021

2.2.2 Inversor Solar

O inversor é responsável por receber a energia gerada pelos painéis solares em corrente contínua e converter para corrente alternada para que atenda os equipamentos da casa e vão para concessionária sem causar problemas de casamento na rede. Eles também podem realizar algumas funções de operação e controle do sistema e em alguns casos já possuem até proteção interna. [8]

2.2.3 Quadros de proteção

A *String-box* é um quadro de proteção CC que conecta os módulos fotovoltaico ao inversor, fazendo a proteção e controle desse sistema. Eles são opcionais em casos que o inversor já vem com proteção mas existem pessoas que mesmo assim optam em usa-lo a fim de aumentar a segurança do sistema como um todo.

Além da *String-box*, existe os quadros de proteção CA que também são colocados após a corrente ser transformada em corrente alternada pelo inversor e se torna mais uma etapa de segurança do sistema.

2.2.4 Cabos e conectores

Os cabos seguem especificações do setor solar, sendo normalmente de 4 ou 6 mm conforme projeto e corrente nominal do sistema, transmitindo corrente contínua e contendo proteções para ambientes externos e trazendo segurança no projeto. Os conectores são os MC4 especialmente desenvolvidos para sistemas fotovoltaicos, é a versão mais usada mundialmente e facilita a conexão entre painéis e com o inversor.

2.2.5 Estruturas de fixação

Usadas para fixar os módulos fotovoltaicos ao telhado ou solo, existe um tipo de fixação para cada tipo de telhado ou superfície, podendo ser telha cerâmica, fixação em fibro-madeira ou fibro-metal,

Mini Trilho, laje, tela ondulada, kalhetão, *shingle* ou solo fixa ou com *Tracker*, ou até Carport usado para fazer garagens.

2.2.6 Banco de baterias e controlador de carga

Usados em sistemas *off-grid*, o banco de baterias armazena energia para ser usada em horários de pouca geração solar ou período noturno. Já o controlador de carga conecta os módulos fotovoltaicos ao banco de baterias, realizando o controle das cargas das baterias, evitando sobrecarga ou descarga excessiva. [8]

3 COLETA DE DADOS

Neste capítulo será abordado dados coletados para o dimensionamento do sistema, mostrando a conta de energia usada e os principais itens dela.

Com as contas disponibilizadas pela UNESP, foi consultado todos os dados nela contidos pois muito do que se precisa para o dimensionamento se encontra na mesma. Na Figura 7 vemos que a concessionária que serve o município de São João da Boa Vista é a Elektro, sendo importante saber qual é a concessionária principalmente na hora de homologar a usina, pois cada uma tem requisitos diferentes, mesmo todas seguindo o orientado pela ANEEL.

A localização da instalação também é muito importante, pois é com ela que vamos encontrar as coordenadas usadas tanto nos softwares como em dimensionamentos a mão usando sites com gráficos solarimétricos, onde encontramos dados como horas de sol pleno e quantidade de radiação que incide naquele local durante um dia ou até um ano.

Cada usuário faz parte de um grupo e um sub-grupo, sendo identificado pela tensão contratada, que segundo o site da ANEEL, usuários com tensão contratada de 13,8 kV pertence ao Grupo de A4 de Alta tensão, pois estão dentro do intervalo de 2,3 a 25 kV. [9, 10]

No campo de classificação encontramos o enquadramento tarifário, que neste caso é a tarifa horosazonal Verde, que a rede é trifásica e que pertence ao poder público, o que diferencia na parte de impostos. Temos a demanda contratada de 150 kW, que significa que a rede deve disponibilizar para UNESP tal potência caso precise usar toda essa quantidade. É um valor fixo que não é abatido na conta de energia e nem é recomendado diminuí-lo após a instalação de uma usina fotovoltaica, pois em horários sem sol, caso precise usar essa quantidade ela estará disponível. Esse valor foi contratado quando o campus foi dimensionado pensando na quantidade máxima de equipamentos ligado a rede ao mesmo tempo. E na descrição dos gastos encontramos os impostos cobrados e a quantidade de energia registrada naquele mês. [9, 10, 11]

Figura 7 – Coleta de dados



ELEKTRO

Elektro Redes S.A.

Rua Ary Antenor de Souza, 321 - 13053-024
Campinas - SP - CNPJ 02.328.280/0001-97
Insc. Est. 244.868.522.118
Av. Baldomero Leituga, 2032 - 79610-270 - Três Lagoas - MS
CNPJ 02.328.280/0002-78 - Insc. Est. 28.304.126-9

www.elektro.com.br

Seu Código

39805476

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

AV PRFA ISETTE CORREA FONTAO, 505 - CAMPUS - JD DAS FLORES

SAO JOAO DA BOA VISTA - SP - CEP 13876-750

CNPJ - 48031918004111 IE:

Leitura Anterior:

13/11/2019

Data de Emissão:

13/12/2019

Leitura Atual:

13/12/2019

Data de Apresentação:

13/12/2019

Dias do Período:

30

Próxima Leitura:

14/01/2020

Próximo Vencimento:

03/02/2020

Classificação:

PODER PUBLICO / HORÁRIA VERDE / TRIFASICO

Nota Fiscal/Conta de Energia Elétrica

Controle N°

Conta do Mês

Vencimento

Valor da Conta (R\$)

61745526

FAT-01-20195256319705.27

Dezembro/2019

02/01/2020

R\$13.294,00

Tensão Contratada (kV)

Limites Adequados de Tensão (kV)

Registrador

Demanda Contratada (kW)

Perdas Transformação

13.8

12.834 a 14.49

RM0478801

150

0,00%

CCI*	Descrição do Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante Multiplic.	Quant. Registrado	Quant. Residual	Quant. Faturado	Tarifa Fornec.	Valor Fornec.	Base Calc. Imposto	Aliq. ICMS	Valor ICMS	Valor Total (ICMS+Fornec.)
0601	CONSUMO PONTA TE kWh	172103	202044	0,072	2155,00	0,00	2155,00	0,390216	851,69	0,00	0,00%	0,00	851,69
0601	CONSUMO PONTA TUSD kWh	172103	202044	0,072	2155,00	0,00	2155,00	1,203336	2.593,19	0,00	0,00%	0,00	2.593,19
0601	CONSUMO FORA PONTA TE kWh	97567,19	100141,22	7,200	18533,00	0,00	18533,00	0,232080	4.317,81	0,00	0,00%	0,00	4.317,81
0602	CONSUMO FORA PONTA TUSD kWh	97567,19	100141,22	7,200	18533,00	0,00	18533,00	0,078310	1.451,31	0,00	0,00%	0,00	1.451,31
0601	DEMANDA TUSD kW	10128	10447	0,288	91,87	0,00	91,87	18,980000	2.847,00	0,00	0,00%	0,00	2.847,00
0601	AD.B.AMAR. kWh						20688,00	0,005289	109,42	0,00	0,00%	0,00	109,42
0601	AD.B.VERM kWh						20688,00	0,025266	522,70	0,00	0,00%	0,00	522,70
0601	CONSUMO kWh	109288,01	112161,45	7,200	20688,00	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
	DEMANDA PONTA kW	7121	7326	0,288	59,04	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
	ENERGIA REAT EXC kWh	2	2	7,200	0,00	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
	ENERGIA REAT EXC P kWh	3	3	0,072	0,00	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
	ENERGIA REAT EXC FP kWh	2	2	7,200	0,00	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
	DEMANDA REAT EXED. kW	24038	24764	0,072	52,27	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
	DEMANDA REAT EXED. kW	35104	36171	0,072	76,82	0,00				0,00	0,00%	0,00	0,00
0699	Imposto									13.293,97	3,72%		494,52
0699	Outros									13.293,97	0,80%		106,36
	Total								12.693,12			0,00	13.294,00

*CCI - Código de Classificação do Item

*CCI - Código de Classificação do Item

fonte: Elektro, 2019.

4 DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo será abordado como seria os primeiros passos com cálculos usando os dados apresentados e os equipamentos usados na usina fotovoltaica.

4.1 CÁLCULOS

Foi verificado o consumo de energia no ano de 2019, ano escolhido pois tinha atividade dentro do campus, tanto com alunos quando com funcionários. A seguir é apresentado a tabela 1 com o mês de referência, a quantidade registrada de kWh em horário de ponta e fora de ponta.

Tabela 1 – Gastos da UNESP no ano de 2019.

Mês	Horário Fora Ponta (kWh)	Horário Ponta (kWh)
Janeiro	15.577	1.474
Fevereiro	18.258	1.675
Março	18.379	1.906
Abril	19.763	2.218
Maio	19.502	2.104
Junho	15.465	2.030
Julho	14.345	1.758
Agosto	14.618	1.940
Setembro	18.237	2.332
Outubro	22.249	2.597
Novembro	21.620	2.442
Dezembro	18.533	2.155
Anual	216.546	24.630
Média	18.046	2.053

fonte: Adaptado Elektro, 2019.

Com o uso de uma planilha de cálculos automáticos, foi adicionado dados da tabela 1, como também dados de localização, dados adicionais da conta de energia como concessionária, grupo e subgrupo tarifário, modalidade, demanda contratada, tarifas e impostos e depois dos cálculos feitos, chegou-se a conclusão que é necessário a geração de 159,72 kWp para atender 100% do que foi consumido no ano de 2019. Isso enquadra numa modalidade de Minigeração, ou seja, uma usina fotovoltaica com potência maior que 75 kWp, que para sua instalação existem várias etapas exigidas pela ANEEL, num processo muito complexo.

Para se enquadrar na outra modalidade de Microgeração, é necessário diminuir a geração de energia para 46,5%, não excedendo a potência máxima instalada de 75 kW, assim, chegando em uma geração de 74,27 kWp.

Os cálculos da planilha utilizam os dados encontrados na tabela 1, e buscam em seu banco de dados informações que complementam os cálculos. Para verificar os cálculos foi realizado manualmente o mesmo processo.

Primeiro, é feito a média do consumo anual, Fora Ponta e Ponta, tais valores se encontram na tabela 1, após isso é preciso achar o fator de ajuste FC, que nada mais é que o valor que precisamos multiplicar a média de Ponta para que ela seja compensada de maneira integral quando a usina não estiver gerando e formos usar os créditos da concessionária. A constante é calculada pela fórmula:

$$FC = \frac{TEPonta}{TEForaPonta} \quad (4.1)$$

Portanto, a Geração Necessária por mês na usina é calculada como:

$$GN = MediaForaPonta + (FC.MediaPonta) \quad (4.2)$$

Com o endereço do local onde será instalada a usina usamos no site do *Google Maps* e pegamos as coordenadas em latitude e longitude como mostrado na Figura 8, e com esses dados num mapa solarimétrico encontramos a irradiação solar naquele local durante o dia, ou seja, a quantidade de energia (Wh) recebida do sol por cada metro quadrado durante o período de um dia. Usamos o *Global Solar Atlas* e colocamos as coordenadas da Figura 8 e encontramos o valor de 5.516 kWh/m². Ao dividir esse valor por mil, teremos a quantidade de horas de sol pleno no local de instalação, com esse resultado usaremos a formula a seguir para saber a potência da usina: [13]

Figura 8 – Coordenadas da instalação



fonte: *Google Maps*, 2022.

$$PU = \frac{GN.1000}{HSP.30dias.FP} \quad (4.3)$$

Onde HSP é a hora de sol pleno, 1000 é a constante de irradiação solar e FP é o fator de performance do sistema considerando as perdas que acontecem.

Com o resultado de 159,72 kWp, é considerado uma usina com 46,5% dessa potencia para se enquadrar na microgeração, tendo assim a geração de energia de 74,27 kWp.

4.2 COMPOSIÇÃO DO GERADOR

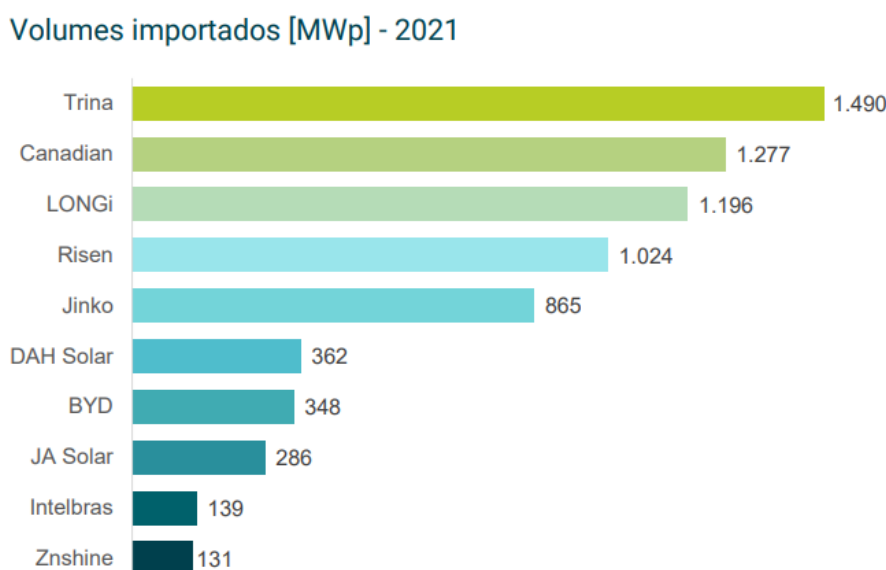
Com a usina dimensionada, precisamos escolher os produtos que vão compor essa usina. Analisando o mercado atual, encontramos duas métricas para verificar a qualidade dos materiais. Uma delas é saber se o painel é *Tier 1* e a segunda é saber como a empresa está classificada nos estudos da *Greener* que é uma ótima referência para o mercado fotovoltaico.

A classificação *Tier 1* foi criada pela BNEF (*bloombergNEF*), que é uma provedora de pesquisa estratégica que cobre os mercados globais de matérias-primas e as tecnologias disruptivas que impulsionam a transição para uma economia de baixo carbono. E analisa os fabricantes, neste caso de módulos fotovoltaicos, que cumpram uma série de requisitos para provar qualidade no seus produtos. Esse requisitos são: Fabricar totalmente seus próprios módulos; Ter seus módulos usados em 6 ou mais projetos acima de 1,5 MW, que tenham sido financiados nos últimos 2 anos por bancos que não sejam de desenvolvimento; Não ter pedido falência ou não estar em insolvência. [14].

A *Greener* é uma empresa de consultoria e pesquisa especializada no setor fotovoltaico, que visa contribuir com o mercado de energia solar, acelerando o processo de desenvolvimento de empresas e empreendimentos, contribuindo a percepção e avanço do setor com eficiência e sustentabilidade. [6]

Estabelecidas as métricas, a empresa *ZNSHINE* enquadra-se nesse perfil, pois além de ter seus painéis classificados como *Tier 1*, está no top 10 em volume de módulos fotovoltaicos importados como mostrado na Figura 9. Escolhendo o módulo com potência de 530 W e eficiência de 20,74%, esse painel é monocristalino *PERC*, *HALF-CELL*, com proteção de vidro duplo e possui tecnologia bifacial, que principalmente em usinas solo, geram até 25% a mais pela sua parte traseira. Com 12 anos de garantia do produto e 30 anos de garantia de produção linear, o módulo promete gerar 80% da sua potência inicial até 30 anos.

Figura 9 – Top 10 Módulos Fotovoltaicos

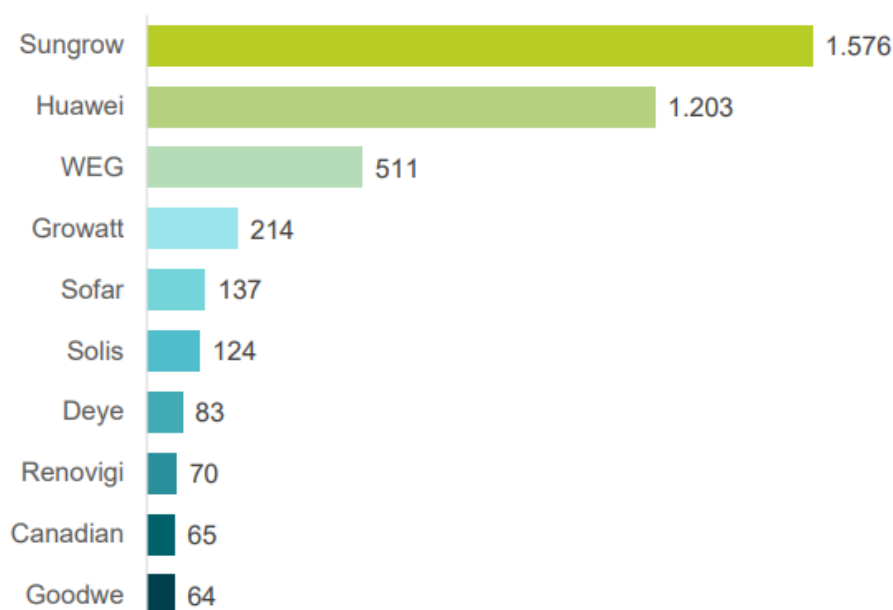


fonte: *Greener*, 2022.

Foi escolhido para comprar o gerador o inversor a marca *Growatt*, também presente no top 10 dos estudos *Greener* como mostra a Figura 10, está como quarto maior volume de importação para potência acima de 50 kW, mas para potências menores, ele lidera o *ranking*. Escolhemos o modelo MAC60KTL3-LV que suporta a geração esperada, tendo um *overload* de 50%, podendo suportar uma expansão da usina, 3 MPPT e saída 380V. Sendo também um inversor com proteções internas, dispensa o uso de *string-box*, barateando o custo da usina.

Figura 10 – Top 10 Inversores Fotovoltaicos

Acima de 50 kW - 2021 (MW)



fonte: *Greener*, 2022.

5 SIMULAÇÃO EM SOFTWARE

Neste capítulo será abordado a simulação da usina usando um software que faz uma análise mais minuciosa e cálculos mais complexos apresentando o resultado mais perto do real para poder fazer uma usina fotovoltaica.

Foi feita a simulação no PVsyst, um *software* de projetos fotovoltaicos que é um dos mais completos da atualidade, onde foi verificado se o dimensionamento foi feito correto, apurando assim as perdas do sistema com mais detalhes.

Com o mesmo processo abordado antes, colocamos a localização de onde a usina será instalada, sendo a Latitude -21.97°S , a longitude -46.80°W , e uma altitude de 765 m, usamos 141 módulos ZNSHINE de 530 W, a usina tem Potencia Nominal de 74,7 kWp. Em um inversor de 60 kW da Growatt, o *software* divide os módulos nas 3 entradas de MPPT, formando assim 3 arranjos podendo ter eles 4 *strings* por MPPT. Os módulos serão instalados com 21° de inclinação do solo e 0° de azimuth.

Figura 11 – Sumario da simulação do PVsyst

Project summary					
Geographical Site		Situation	Project settings		
São João da Boa Vista		Latitude	-21.97 °S	Albedo	0.20
Brazil		Longitude	-46.80 °W		
		Altitude	765 m		
		Time zone	UTC-3		
Meteo data					
São João da Boa Vista					
Meteonorm 7.3, Sat=100% - Synthetic					

System summary				
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation		Near Shadings		User's needs
Fixed plane		No Shadings		Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth		21 / 0 °		
System information				
PV Array		Inverters		
Nb. of modules	141 units	Nb. of units	1 Unit	
Pnom total	74.7 kWp	Pnom total	60.0 kWac	
		Pnom ratio	1.246	

Results summary					
Produced Energy	106.7 MWh/year	Specific production	1427 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	76.83 %

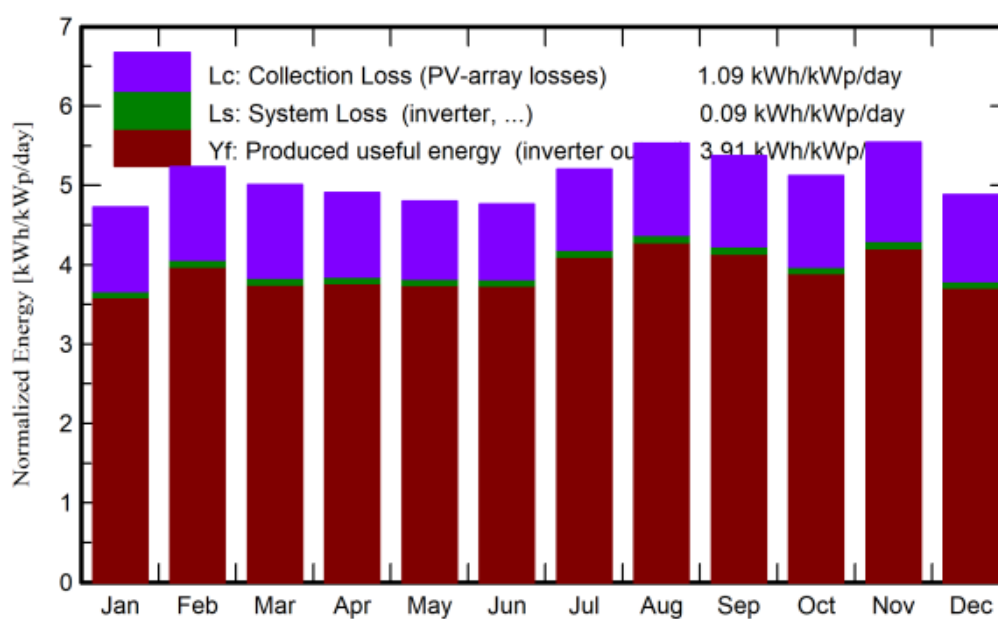
fonte: Próprio autor.

No primeiro arranjo colocamos 51 módulos distribuídos em 3 *strings* com 17 módulos em série cada. Esse arranjo nos da uma potência de 24,68 kWp, com tensão de 633 V e corrente 39 A. No segundo arranjo colocamos 48 módulos distribuídos em 3 *strings* de 16 módulos em série cada. Esse arranjo nos da uma potência de 23,23 kWp, com tensão de 595 V e corrente 39 A. No terceiro arranjo colocou-se 42 módulos distribuídos em 2 *strings* com 22 módulos em série cada. Esse arranjo nos da uma potência de 20,33 kWp, com tensão de 781 V e corrente 26 A. As perdas no arranjo podem acontecer, desde, sujeira nos módulos, perda térmica, entre outras. Esses valores estão todos dentro do esperado para o bom funcionamento do inversor segundo *datasheet*, pois o *software* contém todos os

dados tanto do inversor, quanto do painel, dados as vezes, mais exatos que o *datasheet* pois é enviado direto pelo fabricante depois dos ensaios feitos.

O PVsyst também nos apresenta todas as perdas que ocorrem no sistema, que fazem com que a energia produzida não seja entregue totalmente à rede elétrica, que pode ocorrer por vários fatores como a localidade, condições meteorológicas, os equipamentos usados na instalação, podendo esses impactos ser reduzidos no projeto. Na Figura 12 podemos verificar a produção normalizada e as perdas que ocorrem no decorrer de um ano no projeto da usina de geração fotovoltaica para a faculdade de engenharia - câmpus de São João da Boa Vista.

Figura 12 – Produção normalizada por kWp instalado



fonte: Próprio autor.

Existem vários tipos de perdas que podem acontecer no arranjo.

Uma das perdas mais comum e significativa, principalmente em uma usina solo é a de sujidade, temos diversas partículas na atmosfera e muitas delas vão se depositando nas superfícies dos painéis com o tempo, sejam elas poeira, poluição materiais orgânicos, fezes de pássaros, entre outros. Essa sujeira se acumula, sombreando os semicondutores e diminuindo a absorção de irradiância solar. As características da sujeira afeta no quanto de perda vai acontecer no sistema, e essas características podem ser distribuição, densidade, composição e quantidade. As condições climáticas podem amenizar ou potencializar tal efeito, pois áreas com muito vento ou com muita precipitação de chuva, podem ajudar na limpeza dos módulos. [15]

Nesse projeto, levou-se em conta o painel estar mais próximo do chão e haver muita poeira no lugar, pois existe uma estrada de terra próxima e muitas queimadas no período de seca. Assim consideramos uma perda de 10% da geração, que pode ser diminuída com uma limpeza constante, mas trabalhosa, pois se trata de 141 painéis em uma área de aproximadamente 360 m². Os períodos chuvosos são benéficos ajudando na limpeza, mas as sujeiras mais pesadas podem não sair com a chuva, tais sujeiras são os excrementos de pássaros, eles são contabilizados nessa perda e afetam poucas células, mas bloqueiam mais a luz e como as células são conectadas em série, acaba prejudicando toda uma cadeia

ou até o módulo. No nosso caso, os painéis são munidos do Diodo de *ByPass* que diminui tal efeito, mas ainda assim afeta a geração, sendo necessário uma limpeza mais minuciosa. [16]

A segunda perda a ser considerada é a de temperatura, a condição ideal do módulo trabalhar é com grande incidência de radiação e baixa temperatura, mas isso não ocorre em São João da Boa Vista, no *datasheet* do produto, temos valores de perdas de potência máxima e tensão em circuito aberto, e um pequeno ganho na corrente de curto-circuito, são valores que variam com cada mudança em grau, da temperatura de testes do módulo, que é de 25 °C. [18]

Outra perda é a de diodos em série. Todo painel é equipado com diodos de *ByPass*, esses diodos têm uma queda de 0,7 V, considerando vários painéis em série em cada *string*, essa voltagem aumenta e acaba sendo uma perda a ser considera, mesmo que pequena, sendo de 0,1 nas condições de STC.

A degradação induzida pela luz – LID, consiste em uma perda de 2% no arranjo e acontece devido a criação de complexos de boro-oxigênio nas primeiras horas do dia, essas combinações geram níveis de energia que diminui a eficiência da célula por capturar elétrons e lacunas que fariam parte do efeito fotovoltaico. [19, 20]

A perda de qualidade do módulo acontece devido aos efeitos que ocorrem com o tempo de uso do produto, sendo uma perda de 1,1%, pode ocorrer por diversos motivos que vão degradando-o durante seu uso. Umidade, temperatura e intensidade UV são alguns desses fatores. A umidade pode entrar no módulo através das bordas e causar corrosão nas conexões metálicas, gerando corrente de fuga e causando perda de desempenho, a temperatura pode fazer com que microfissuras aumentem e diminua a eficiência. [21]

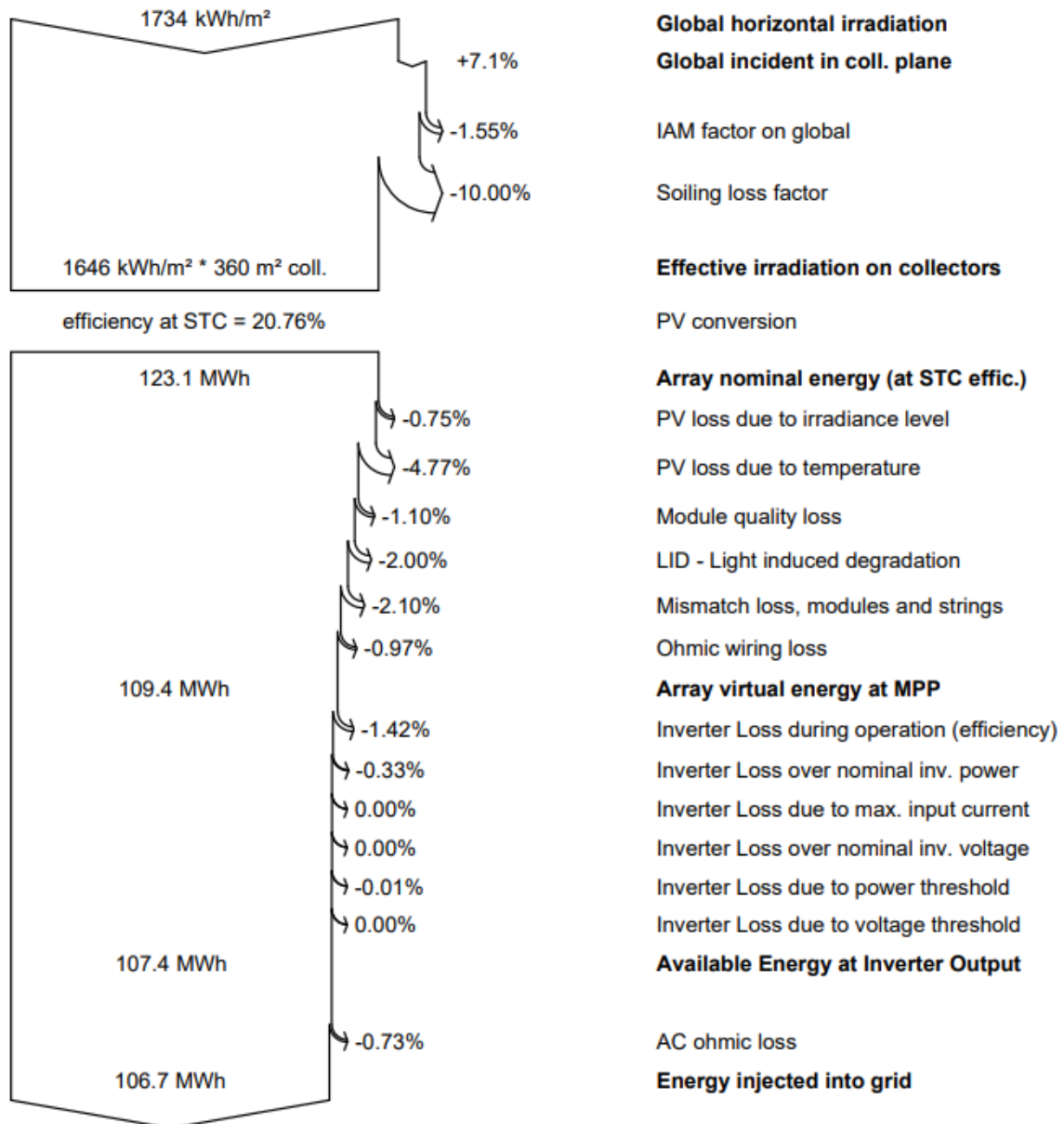
Outras duas perdas consideradas são o descasamento de módulos e descasamento de strings, sendo a perda delas de 2% por MPPT e 0,1% por *string*. Elas acontecem pelo processo de fabricação dos módulos não ser perfeito e isso faz com que haja inconsistências na potência de saída de cada módulo. Isso pode ocorrer também por diferenças pequenas em ângulos de inclinação e não-uniformidade de iluminação das células. [19]

O efeito de incidência (*IAM – Incidence Angle Modifier*) está relacionado com a diminuição da irradiância que realmente atinge as células fotovoltaicas. Como a incidência normal que seria ideal, não ocorre durante todo dia, conforme esse ângulo muda, a reflexão e refração do ar em cada interface muda. [19]

Saindo do arranjo, temos as perdas na fiação elétrica, seja do lado CC ou CA. O software usa a resistência global do fio de 10 m ohm e a perda causada de 1,5%. [18] No projeto, especificamos a quantidade de fios usada para ligação da usina até o inversor, estipulamos a localização perto do transformador dos laboratórios, enquanto o cálculo de fiação das strings é feito automaticamente. Os cabos CC serão de 6 mm, o recomendado para usinas fotovoltaicas maiores que 8 kWp. E o cabo CA na saída do inversor terá 35 mm.

A Figura 13 mostra o diagrama de perdas e como elas diminuem a geração com as perdas acumuladas, no começo pela irradiação global horizontal temos um leve ganho de 7,1% mas logo depois já vemos a perda de IAM e sujidade sendo maior que o ganho e diminuindo a quantidade de geração por metro quadrado no painel. Ainda na Figura 13 podemos ver o diagrama mostrando as perdas no arranjo, no inversor e nos cabos até ser injetada na rede. Isso mostra que a geração cai de

Figura 13 – Diagrama de perdas.



fonte: Próprio autor.

123,1 MWh para 106,7 MWh

6 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi apresentado um dimensionamento de uma usina que atendesse a demanda de energia consumida pela Faculdade de Engenharia - Câmpus de São João da Boa Vista de forma parcial, mostrando dados reais de consumo da unidade e verificando o dimensionamento por cálculos manuais, em tabelas e *software*, comprovamos que o dimensionamento foi elaborado corretamente, e analisamos todas as perdas que podem ocorrer no sistema. As perdas podem ser diminuídas e para isso, novas análises de viabilidade devem ser feitas, como local de instalação do inversor mais próximo dos painéis, uma agenda de manutenção e limpeza nos módulos para diminuir a sujeira, entre outras.

A implementação de uma usina fotovoltaica pode um dia fazer com que a UNESP economize cerca de 7 mil reais por mês, podendo direcionar esse recurso para pontos mais importantes como infraestrutura, livros, entre outros recursos que sempre são necessários na universidade.

O investimento de tal projeto não é barato e nesse caso, sairia em torno de R\$ 280.000,00 considerando o material e instalação. Levando em consideração também que o local onde se planeja ter uma usina ainda não tem terraplanagem, levaria um tempo para a preparação e depois de instalado, tem o processo burocrático de homologação com a concessionária.

Porém o projeto é considerado viável, já que a economia gerada paga o valor investido em menos de 4 anos e isso vai muito além de apenas economizar, pois gerando energia limpa, contribuímos para um futuro próspero.

7 REFERÊNCIAS

- [1] PORTAL SOLAR. **História e origem da energia solar.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/materias/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 28 maio 2022.
- [2] OLIVIERI G. **63 anos do lançamento do primeiro satélite alimentado por energia solar.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/63-anos-do-lancamento-do-primeiro-satelite-alimentado-por-energia-solar/>. Acesso em: 28 maio 2022.
- [3] LOFF S. **Vanguard Satellite, 1958.** [S. l.], 2015. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/63-anos-do-lancamento-do-primeiro-satelite-alimentado-por-energia-solar/>. Acesso em: 10 jun 2022.
- [4] BARROZO, B. M. **História da Energia Solar.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.evosolar.com.br/post/hist%C3%B3ria-da-energia-solar>. Acesso em: 28 maio 2022.
- [5] **A história da energia solar no Brasil.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.origoenergia.com.br/blog/energia/a-historia-da-energia-solar-no-brasil/>. Acesso em: 28 maio 2022.
- [6] Greener. **Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2021 | Mercado Fotovoltaico 2º Semestre.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategicogeracao-distribuida-2021-mercado-fotovoltaico-2-semester/>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- [7] ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil Infográfico ABSOLAR.** Bela Vista - SP, 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- [8] CANAL SOLAR. **Fundamentos de energia solar fotovoltaica** [S. l.], 2021. 103 slides.
- [9] **CONTA de luz: passo a passo completo para entender tudo!** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.origoenergia.com.br/blog/economia/como-entender-sua-conta-de-luz/>. Acesso em: 29 maio 2022.
- [10] **TARIFAS, taxas e tributos.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.neoenegriaelektro.com.br/seu-negocio/tarifas-taxas-e-tributos>. Acesso em: 29 maio 2022.
- [11] SGT. **Bandeiras Tarifárias.** [S. l.], 2015. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 29 maio 2022.
- [12] **O que é tarifa azul e verde e como escolher a melhor.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://esferanergia.com.br/economizar-em-casa/tarifa-azul-verde/:text=A%20tarifa%20verde%20permite%20que,t%20transporte%20na%20ponta%20%C3%A9%20maior>. Acesso em: 29 maio 2022.
- [13] **GLOBAL solar atlas.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-21.998127,-46.790771,11s=-21.997929,-46.791234m=sitepv=ground,0,21,74.7>. Acesso em: 4 jun. 2022.
- [14] VILLALVA, M. **O que é a lista Tier 1 e qual sua relação com a qualidade do módulo?** [S. l.], 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/tier-1-qualidade-do-modulo/>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- [15] ALVEZ, F. R. R. **ESTUDO DO EFEITO DA SUJIDADE NA EFICIÊNCIA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.** 2018. 99 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação STRICTO SENSU em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia. 2018.

- [16] AURORA SOLAR. **Understanding PV System Losses, Part 3: Soiling, Snow, System Degradation.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://aurorasolar.com/blog/understanding-pv-system-losses-part-3-soiling-snow-system-degradation/:.text=Soiling%20loss%20is%20when%20dust,of%20calculating%20PV%20system%20losses..> Acesso em 25 jun. 2022.
- [17] REZENDE, v. G. S.; ZILLES R., **ANÁLISE DAS PERDAS DE PRODUTIVIDADE EM GERADORES FOTOVOLTAICOS POR EFEITO DE SUJIDADE.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, v. 30, p. 02, 08. 2018.
- [18] VILLALVA, M. **Efeito da temperatura nos módulos fotovoltaicos mono e policristalinos.** [S. l.], 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/efeito-da-temperatura-nos-modulos-fotovoltaicos-mono-e-policristalinos/>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- [19] **PVSYST Help Contents.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.pvsyst.com/help/>. Acesso em: 02 jul. 2022.
- [20] VILLALVA, M. **O efeito LID das células fotovoltaicas.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/o-efeito-lid-das-celulas-fotovoltaicas/>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- [21] TONOLO, É. A. **ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS NOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DA UTFPR CAMPUS CURITIBA.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.