



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

JOÃO VICTOR DE SOUZA CARLI

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA NA APAE DE JOSÉ BONIFÁCIO/SP**

Rosana - SP
2021

João Victor de Souza Carli

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA NA APAE DE JOSÉ BONIFÁCIO/SP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria de Curso de Engenharia de Energia do Campus Experimental de Rosana, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Energia.

Orientador(a): José Francisco Resende da Silva

Rosana - SP
2021

C282e Carli, João Victor Souza
ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA APAE DE
JOSÉ BONIFÁCIO/SP / João Victor Souza Carli. -- Rosana,
2021
136 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (-) - Universidade Estadual
Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de Rosana, Rosana
Orientador: José Francisco Resende da Silva

1. Energia solar. 2. Geração de energia fotovoltaica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Câmpus Experimental de Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

JOÃO VICTOR DE SOUZA CARLI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Lucas Teles de Faria
UNESP-Rosana

Prof. Dr. Letícia Sabo Boschi
UNESP-Rosana

Julho 2021

“Be like water.”
Bruce Lee

RESUMO

Haja visto o grande crescimento de estudos de eficiência energética e qualidade da energia elétrica por meio de fontes renováveis de energia, o presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade econômica e financeira da implantação de uma planta de energia solar fotovoltaica na APAE - Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais da cidade de José Bonifácio/SP. Para esta análise foi coletada a conta de energia da associação além da realização do levantamento 3D da estrutura via software e impressora, diagrama unifilar da instalação, equipamentos de energia solar e indicadores financeiros para análise da viabilidade de implantação. No quesito financeiro, os melhores resultados foram obtidos pelo orçamento número 1, apresentando payback simples de 2,302 anos, payback descontado de 2,438 anos, economia em 25 anos de R\$874.747,811 e uma taxa interna de retorno de $46,915\frac{\%}{ano}$. Por fim, por meio dos resultados foi possível determinar que o investimento é viável de se implantar, retornando conforto financeiro para a associação caso ela venha a aderir, possibilitando uma taxa de retorno maior que a Selic utilizada neste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar Fotovoltaica. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

ABSTRACT

There is seen the great growth of energy efficiency studies and quality of electricity through renewable energy sources, this study aimed to analyze the economic and financial feasibility of installing a solar photovoltaic power plant in APAE - Association of Parents and Friends of the Exceptional in the city of José Bonifácio/SP. For this analysis, the association's energy bill was collected, in addition to a 3D survey of the structure via software and printer, a single-line diagram of the installation, solar energy equipment and financial indicators to analyze the feasibility of implementation. In the financial aspect, the best results were obtained by budget number 1, presenting a simple payback of 2,302 years, discounted payback of 2,438 years, savings in 25 years of R\$874.747,811 and an internal rate of return of $46,915\frac{\%}{year}$. Finally, through the results, it was possible to determine that the investment is feasible to implement, returning financial comfort to the association if it joins, enabling a higher rate of return than the Selic used in this study.

KEYWORDS: Photovoltaic Solar Energy. Photovoltaic systems connected to the power grid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil.....	18
Figura 2 - Espectro eletromagnético	20
Figura 3 - Geometria Solar	21
Figura 4 - Declinação solar.....	22
Figura 5 - Radiação incidente.....	23
Figura 6 - Consumo de energia elétrica discriminado por país	24
Figura 7 - Capacidade instalada de acordo com os países.....	25
Figura 8 - Matriz energética mundial de 2018	26
Figura 9 - Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo	27
Figura 10 - Solar Desert Tenger	27
Figura 11 - Kurnool Ultra Mega	28
Figura 12 - Oferta de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.....	29
Figura 13 - Evolução da Energia Solar Fotovoltaica	30
Figura 14 - Geração distribuída por estado	32
Figura 15 - APAE Passo Fundo	33
Figura 16 - APAE São Vicente.....	34
Figura 17 - APAE Jundiaí	35
Figura 18 - Processo de formação célula silício cristalino	36
Figura 19 - Painel fotovoltaico com tecnologia monocristalino	37
Figura 20 - Painel fotovoltaico com tecnologia policristalino	38
Figura 21 - Painel fotovoltaico com tecnologia amorfo.....	39
Figura 22 - Módulo fotovoltaico	40
Figura 23 - Circuito equivalente básico para célula fotovoltaica.....	41
Figura 24 - Curva característica I – V de corrente e tensão de um módulo	41
Figura 25 - Curva característica P – V de potência e tensão de um módulo.....	42
Figura 26 - Associação em série	43
Figura 27 - Associação em paralelo	43
Figura 28 - Cabeamento tradicional	44
Figura 29 - Cabeamento leap-frog	45
Figura 30 - Caixa de junção	45
Figura 31 - Conector MC4	46
Figura 32 - Influência da irradiação	47
Figura 33 - Influência da temperatura	48
Figura 34 - Dimensões do módulo	49
Figura 35 - Tensão de circuito aberto medido em voltímetro.....	50
Figura 36 - Corrente de curto-circuito medido no amperímetro.....	51
Figura 37 - Selo Procel.....	52
Figura 38 - Inversor fotovoltaico	54
Figura 39 - Princípio funcionamento inversor	54
Figura 40 - Comportamento dos transistores	55
Figura 41 - Componentes internos de um inversor	56
Figura 42 - Blocos de controle de um inversor	56
Figura 43 - Conexões elétricas do inversor	57
Figura 44 - Faixa de tensão entrada inversor.....	58
Figura 45 - Vista da parte inferior de um inversor	59
Figura 46 - Inversor com strings em 4 MPPTs diferentes	60
Figura 47 - Inversor com apenas um MPPT	63

Figura 48 - Inversor com entrada para duas strings e duas MPPTs.....	63
Figura 49 - Comportamento de dois rastreadores MPPTs	64
Figura 50 - String box CC.....	65
Figura 51 - String box CC aberta.....	65
Figura 52 - String box CA aberta	66
Figura 53 - Sistema solar fotovoltaico em montagem	67
Figura 54 - Localização da APAE de José Bonifácio	69
Figura 55 - Foto do local realizada por drone.....	70
Figura 56 - Ginásio do local de estudo.....	70
Figura 57 - Irradiação solar no plano inclinado.....	71
Figura 58 - Imagem do local no software PV*SOL®	72
Figura 59 - Impressora utilizada	73
Figura 60 - Modelo de Ginásio	74
Figura 61 - Modelo de painel.....	74
Figura 62 - Modelo inversor.....	75
Figura 63 - Área do telhado escolhido.....	77
Figura 64 - Marca do Inversor utilizado	80
Figura 65 - Caixa do ramal de entrada.....	82
Figura 66 - Disjuntor da instalação.....	82
Quadro 1 - Dados solarimétricos no plano inclinado para José Bonifácio/SP	86
Figura 67 - Comportamento de consumo da conta de energia	87
Figura 68 - Circuito elétrico da string box do inversor de 8 e 6 kW	95
Figura 69 - Resultado da simulação PV*SOL®.....	96
Figura 70 - Simulação PV*SOL®	96
Figura 71 - Ginásio da APAE com os painéis fotovoltaicos	97
Figura 72 - Inversores confeccionados na impressora 3D	97
Figura 73 - Orçamentos realizados	99
Figura 74 - Momento payback orçamento 1	104
Figura 75 - Momento payback orçamento 2	105
Figura 76 - Momento payback orçamento 3.....	107
Figura 77 - Momento payback descontado orçamento 1	109
Figura 78 - Momento payback descontado orçamento 2	110
Figura 79 - Momento payback descontado orçamento 3	111
Figura 80 - VPL por orçamento	112
Figura 81 - TIR por orçamento	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mapa do setor solar no Brasil	30
Tabela 2 - Empreendimentos por estado	31
Tabela 3 - Empreendimentos por classe de consumo	32
Tabela 4 - Informações do módulo fotovoltaico da BYD PHK-36-SÉRIE-4BB	48
Tabela 5 - Ficha técnica do módulo fotovoltaico da BYD PHK-36-SÉRIE-4BB	49
Tabela 6 - Características térmicas	53
Tabela 7 - Características elétricas (CC) do inversor Growatt 8000MTL-S	57
Tabela 8 - Características elétricas (CA) do inversor Growatt 8000MTL-S	60
Tabela 9 - Dados gerais do inversor Growatt 8000MTL-S	61
Tabela 10 - Relação de latitude com ângulo de inclinação do módulo	71
Tabela 11 - Histórico de consumo anual de 2019	76
Tabela 12 - Dados do orçamento 1	98
Tabela 13 - Dados do orçamento 2	98
Tabela 14 - Dados do orçamento 3	98
Tabela 15 - Depreciação do módulo fotovoltaico	99
Tabela 16 - Projeção do reajuste tarifário	100
Tabela 17 - Previsão da tarifa com o reajuste tarifário	101
Tabela 18 - Previsão do valor pago de tarifa após instalação dos painéis	102
Tabela 19 - Economia após instalação dos painéis	102
Tabela 20 - Fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para orçamento 1	103
Tabela 21 - Fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para orçamento 2	104
Tabela 22 - Fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para orçamento 3	106
Tabela 23 - Fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos para orçamento 1	108
Tabela 24 - Fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos para orçamento 2	109
Tabela 25 - Fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos para orçamento 3	111
Tabela 26 - Valor presente líquido por orçamento	112
Tabela 27 - Taxa interna de retorno por orçamento	113

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
Km	quilômetros
Kg	quilogramas
K	kelvin
°	graus
δ	declinação solar
ω	ângulo horário
θ_z	ângulo zenital solar
φ	latitude
TW	terawatt
Mtep	milhões de toneladas equivalente de petróleo
GW	gigawatt
MW	megawatt
GWh	gigawatt-hora
km^2	quilômetro quadrado
kWh	quilowatt-hora
mW	microwatt
cm^2	centímetro quadrado
Si	silício
c-Si	silício cristalino
m-Si	silício monocristalino
p-Si	silício policristalino
a-Si	filmes finos silício amorfo
V	volts
I	corrente
P	potência
m^2	metro quadrado
W	watt
m-Si	silício monocristalino
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
Voc	tensão de circuito aberto
Isc	corrente de curto circuito
Vmp	tensão máxima potência
Imp	corrente máxima potência
Pmp	potência de pico
n	eficiência
°C	graus celsius
Hz	hertz
CC	corrente contínua
CA	corrente alternada
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
mm	milímetro
mm^2	milímetro quadrado
m^2	metro quadrado
V_{oc}	tensão de circuito aberto
V_{mpp}	tensão de máxima potência

Pbs payback simples

Pbd payback descontado

VPL valor presente líquido

TIR taxa interna de retorno

CRESESB centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de S.Brito

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Recurso solar	20
2.1.1 Geometria Solar	20
2.2 Energia Solar Fotovoltaica.....	23
2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica no Mundo	24
2.2.1.1 Parque Solar Desert Tenger – China.....	27
2.2.1.2 Kurnool Ultra Mega – Índia.....	28
2.2.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	28
2.2.2.1 APAE Passo Fundo	33
2.2.2.2 APAE São Vicente	33
2.2.2.3 APAE Jundiaí.....	34
2.3 Célula fotovoltaica	35
2.3.1 Silício cristalino (c-Si)	35
2.3.1.2 Silício monocristalino (m-Si).....	36
2.3.1.3 Silício policristalino (p-Si)	37
2.3.1.4 Silício amorfo (a-Si).....	38
2.4 Módulo fotovoltaico	39
2.4.1 Características elétricas	40
2.4.1.2 Curvas características de corrente, tensão e potência.....	41
2.4.1.3 Associações de células e módulos fotovoltaicos	42
2.4.1.3.1 Associações em série.....	42
2.4.1.3.2 Associações em paralelo.....	43
2.4.1.3.3 Tipos de ligações de cabeamento em associações	44
2.4.1.3.3.1 Cabeamento tradicional	44
2.4.1.3.3.2 Cabeamento <i>leap-frog</i>	44
2.4.1.3.4 Caixas de junção.....	45
2.4.1.3.5 Conector MC4	46
2.4.1.4 Influências externas que afetam parâmetros elétricos	46
2.4.1.4.1 Influência da irradiação solar	46
2.4.1.4.2 Influência da temperatura.....	47
2.4.1.4 Características dos módulos fotovoltaicos	48

2.4.1.4.1	Folha de dados.....	48
2.4.1.4.2	Características elétricas em STC	49
2.4.1.4.2.1	Tensão de circuito aberto (Voc)	50
2.4.1.4.2.2	Corrente de curto-circuito (Isc)	50
2.4.1.4.2.3	Tensão de máxima potência (Vmp)	51
2.4.1.4.2.4	Corrente de máxima potência (Imp)	51
2.4.1.4.2.5	Potência de pico ou máxima potência (Pmp)	51
2.4.1.4.2.6	Eficiência do módulo (n).....	51
2.4.1.4.3	Características elétricas em NOCT	52
2.4.1.4.4	Características térmicas	52
2.5	Inversor.....	53
2.5.1	Funcionamento	54
2.5.2	Modo de conexão.....	57
2.5.3	Características elétricas	57
2.5.3.1	Faixa útil de tensão contínua na entrada	58
2.5.3.2	Tensão contínua máxima na entrada	58
2.5.3.3	Número máximo de <i>strings</i> na entrada	59
2.5.3.4	Número de entradas independentes com MPPT	59
2.5.3.5	Tensão de operação na conexão com a rede.....	60
2.5.3.6	Frequência da rede elétrica.....	60
2.5.3.7	Grau de proteção	61
2.5.3.8	Faixa de temperatura operacional.....	61
2.5.3.9	Umidade relativa	61
2.5.3.10	Autoconsumo à noite.....	62
2.5.3.11	Máxima potência fotovoltaica recomendada.....	62
2.5.3.12	Potência nominal de saída CA	62
2.5.4	Tecnologia MPPT	62
2.6	<i>String Box</i> CC	64
2.7	<i>String Box</i> CA	66
2.8	ANEEL.....	67
2.8.1	Resolução normativa 482.....	67
2.8.2	Resolução normativa 687.....	68
3.	METODOLOGIA	69
3.1	Caracterização do lócus da pesquisa	69
3.2	Inclinação, Orientação e Irradiação da APAE	70
3.3	Ferramentas utilizadas	72

3.3.1 PV*SOL®	72
3.3.2 Impressora 3D.....	73
3.3.3 AutoCAD®.....	75
3.3.4 Microsoft Excel	75
3.4 Levantamento de consumo elétrico.....	76
3.5 Módulo fotovoltaico.....	76
3.5.1 Equações utilizadas para módulos fotovoltaicos	77
3.5.1.1 Potência do gerador fotovoltaico	78
3.5.1.2 Número de módulos	78
3.5.1.3 Potência com base no número de módulos	78
3.5.1.4 Energia que irá gerar.....	79
3.6 Inversor fotovoltaico	79
3.6.1 Equações utilizadas para inversores fotovoltaicos	80
3.6.1.1 Correção de V_{oc} – Tensão de circuito aberto	80
3.6.1.2 Correção de V_{mppt} – Tensão de máxima potência	81
3.7 Padrão de entrada da APAE.....	81
3.8 Proteção CC/CA	83
3.9 Orçamento.....	84
3.10 Indicadores de análise de viabilidade econômico-financeiro.....	84
3.10.1 Payback simples (Pbs).....	84
3.10.2 Payback descontado (Pbd)	84
3.10.3 Valor presente líquido (VPL).....	85
3.10.4 Taxa interna de retorno (TIR)	85
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
4.1 Dados solarimétricos e inclinação dos módulos fotovoltaicos	86
4.2 Levantamento de consumo elétrico.....	86
4.3 Módulo fotovoltaico.....	87
4.3.1 Potência do gerador fotovoltaico	87
4.3.2 Número de módulos fotovoltaicos	88
4.3.3 Potência do gerador considerando o número de módulos	88
4.3.4 Energia a ser gerada considerando o número de módulos.....	89
4.4 Inversor fotovoltaico	89
4.4.1 Correção de V_{oc} – Tensão de circuito aberto	89
4.4.1.2 Correção de V_{oc} – Para o inversor de 8 kW	90
4.4.1.3 Correção de V_{oc} – Para o inversor de 6 kW	90
4.4.2 Correção de V_{mppt} – Tensão de máxima potência	91

4.4.2.1 Correção de V_{mppt} – Para o inversor de 8 kW.....	91
4.4.2.2 Correção de V_{mppt} – Para o inversor de 6 kW.....	92
4.5 Padrão de entrada da APAE	92
4.6 Cabeamento CA	93
4.7 Proteção CA	94
4.8 Proteção CC	95
4.9 Diagrama unifilar completo do projeto fotovoltaico	95
4.10 Simulação 3D - PV*SOL®.....	95
4.11 Simulação Impressora 3D	96
4.12 Orçamentos realizados	97
4.13 Viabilidade econômico-financeiro.....	99
4.13.1 Degradação do módulo	99
4.13.2 Tarifas e tributos	100
4.13.3 Payback simples (Pbs).....	102
4.13.4 Payback descontado (Pbd)	107
4.13.5 Valor presente líquido (VPL).....	112
4.13.6 Taxa interna de retorno (TIR)	113
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS.....	117
ANEXO A – <i>Datasheet</i> módulo fotovoltaico	125
ANEXO B – <i>Datasheet</i> inversor 8 kW fotovoltaico	127
ANEXO C – Conta de energia completa DA APAE.....	129
ANEXO D – <i>Datasheet</i> inversor 6 kW fotovoltaico	130
ANEXO E – Norma GED-13 CPFL Paulista.....	132
ANEXO F – Diagrama unifilar do padrão de entrada.....	133
ANEXO G – Diagrama unifilar da planta de energia solar.....	134

1. INTRODUÇÃO

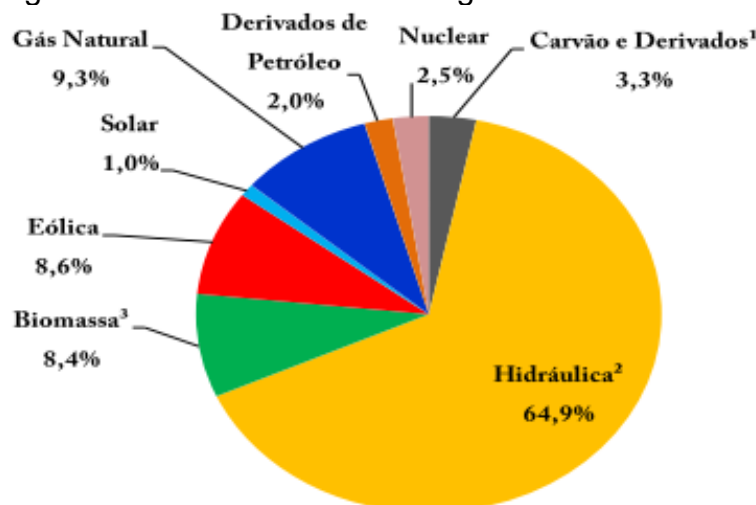
O mundo enfrenta três grandes desafios, a crescente demanda de energia e a necessidade tanto de redução das emissões de gases de efeito estufa quanto de melhoria da eficiência energética. A energia renovável é uma das formas existentes para lidar com esse dilema, pois, empregando a energia de forma mais eficiente, contribui para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, além de desempenhar um papel importante na garantia da segurança energética, auxiliar na proteção ambiental e aumentar as oportunidades de emprego em vários países (LI et al., 2020).

Visto que o consumo de combustíveis fósseis pelas cidades é reconhecido como uma das principais causas de problemas climáticos, há um interesse crescente em aumentar o potencial de autossuficiência energética das cidades, promovendo uma transição do sistema tradicional para o de energia sustentável (COLLAÇO et al., 2019).

O Brasil é um país em desenvolvimento e sua demanda por energias renováveis, não considerando hidrelétricas, está em ascensão. Nos últimos anos, a energia solar foi introduzida na matriz elétrica e as perspectivas para o desenvolvimento dessa tecnologia são excelentes. Além disso, o recurso solar pode ser explorado em todas as regiões do Brasil (ANDRADE SANTOS et al., 2020).

No Brasil, a matriz elétrica é de origem predominantemente renovável, possui 64,900% de oferta interna proveniente de fonte hídrica. As fontes renováveis no país representam 83,000% (soma da participação hídrica e as demais fontes renováveis de energia), conforme apresentado na Figura 1 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020).

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2020).

Geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica proporcionando diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão, o baixo impacto ambiental, a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2016a).

Desde 17 de abril de 2012 (Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012), a ANEEL criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, possibilitando que o consumidor brasileiro possa gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição na forma de créditos, válidos por 60 meses (ANEEL, 2016a).

1.1 Objetivos

O trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade econômica e financeira de implantação de uma planta de energia solar fotovoltaica na APAE – Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais, localizada na cidade de José Bonifácio no interior do estado de São Paulo, com base em indicadores econômicos. Para tanto, fez-se necessário o conhecimento do funcionamento dos equipamentos de energia solar, a economia proporcionada pelo sistema, diagrama unifilar da planta e do padrão da

APAE a fim de validar e justificar o investimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

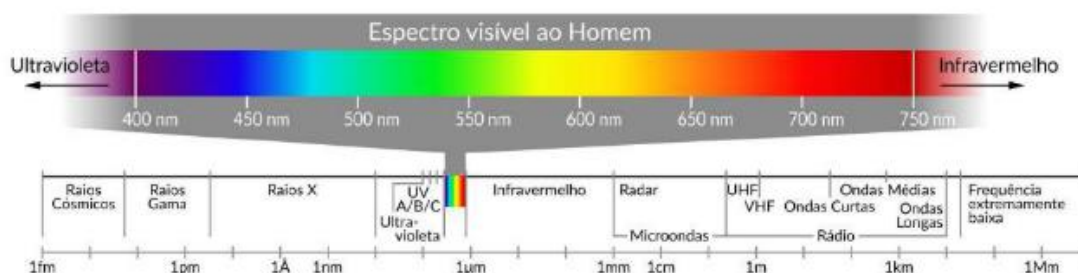
2.1 Recurso solar

A energia proveniente do Sol se tornou uma das alternativas mais promissoras para este milênio. Esta energia não é renovável, mas uma fonte inesgotável. O planeta terra recebe energia solar a uma taxa de 120×10^{15} watts (PEREIRA et al., 2006; FADLALLAH e SERRADJ, 2020).

O Sol é uma estrela de magnitude de raio de 696.000 Km e massa de 1.989×10^{30} Kg, cuja energia irradiada é formada por reações de fusão nuclear entre átomos de Hidrogênio para formar Hélio, possui como temperatura efetiva 5.785 K. A energia recebida em um único dia é capaz de satisfazer a energia do mundo por aproximadamente vinte anos (FADLALLAH e SERRADJ, 2020; PINHO e GALDINO, 2014).

A energia irradiada cobre uma ampla faixa do espectro eletromagnético, com comprimentos de onda que vai do visível ao infravermelho (PEREIRA et al., 2006). O espectro eletromagnético pode ser melhor visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Espectro eletromagnético



Fonte: Pereira et al. (2006).

2.1.1 Geometria Solar

A quantidade de energia de radiação que a Terra recebe têm influência direta sobre a posição do Sol e da Terra e um em relação ao outro, transparência atmosférica e a altura acima do nível do mar. O eixo da Terra apresenta uma inclinação de aproximadamente $23,450^\circ$, esta inclinação somada com o movimento ao redor do Sol define as estações do ano, conforme Figura 3 (PEREIRA et al., 2006; PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 3 - Geometria Solar

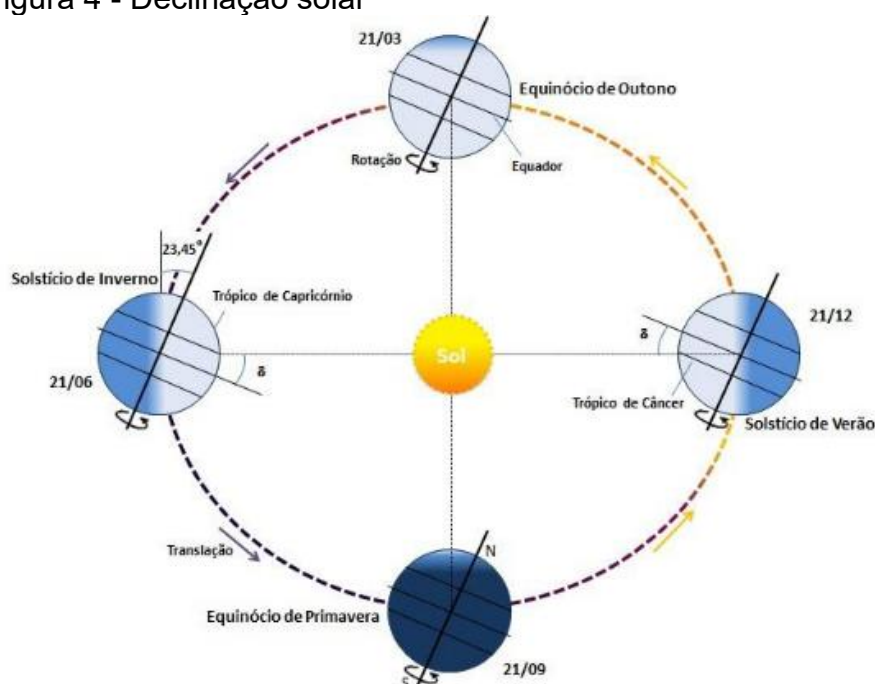


Fonte: Pereira et al. (2006).

As estações do ano são determinadas pelos solstícios (quando o Sol, durante seu movimento aparente na esfera celeste, atinge a maior declinação em latitude a partir do Equador) e os equinócios (quando o Sol, durante seu movimento, cruza o Equador). No hemisfério Sul, se caracteriza verão quando o polo Sul está direcionado para o Sol, já o inverno ocorre quando o polo Sul está voltado para a direção oposta à do Sol (PEREIRA et al., 2006).

O ângulo formado entre os raios solares e o plano do Equador é denominado declinação solar (δ). Este sofre variação de $+23,450^\circ$ durante o dia 21 de junho e $-23,450^\circ$ em 21 de dezembro, podendo ser visualizado na Figura 4 (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 4 - Declinação solar



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

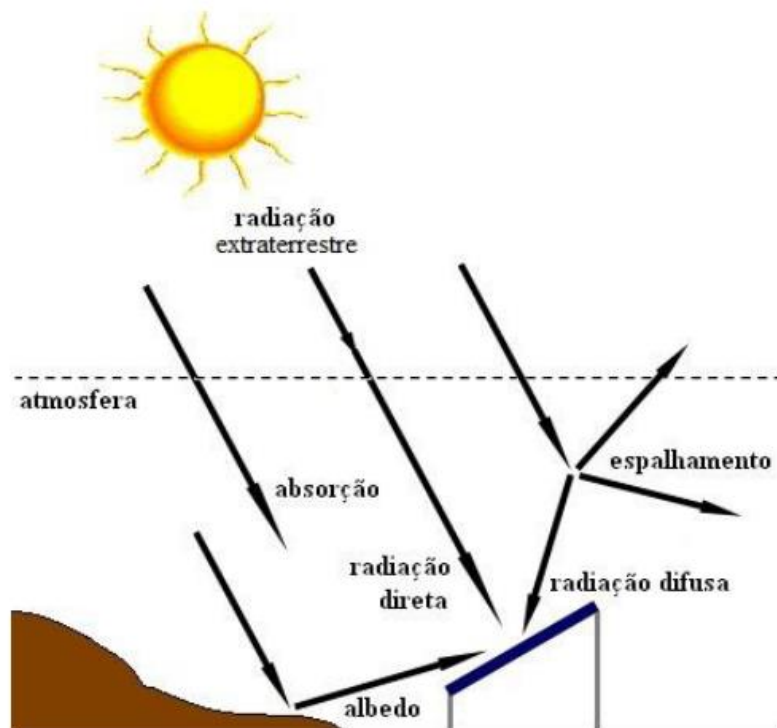
O ângulo horário (ω) (descrição do movimento aparente do Sol devido à rotação da terra) mostra a posição do Sol desde o seu nascer (leste) até o seu pôr (oeste), em comparação com o meridiano local. Começando a manhã com valor negativo, zero quando o Sol está no meridiano e positivo no período da tarde (LI et al., 2020; LÁZÁR et al., 2020).

O ângulo formando entre a vertical no ponto de observação e a direção da linha que liga o mesmo ponto da superfície da Terra ao Sol é chamado de ângulo zenital solar (θ_z) (PEREIRA et al., 2006; PINHO e GALDINO, 2014).

Pode ser calculado conhecendo-se os valores da latitude do local (ϕ), a declinação solar (δ) e o ângulo horário solar (ω). O ângulo zenital, a partir da direção do Norte Geográfico, varia de -180° quando a projeção do Sol estiver a leste e a $+180^\circ$ a oeste, chegando a 90° quando o Sol possuir menor declividade do dia (PEREIRA et al., 2006; PINHO e GALDINO, 2014; LÁZÁR et al., 2020).

Considerando a radiação solar que chega na Terra e que incide sobre a superfície, a incidente é dividida em irradiação solar direta (provem diretamente do Sol, sem sofrer desvios) e difusa (proveniente de todas as radiações que sofreram desvio devido ao espelhamento e absorção da atmosfera terrestre). De acordo com a Figura 5, o coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado “albedo” (PEREIRA et al., 2006; PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 5 - Radiação incidente



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.2 Energia Solar Fotovoltaica

Segundo Hosenuzzaman et al. (2015) aproximadamente 25,700% da energia total proveniente do Sol é utilizada em conversores solares, correspondendo a $3,600 \times 10^4$ TW. A capacidade diária de energia solar é 282 vezes maior que o consumo anual de eletricidade do mundo (HOSENUZZAMAN et al., 2015).

A energia solar é a fonte mais promissora de geração de energia para aplicações residenciais, comerciais, industriais e áreas rurais. O sistema que utiliza células fotovoltaicas para converter irradiação solar em energia elétrica é chamado de sistema solar fotovoltaico (SOBRI, KOOHI-KAMALI e RAHIM, 2020; WAN et al., 2016).

O surgimento do conceito fotovoltaico foi observado em 1839 por Becquerel, por meio da investigação de células eletrolíticas e do efeito da luz do Sol sobre elas. Após mais de 100 anos passados, Chapin e Fuller descobriram a primeira célula fotovoltaica de silício com capacidade de converter energia da irradiação do Sol em energia elétrica (SOUDI et al., 2020; MATTHEWS, 2009; CHAPIN, FULLER e PEARSON, 1954).

Segundo dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2020b), o preço da eletricidade, proveniente de fontes renováveis de energia, tem caído com

o passar dos anos. Este decréscimo levantou a atenção de países do mundo a aderir uma fonte de energia renovável em sua grade energética (AL-SHAHRI et al., 2021; IRENA, 2020a).

2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica no Mundo

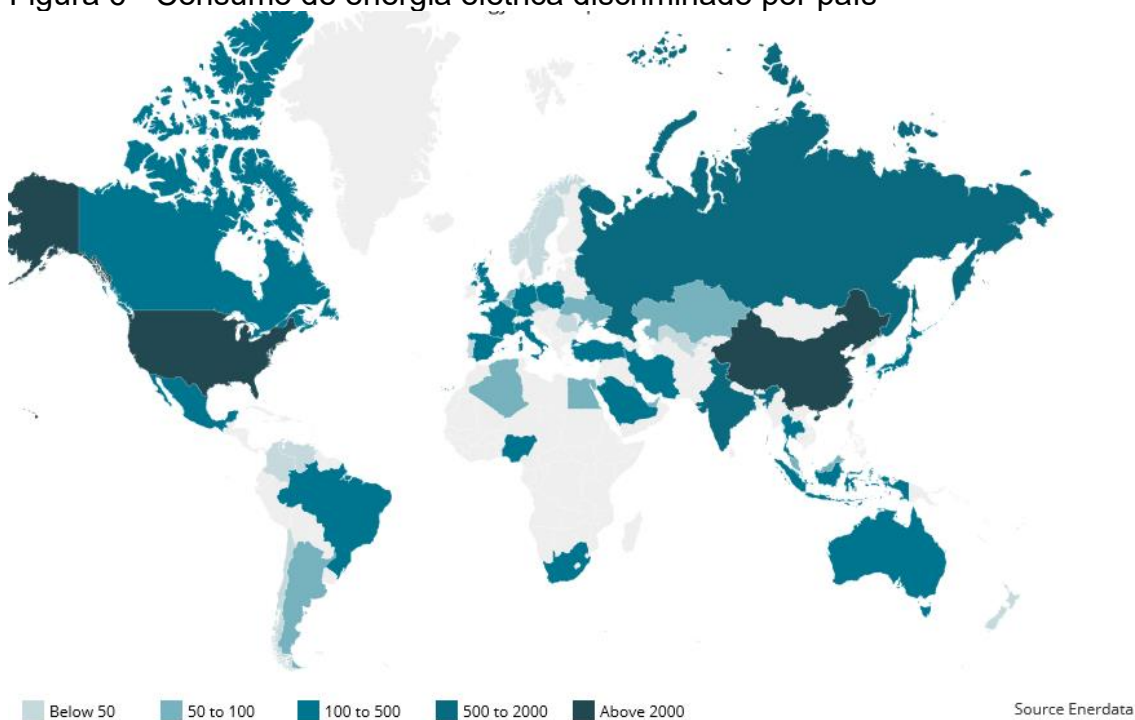
A energia solar fotovoltaica a cada dia se torna mais importante no mundo para substituir a energia provinda de combustíveis fósseis para uma energia proveniente de fontes renováveis (WANG, HE e CHEN, 2021).

Segundo a Enerdata (2019), o país que mais consome energia no mundo é a China com um consumo de energia elétrica na ordem de 3.284 Mtep seguido por Estados Unidos da América (2.213 Mtep) e Índia (913 Mtep).

A energia solar fotovoltaica a cada dia se torna mais importante no mundo para substituir a energia provinda de combustíveis fósseis para uma energia proveniente de fontes renováveis (WANG, HE e CHEN, 2021).

Segundo a Enerdata (2019), o país que mais consome energia no mundo é a China com um consumo de energia elétrica na ordem de 3.284 Mtep seguido por Estados Unidos da América (2.213 Mtep) e Índia (913 Mtep). Conforme representado na Figura 6.

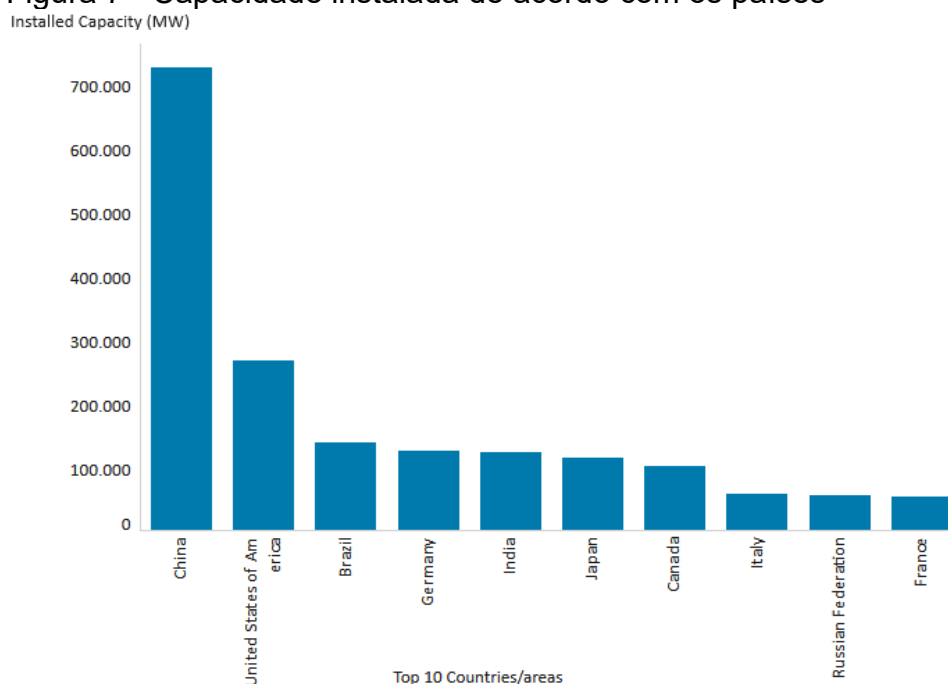
Figura 6 - Consumo de energia elétrica discriminado por país



Fonte: Enerdata (2019).

No ano de 2019, a capacidade instalada de energias renováveis obteve o seu maior aumento de todos os tempos, cresceu mais de 200 gigawatts (GW). No ano de 2018 a capacidade instalada na China foi de 725.478,175 MW, Estados Unidos da América (265.700,300 MW) e Brasil (136.155,939 MW), conforme Figura 7. (REN21, 2020; IRENA, 2020b).

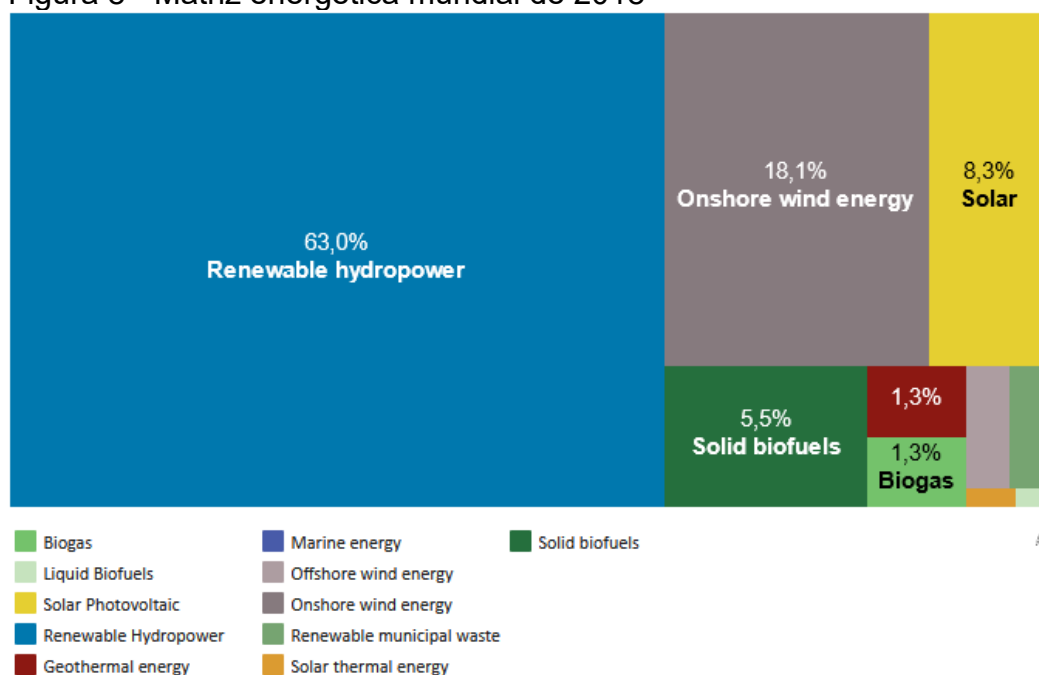
Figura 7 - Capacidade instalada de acordo com os países



Fonte: Irena (2020b).

A matriz energética mundial sofreu evolução na participação de energia solar como um todo para geração de eletricidade, em 2017 apresentava sobre o total 6,9% da matriz mundial (426.023,850 GWh) e em 2018 evoluiu para 8,300%, conforme apresentado na Figura 8 (549.833,150 GWh), este aumento entre outros fatores, é devido a melhoria da tecnologia além do incentivo a pesquisas (IRENA, 2020c).

Figura 8 - Matriz energética mundial de 2018

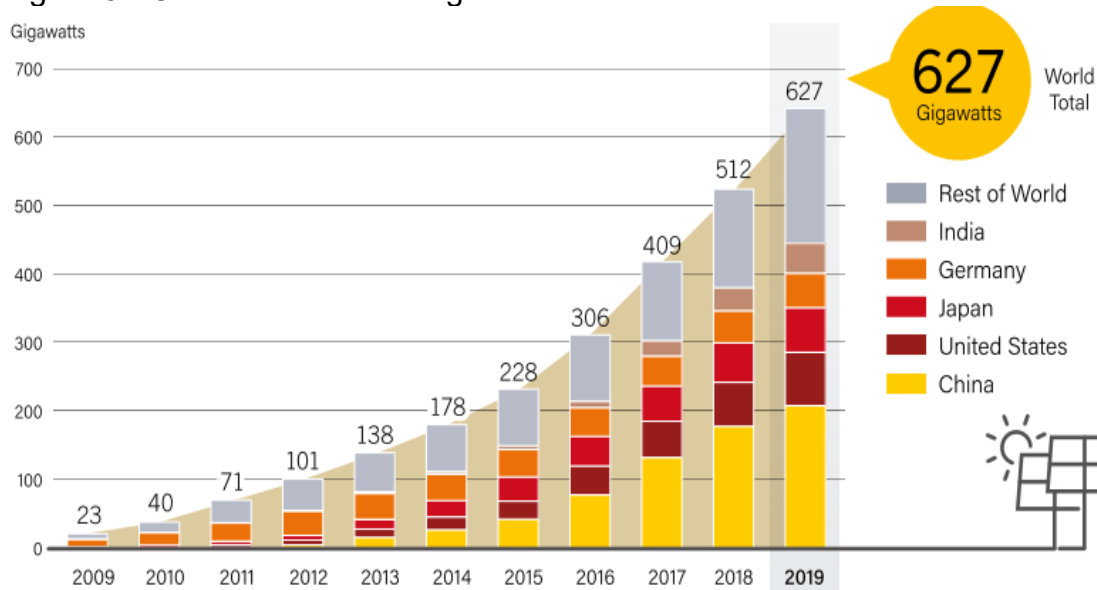


Fonte: Irena (2020c).

Em 2019, cerca de 115 GW de energia solar fotovoltaica foram adicionados em todo o mundo, consolidando a tecnologia por trás da energia solar. Entre as renováveis, 57% das adições de capacidade de energia renovável foram de energia solar fotovoltaica. Pelo quinto ano consecutivo, a capacidade de geração de energia renovável ultrapassou as de combustíveis fósseis (REN21, 2020).

Com o crescimento da demanda por energia solar fotovoltaica, a sua utilização se torna a opção mais competitiva para geração de eletricidade para aplicações residenciais e comerciais. Porém, ainda existem desafios a serem enfrentados para que esta energia evolua, incluindo política e desafios financeiros em muitos países (REN21, 2020). O crescimento da energia solar no Brasil pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 - Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo



Fonte: REN21 (2020).

2.2.1.1 Parque Solar *Desert Tenger* – China

É o maior parque solar do mundo. Construído no início de 2012, terminado em 2015, ligando-se na rede em 2016. Cobre uma área de 1.200km^2 , produz um total de 1.547MW e é gerenciado pela *National Grid Zhongwei Power Supply Co* (REIS, 2020). O parque *Desert Tenger* pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 - *Solar Desert Tenger*



Fonte: Reis (2020).

2.2.1.2 Kurnool Ultra Mega – Índia

Em 28 de abril de 2018 o parque solar *Kurnool Ultra Mega* foi ligado à rede. Tem 900MW de capacidade de produção e, quando terminado terá um total de 1.000MW (REIS, 2020). O parque solar *Kurnool Ultra Mega* pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 - *Kurnool Ultra Mega*



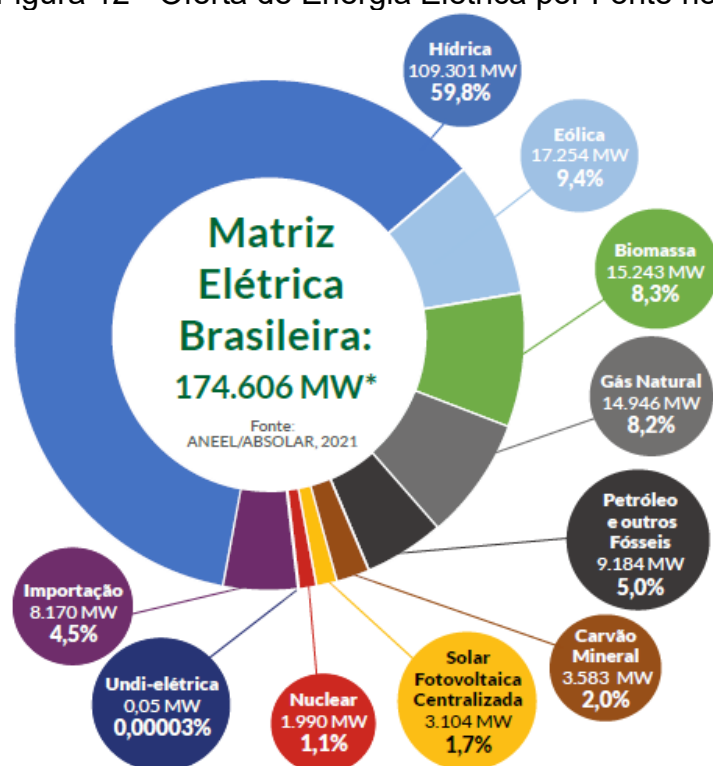
Fonte: Reis (2020).

2.2.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

A demanda por eletricidade tende a crescer em todo o mundo, em que 90% deste crescimento da demanda venha de países em desenvolvimento, classificação esta que o Brasil se enquadra (GEI, 2014).

O Brasil em 2030 espera-se uma demanda de energia triplicada e consequentemente uma maior demanda de energia por pessoa, este aumento deve-se a alguns aspectos: crescimento da população acima de 30 milhões, aumento do PIB nacional e envelhecimento da população (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020; CARSTENS e CUNHA, 2019). A oferta de energia elétrica por fonte no Brasil pode ser visualizada na Figura 12.

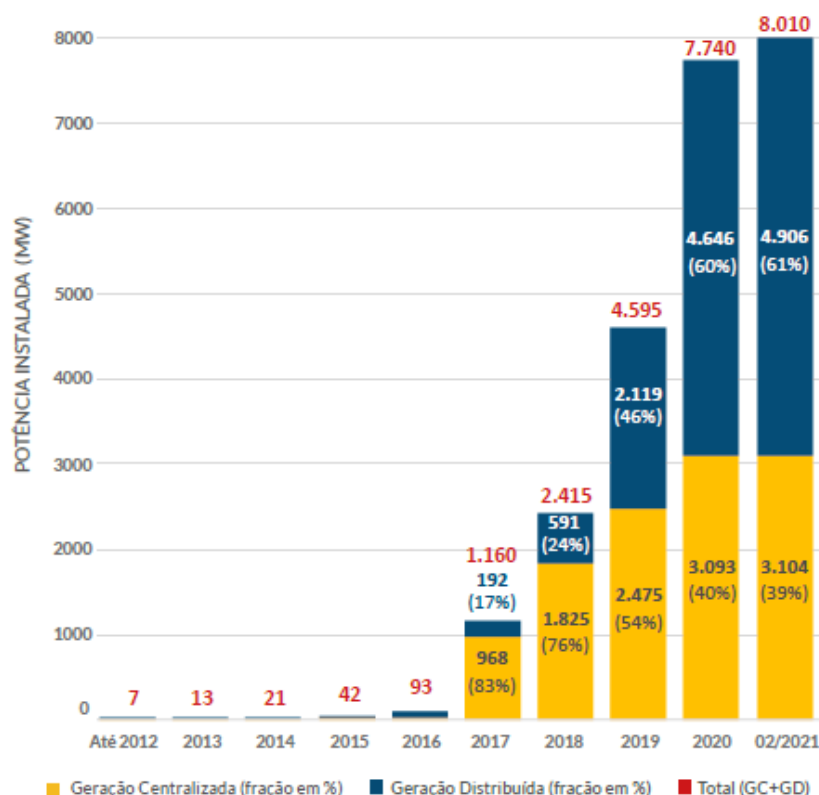
Figura 12 - Oferta de Energia Elétrica por Fonte no Brasil



Fonte: Absolar (2021)

A energia solar fotovoltaica no Brasil está em constante desenvolvimento de tecnologia, típica da fase de nicho da fonte energética. Que depende do reconhecimento de seu valor e importância para evoluir e passar a competir com outras fontes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020; KAMP e. BERMÚDEZ, 2016). A evolução da energia solar fotovoltaica pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13 - Evolução da Energia Solar Fotovoltaica



Fonte: Absolar (2021).

O setor de energia solar brasileiro pode ser dividido em 7 grupos, conforme demonstra a Tabela 1:

Tabela 1 - Mapa do setor solar no Brasil

Grupo	Formação
Indústria fotovoltaica	Composta por indústrias de painéis fotovoltaicos, empresa e sindicato de trabalhadores, pequenos empresários.
Instituições Governamentais	Compostas pelo Ministério de Minas e Energia, EPE - Empresa de Pesquisa Energética, ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
Associações e ONG's	Constituídas principalmente por associações fotovoltaicas, agências de cooperação e organizações não governamentais de fies tecnológico e ambiental. As principais organizações desse grupo são: ISES (International Solar Energy Society) e ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica).
Financiamento	Bancos internacionais e nacionais, cooperativas de crédito em nível regional e local e outras empresas financeiras.
Educação e formação profissional	Formado principalmente em Universidades e institutos de ensino.
Geração centralizada fotovoltaica	Com grande organização energética e grandes usinas fotovoltaicas. Para esse

Geração Distribuída FV	grupo, os atores mais importantes são a organização multinacional de energia, que costuma vencer os leilões no país. Envolvendo os microgeradores, principalmente cooperativas residenciais e rurais.
------------------------	--

Fonte: Carstens e Cunha (2019).

Segundo a ANEEL (2019), o Brasil do período de 31 de dezembro de 2008 até o mesmo período em 2020, acumulou um total de 385.870 empreendimentos com geração distribuída, apresentando potência instalada de 4.655.026,090 kW, conforme apresentado na Tabela 2.

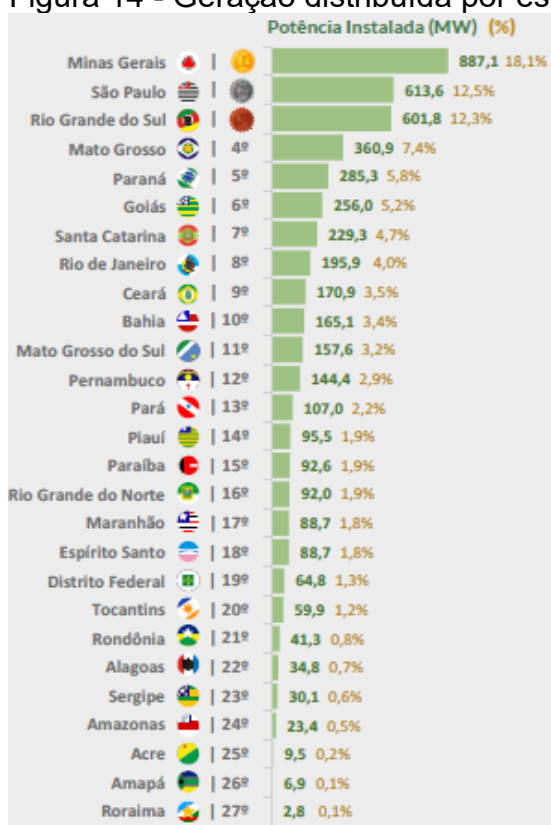
Tabela 2 - Empreendimentos por estado

Estado	Empreendimentos	Potência instalada (kW)
Centro Oeste	53.298	790.242,920
Nordeste	65.643	865.583,050
Norte	19.966	237.260,620
Sudeste	158.615	1.685.939,740
Sul	88.348	1.075.999,760
Total	385.870	4.655.026,090

Fonte: Aneel (2019).

De acordo com os dados da Absolar (2021), os estados com maior participação de geração distribuída são Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul, que detêm juntos aproximadamente 42,90% da potência instalada do país. A geração distribuída por estado pode ser visualizada na Figura 14.

Figura 14 - Geração distribuída por estado



Fonte: Absolar (2021).

Há estimativa para que em 2029 o número de consumidores residenciais atinja o total de 86 milhões. Este incremento mostra o potencial da energia solar fotovoltaica e a necessidade de investimento no setor para que possa englobar o maior número de geração distribuída (BRASIL, 2020).

Segundo a ANEEL (2019), o Brasil do período de 31 de dezembro de 2008 até o mesmo período em 2020 acumulou um total de 283.651 empreendimentos residenciais com geração distribuída, apresentando potência instalada de 1.796.185,880 kW, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Empreendimentos por classe de consumo

Classe	Empreendimentos	Potência instalada (kW)
Comercial	64.330	1.786.923,64
Iluminação pública	26	829,890
Industrial	9.402	403.315,990
Poder público	1.455	57.235,190
Residencial	283.651	1.796.185,880
Rural	26.896	606.264,610
Serviço público	110	4.270,890
Total	385.870	4.655.026,090

Fonte: Aneel (2019).

2.2.2.1 APAE Passo Fundo

Com uma estrutura física superior a três mil metros quadrados, a APAE de Passo Fundo investiu em energia solar fotovoltaica com o objetivo de reduzir as despesas mensais que giram em torno de R\$ 150 mil. As placas fotovoltaicas foram adquiridas através de um projeto aprovado pela Justiça Federal e instaladas em 2019 por meio de um programa de eficiência energética (ABSOLAR, 2020).

A energia solar é captada através de 85 painéis instalados em uma parte do telhado da instituição. Em pouco mais de um ano foi possível notar uma economia de cerca de 85% da energia consumida que, além da economia mostra uma produção limpa e sustentável (ABSOLAR, 2020). A instalação na instituição pode ser visualizada na Figura 15.

Figura 15 - APAE Passo Fundo



Fonte: APAE Passo Fundo (2019).

2.2.2.2 APAE São Vicente

A Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais – APAE São Vicente apresentou bons resultados em sua conta de energia elétrica, dois anos após a instalação de um sistema de geração fotovoltaica no telhado, que capta a incidência dos raios solares e produz energia elétrica. A economia está em torno de R\$ 480,000 por mês, uma redução de custos de 21,300% (PORTAL SOLAR, 2020).

São Vicente está localizada em uma região que apresenta um dos menores índices de irradiação solar no estado, devido ao elevado volume de chuvas e umidade. A análise do desempenho diário da planta solar durante um ano registrou uma média de 21,350 kWh. A geração de energia diária oscilou de 42,400 kWh em dia pleno de Sol, em meados de dezembro, e 2,100 kWh para um dia chuvoso, no início de agosto (PORTAL SOLAR, 2020). A instalação na instituição de São Vicente pode ser visualizada na Figura 16.

Figura 16 - APAE São Vicente



Fonte: APAE São Vicente (2021).

2.2.2.3 APAE Jundiaí

A instalação das placas solares já rendeu para a APAE de Jundiaí uma redução de 95% na conta de energia elétrica. Geralmente, por mês, a conta de energia elétrica superava o valor de R\$ 4 mil. Após a instalação dos sistemas solares, a conta mensal diminuiu para R\$ 300,000 (PORTAL SOLAR, 2019).

Os visitantes da APAE podem acompanhar, em tempo real, a quantidade de energia que está sendo gerada, além de conseguirem ver o quanto foi gerado em um certo período do dia, facilitando a identificação da economia e a eficiência. Toda essa transparência de ações ligadas ao uso da energia solar concede ainda mais valor à APAE (PORTAL SOLAR, 2019). A instalação realizada na APAE de Jundiaí pode ser visualizada na Figura 17.

Figura 17 - APAE Jundiaí



Fonte: APAE Jundiaí (20--?).

2.3 Célula fotovoltaica

A primeira célula fotovoltaica de silício, com capacidade de converter energia da irradiação do Sol em energia elétrica, foi descoberta por Chapin e Fuller. Estas células foram fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino atingindo eficiência de 6% com potência de 5 mW e área de 2 cm^2 (PINHO e GALDINO, 2014; CHAPIN, FULLER e PEARSON, 1954).

O principal tipo de célula fotovoltaica, que dominam o mercado atualmente, são fabricadas utilizando o silício (Si), podendo ser constituído de cristal, silício cristalino (c-Si) dividindo-se silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si) e filmes finos de silício amorfo (a-Si) (PINHO e GALDINO, 2014; PORTAL SOLAR, 20--?a).

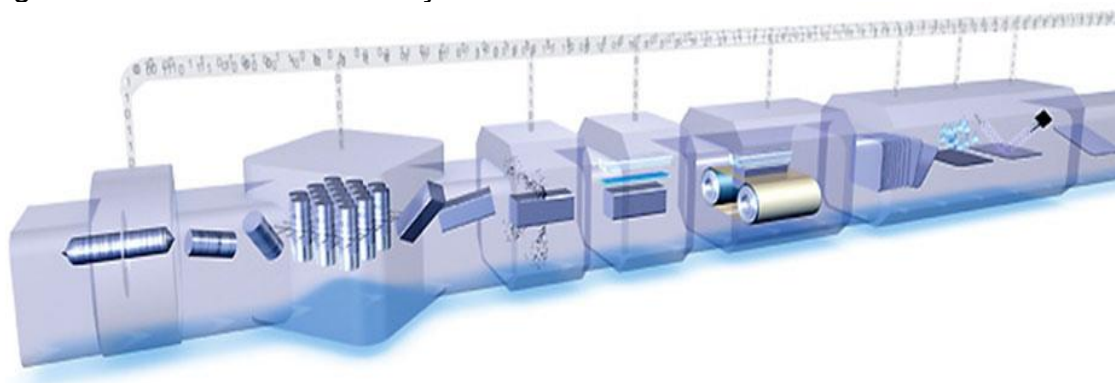
2.3.1 Silício cristalino (c-Si)

Desde o seu início, a célula solar de silício cristalino (c-Si) foi identificada como a única fonte de energia renovável sustentável de longo prazo, favorável ao ambiente e de baixo custo para substituir os combustíveis fósseis (SOPIAN, CHEOW e ZAIDI, 2017).

As células de silício cristalino, também conhecidas como “silício de grau solar”, são fatias de lingotes de silício cristalino tratadas quimicamente para que possam produzir energia elétrica com a luz do Sol por meio do efeito fotovoltaico, cujo processo

de formação pode ser visualizado na Figura 18. (PORTAL SOLAR, 20--?a).

Figura 18 - Processo de formação célula silício cristalino



Fonte: Portal Solar (20--?a).

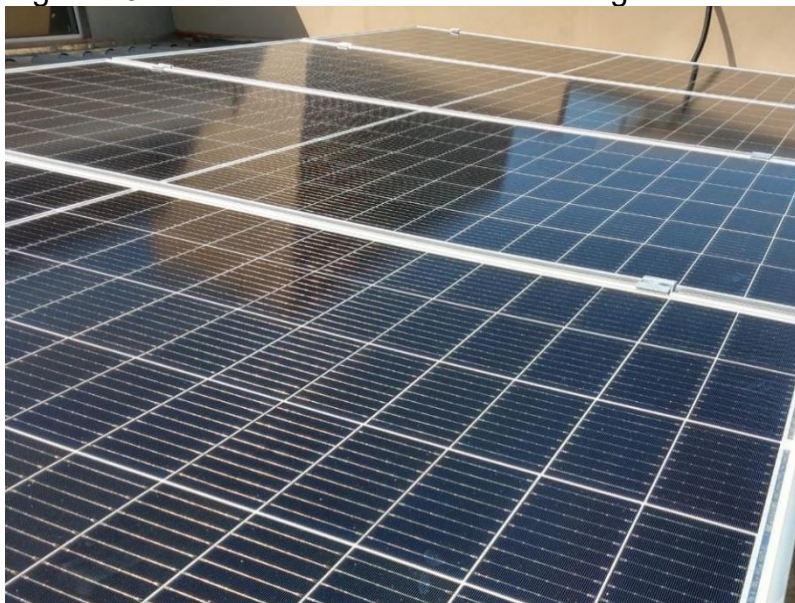
2.3.1.2 Silício monocristalino (m-Si)

As células de silício monocristalino são o principal produtor das células de energia solar e representam 90% da cota mundial de sistemas solares do mercado fotovoltaico mundial (SOPIAN, CHEOW e ZAIDI, 2017).

Segundo Shockley e Queisser (1961), em seus estudos a máxima eficiência de conversão da energia da irradiação em energia elétrica é de 30%. Atualmente a eficiência dos painéis solares com a tecnologia monocristalino possui eficiência de 15% a 22% (SHOCKLEY e QUEISSER, 1961; PORTAL SOLAR, 20--?b).

Durante o processo de fabricação e serviço de células solares de silício monocristalino, as rachaduras são inevitavelmente vazias, o que afetará o desempenho da conversão fotovoltaica (LI et al., 2019). Um exemplo de painel com a tecnologia de monocristalino pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - Painel fotovoltaico com tecnologia monocristalino



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.1.3 Silício policristalino (p-Si)

As células também são feitas de silício purificado, no entanto, o processo de fundição é diferente. O silício purificado é fundido em grandes blocos. Células de silício policristalino são comumente usados em painéis fotovoltaicos e são menos eficientes do que as feitas de silício monocristalino (PORTAL SOLAR, 20--?a).

O silício policristalino é um componente chave na construção de painéis solares. Como o processo de fabricação da célula solar de silício policristalino é simples, o custo é relativamente baixo. A eficiência dos painéis solares com a tecnologia policristalino possui eficiência de 13% a 19% (CHEN, et al., 2011). Um painel com tecnologia policristalino pode ser visualizado na Figura 20.

Por apresentar uma eficiência menor que a tecnologia monocristalino eles necessitam um maior espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica que painéis utilizando outras tecnologias (PORTAL SOLAR, 20--?b).

Figura 20 - Painel fotovoltaico com tecnologia policristalino



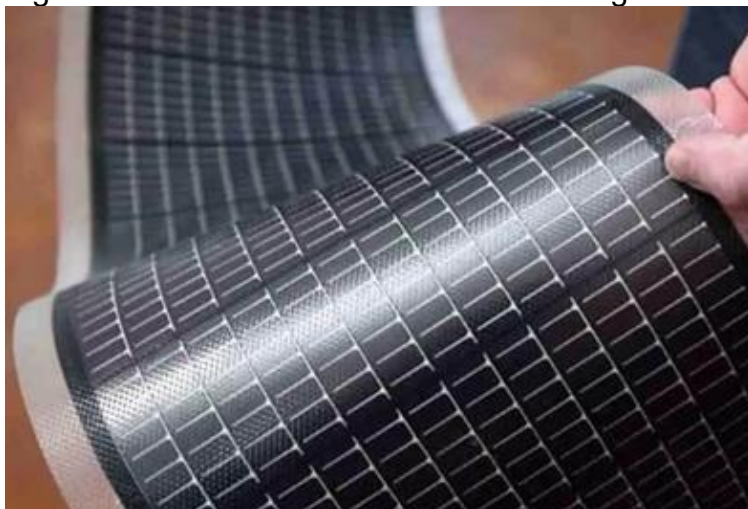
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.1.4 Silício amorfo (a-Si)

Considerando outras tecnologias como filmes finos, o silício amorfo (a-Si) foi a primeira no setor de células fotovoltaicas tendo em vista que no início dos anos 80 era comercialmente viável. Foi empregado em meados dos anos 70, se mostrando como tecnologia viável em equipamentos que apresentam consumo elétrico baixo (RÜTHER, 2004).

É conhecida por sua utilização para aplicações em pequena escala, pouco aplicada, o que implica uma baixa produção de energia elétrica em sua tecnologia. São fabricadas a partir do método de “empilhamento”, resultando em um custo mais elevado. Variando eficiência de 6% a 9% (PORTAL SOLAR, 20--?a). Um exemplo dessa tecnologia pode ser visualizado na Figura 21.

Figura 21 - Painel fotovoltaico com tecnologia amorfo



Fonte: Villalva (2020a).

2.4 Módulo fotovoltaico

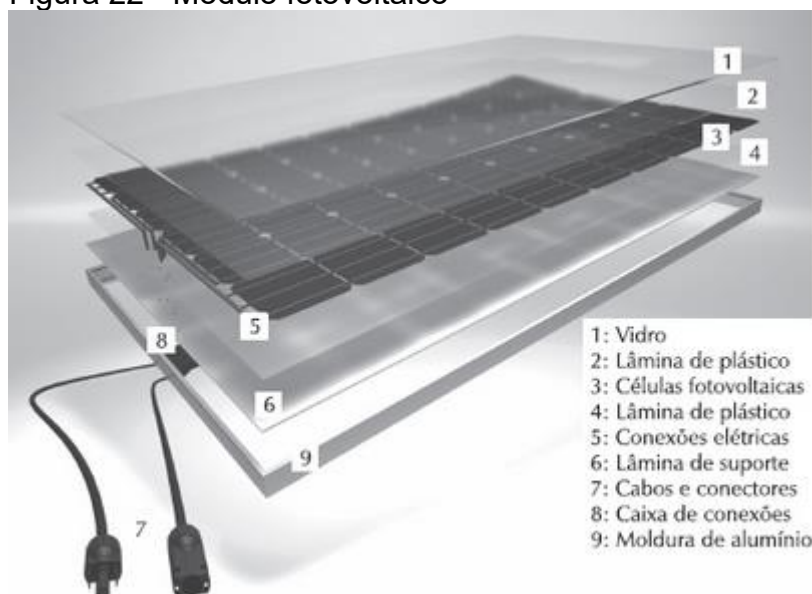
A energia que uma célula fotovoltaica gera não é suficiente para fazer funcionar um dispositivo elétrico. As células são conectadas em série para se obter uma tensão mais alta e em paralelo para obter uma corrente superior, aumentando assim a potência de saída. A energia produzida depende da “saúde” de cada célula. Quando todas as células estiverem saudáveis, o sistema funcionará em máxima eficiência (GNOLI et al., 2021; WANG e XUAN, 2021).

Segundo Villalva (2018), os termos módulo, placa ou painel têm o mesmo significado e são usados na literatura para descrever um conjunto empacotado de células fotovoltaicas, conforme é representado na Figura 22.

Um módulo fotovoltaico é formado por um conjunto de células montadas sobre uma estrutura rígida e conectadas eletricamente, normalmente as células são conectadas em série para produzir tensões maiores (VILLALVA, 2018).

No entanto, caso uma célula não estiver saudável ou estiver sobre efeito do sombreamento pode levar a uma grande degradação do desempenho do módulo (GNOLI et al., 2021).

Figura 22 - Módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2018).

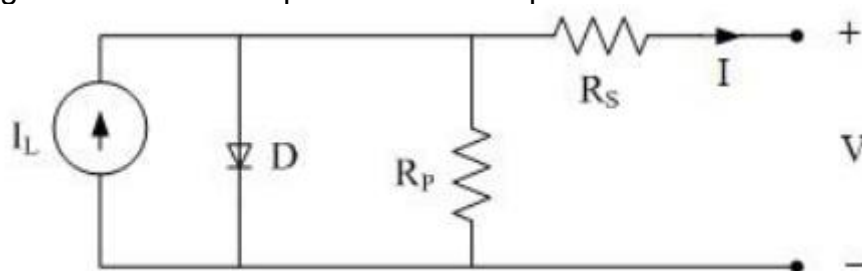
2.4.1 Características elétricas

Uma célula fotovoltaica consegue fornecer uma tensão elétrica de aproximadamente 0,600V. Como um módulo possui tensões superiores, é necessário um conjunto de células em série. Tipicamente um módulo tem 36, 54, 60 ou mais células, dependendo de sua potência (VILLALVA, 2018).

A corrente elétrica produzida por uma célula depende de sua área, pois a corrente elétrica depende diretamente da quantidade de luz recebida pela célula. Ou seja, quanto maior a área, maior é a captação de luz e consequentemente maior a corrente (VILLALVA, 2018).

Sombreamento em um módulo fotovoltaico prejudica o funcionamento de todo o conjunto de células fotovoltaicas, para mitigar este efeito negativo geralmente um ou mais diodos de by-pass são conectados em paralelo às células, tal dispositivo pode ser visualizado na Figura 23 (GNOLI et al., 2021).

Figura 23 - Circuito equivalente básico para célula fotovoltaica



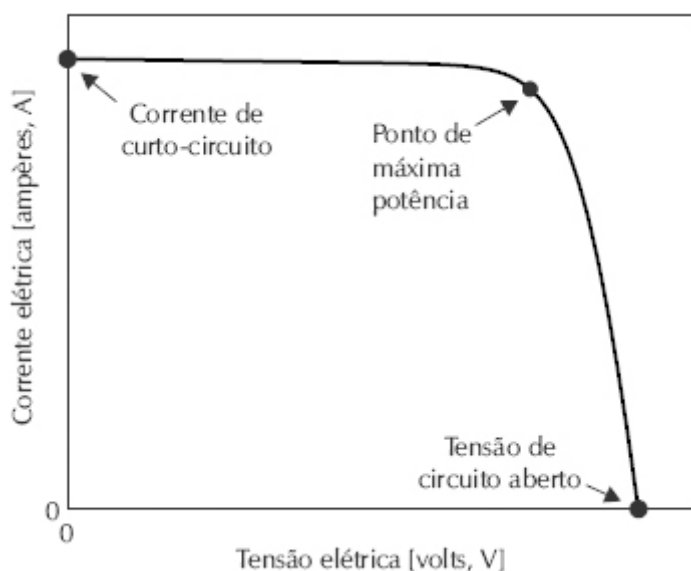
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.4.1.2 Curvas características de corrente, tensão e potência

Como a energia proveniente do Sol é um recurso que sofre variação ao longo do dia, um módulo fotovoltaico não apresenta uma tensão de saída constante em seus terminais, por exemplo, a de uma bateria elétrica. A tensão elétrica depende da sua corrente e vice-versa (VILLALVA, 2018).

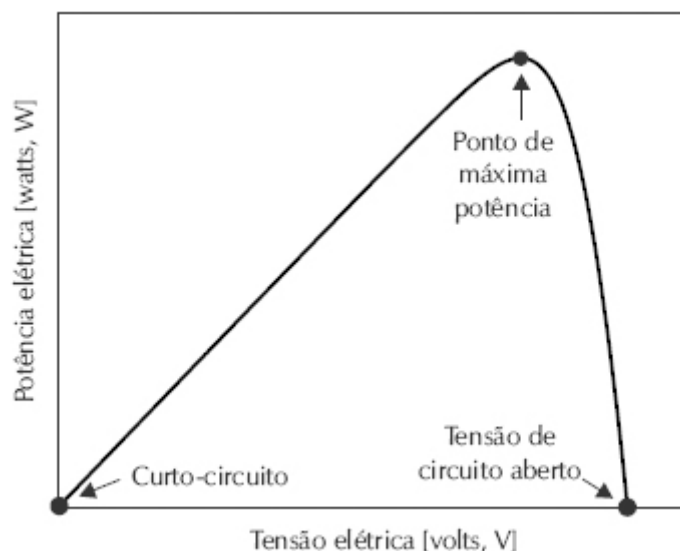
Segundo Villalva (2018), o valor da tensão e da corrente nos terminais do módulo depende do que está conectado em seus terminais. Se for conectado um aparelho que demanda muita corrente, a tensão de saída do módulo tende a cair, tal comportamento pode ser visualizado nas Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Curva característica I – V de corrente e tensão de um módulo



Fonte: Villalva (2018).

Figura 25 - Curva característica P – V de potência e tensão de um módulo



Fonte: Villalva (2018).

A corrente de curto-circuito surge quando colocamos em curto-circuito os terminais do módulo. Neste caso, não existe tensão elétrica e a corrente do módulo atinge o seu valor máximo, dependendo da intensidade da luz incidente (VILLALVA, 2018).

A tensão de circuito aberto é aquela que medimos na saída do módulo quando seus terminais estão abertos, ou seja, não há corrente. Essa é a máxima tensão que o módulo pode fornecer (VILLALVA, 2018).

Existe um único ponto nas curvas $I - V$ e $P - V$ que corresponde à situação na qual o módulo fornece a potência máxima. Se o módulo operar neste ponto produzirá energia maior (VILLALVA, 2018).

2.4.1.3 Associações de células e módulos fotovoltaicos

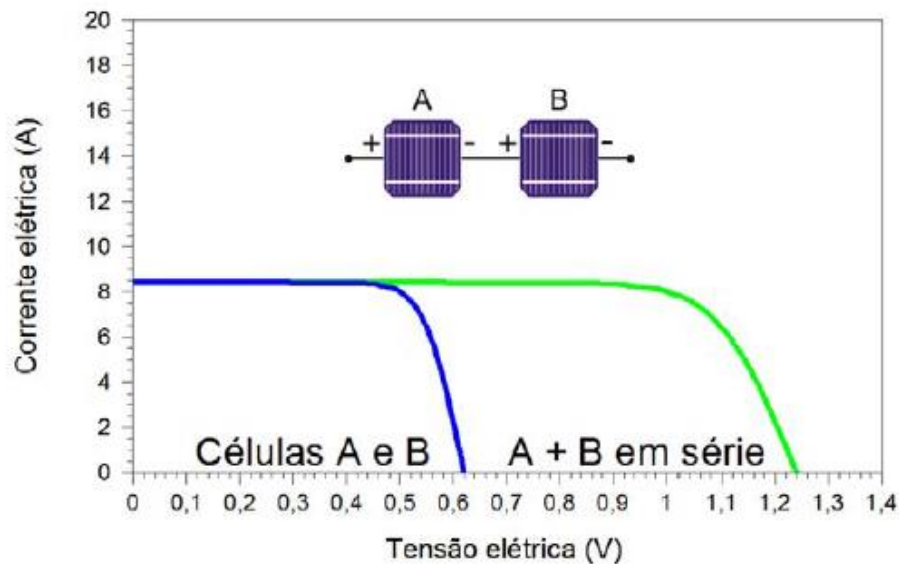
Os arranjos são formados por um conjunto de módulos ligados eletricamente em série e/ou paralelo, de forma a fornecer apenas uma saída de tensão e corrente (PINHO e GALDINO, 2014).

2.4.1.3.1 Associações em série

Na conexão em série, o terminal positivo de módulo fotovoltaico é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo e assim por diante. Quando dois módulos estão sobre a mesma irradiância as tensões são somadas e a corrente permanece

constante (PINHO e GALDINO, 2014). Tal associação pode ser visualizada na Figura 26.

Figura 26 - Associação em série

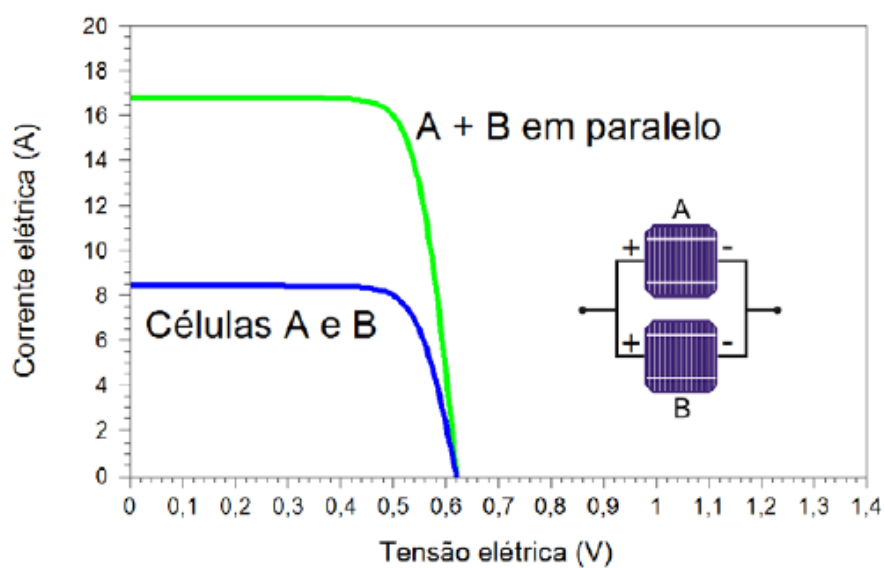


Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.4.1.3.2 Associações em paralelo

Os terminais positivos dos dois módulos são interligados entre si, assim como os terminais negativos, resultando em correntes somadas e tensões constantes (PINHO e GALDINO, 2014). Tal associação pode ser visualizada na Figura 27.

Figura 27 - Associação em paralelo



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

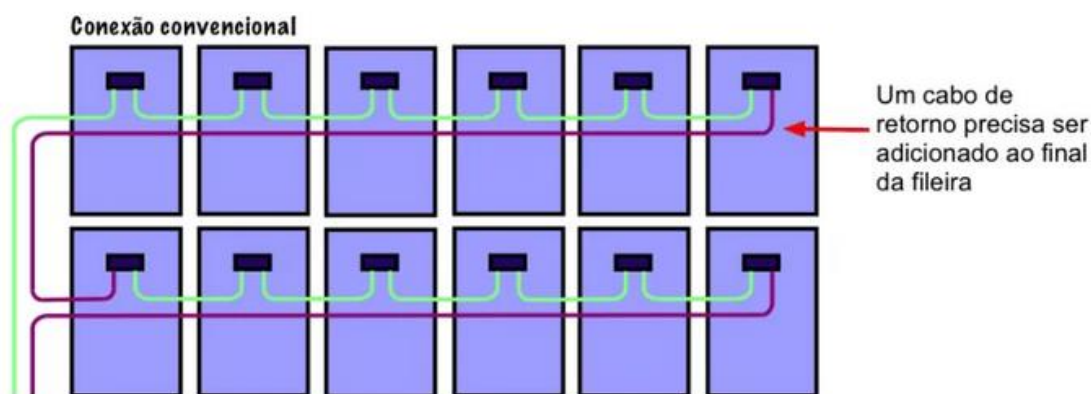
2.4.1.3.3 Tipos de ligações de cabeamento em associações

É de extrema importância atentar para o modo correto de realizar as conexões elétricas entre os módulos dos sistemas fotovoltaicos, não se pode simplesmente ligar um módulo no outro. Alguns aspectos devem ser observados para garantir o bom funcionamento do sistema e possibilitar a redução do consumo de cabos (VILLALVA, 2019a).

2.4.1.3.3.1 Cabeamento tradicional

O polo positivo de um módulo é ligado ao negativo do outro e assim sucessivamente. Os módulos da fileira de cima são conectados aos da fileira de baixo e assim por diante, até chegar ao final da *string* (conjunto de módulos em série) (VILLALVA, 2019a). Este tipo de cabeamento pode ser visualizado na Figura 28.

Figura 28 - Cabeamento tradicional



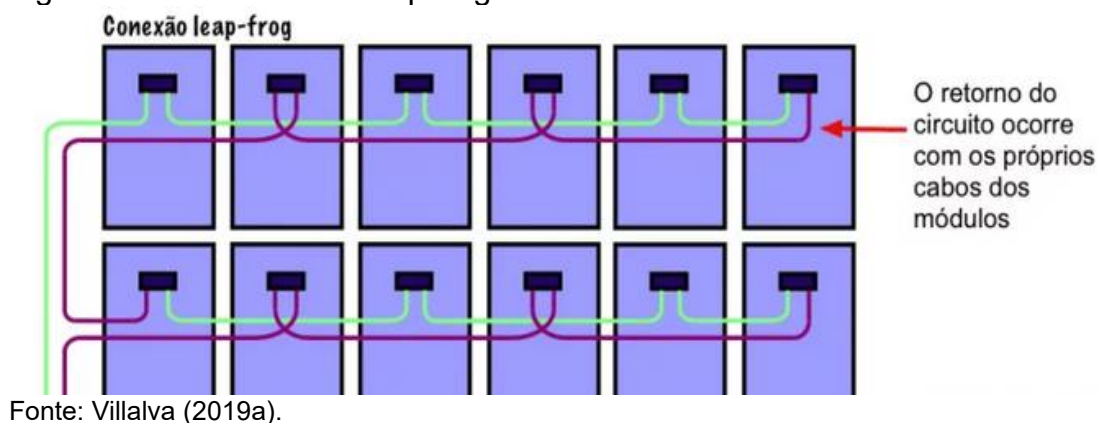
Fonte: Villalva (2019b).

2.4.1.3.3.2 Cabeamento *leap-frog*

Esse modo de ligação permite reduzir o custo com cabos elétricos nas instalações. As conexões de ida e volta são realizadas com os próprios cabos dos módulos, tanto na ida como na volta, evitando o uso de cabos de retorno (VILLALVA, 2019a).

Além de proporcionar economia, a conexão *leap-frog* ainda melhora o circuito, dando uma maior vida útil ao sistema por reduzir possíveis surtos eletromagnéticos (VILLALVA, 2019a). Este tipo de economia de cabeamento pode ser visualizado na Figura 29.

Figura 29 - Cabeamento leap-frog



2.4.1.3.4 Caixas de junção

As conexões dos painéis fotovoltaicos são realizadas por meio das caixas de junção, dispositivo este que fica na parte traseira do painel solar e contém no seu interior o diodo de by-pass, para caso o painel sofra sombreamento, o mesmo não perca eficiência, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Caixa de junção



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4.1.3.5 Conector MC4

Nos sistemas fotovoltaicos, especialmente no lado de corrente contínua, a preocupação com a qualidade das conexões elétricas deve ser redobrada, pois é o maior causa de incêndios em instalações que empregam componentes de baixa qualidade. Além do risco de arco elétrico, conexões ruins originam perdas e comprometem a vida útil dos equipamentos (CANAL SOLAR, 2020).

O sistema MC4, desenvolvido originalmente pela *Stäubli/Multi-Contact*, tornou-se um padrão mundialmente adotado no mercado fotovoltaico. Um conector confiável que deve proporcionar encaixes mecânico e elétrico perfeitos, garantindo conexão com baixa perda elétrica, com alta durabilidade e segurança, conforme apresentado na Figura 31. (CANAL SOLAR, 2020).

Figura 31 - Conector MC4



Fonte: Canal Solar (2020).

2.4.1.4 Influências externas que afetam parâmetros elétricos

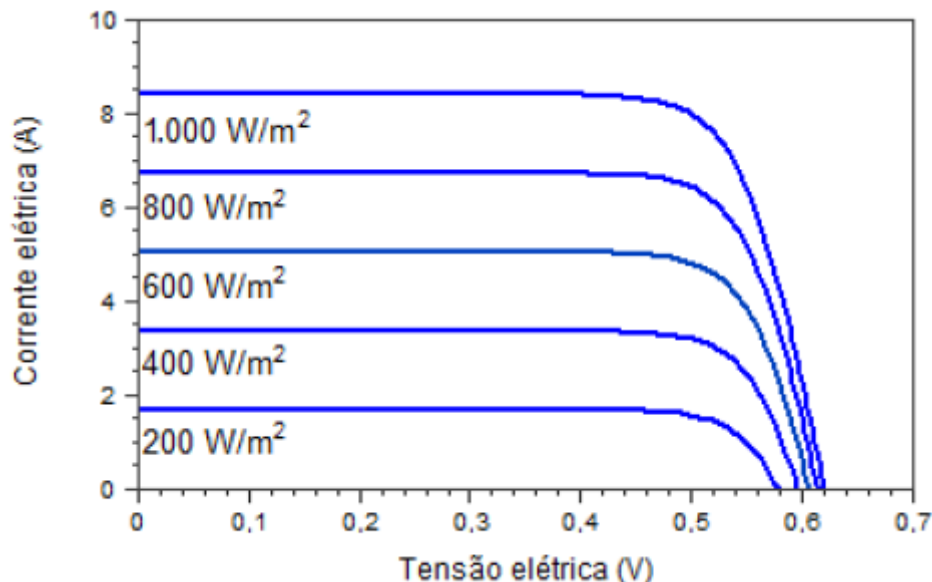
O desempenho de células fotovoltaicas é influenciado pela irradiância incidente, distribuição espectral, temperatura de operação da célula e condições de irradiância de até $1.000 \frac{W}{m^2}$, irradiância essa conhecida como 1 Sol (PINHO e GALDINO, 2014).

2.4.1.4.1 Influência da irradiação solar

A corrente máxima que o módulo pode fornecer varia proporcionalmente à irradiância. Com pouca luz a corrente fornecida pelo módulo é muito pequena e sua

capacidade de gerar energia é reduzida (VILLALVA, 2018). Tal comportamento pode ser visualizado na Figura 32.

Figura 32 - Influência da irradiação



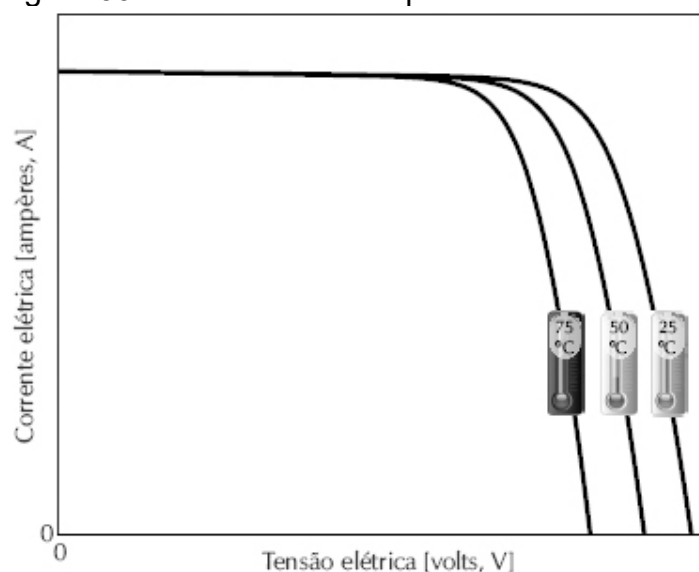
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

2.4.1.4.2 Influência da temperatura

A temperatura tem influência na tensão que o módulo fornece em seus terminais e consequentemente na potência fornecida. Em temperaturas mais baixas as tensões são maiores e em temperaturas mais altas as tensões são menores, ou seja, temperatura e tensão são parâmetros inversamente proporcionais, e estes parâmetros devem ser levados em consideração na elaboração de um sistema solar (VILLALVA, 2018).

O aumento da irradiância incidente e/ou da temperatura ambiente produz um aumento da temperatura da célula, e consequentemente tende a reduzir a sua eficiência (PINHO e GALDINO, 2014). Tal comportamento pode ser visualizado na Figura 33.

Figura 33 - Influência da temperatura



Fonte: Villalva (2018).

2.4.1.4 Características dos módulos fotovoltaicos

A partir da curva I - V mostrada na Figura 24, podem ser determinados parâmetros elétricos que caracterizam os módulos fotovoltaicos (PINHO e GALDINO, 2014).

2.4.1.4.1 Folha de dados

Os fabricantes de módulos fotovoltaicos disponibilizam para o público, folhas de dados com características elétricas, características mecânicas e outras informações relevantes sobre os módulos (VILLALVA, 2018). O datasheet do módulo pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 - Informações do módulo fotovoltaico da BYD PHK-36-SÉRIE-4BB

Tipo de módulo	325PHK-36	330PHK-36	335PHK-36	340PHK-36	345PHK-36
Tensão de circuito aberto (Voc)	44.94 V	45.19 V	45.44 V	45.69 V	45.94 V
Tensão máxima de funcionamento (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.10 V	38.36 V	38.62 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9.14 A	9.20 A	9.25 A	9.31 A	9.36 A
Corrente de potência de pico (Imp)	8.65 A	8.72 A	8.79 A	8.86 A	8.93 A
Potência máxima em STC (Pmax)	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp	345 Wp
Eficiência do módulo	16.45%	16.70%	16.95%	17.21%	17.46%
Temperatura de operação	-40°C ~ 85°C				
Valor nominal da corrente máxima do fusível	15A				
Tensão máxima do sistema	1500 VCC				
Tolerância de saída de potência	0 ~ 5 W				
Classe de aplicação	Classe A				

Fonte: Anexo A.

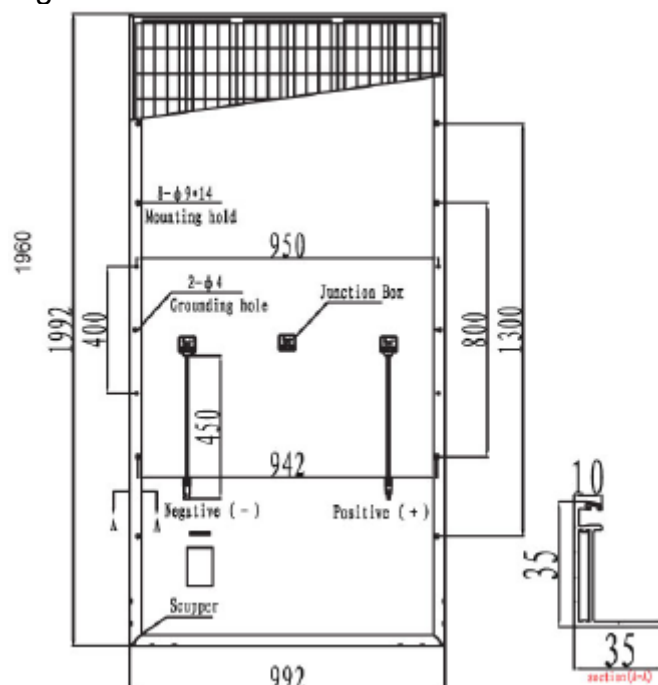
O fabricante do módulo, neste exemplo, disponibiliza os submodelos de 325 W, 330 W, 335 W, 340 W e 345 W. Na parte de “FICHA TÉCNICA” da folha de dados do painel também se encontra as dimensões (largura, altura, espessura, peso e o tipo de material). A folha de dados do módulo fotovoltaico e suas dimensões podem ser visualizadas na Tabela 5 e Figura 34.

Tabela 5 - Ficha técnica do módulo fotovoltaico da BYD PHK-36-SÉRIE-4BB

Dados de entrada	Valor
Célula	4 Bus Bar Solar Half Cell 156,750 x 78,735 mm
Número de células	144 (6 x 24) unidades
Dimensão do módulo	(1992 x 992 x 35) mm
Peso	22,200 Kg (48,840 Lb)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,200 mm com revestimento de AR
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP67
Conector	IP67
Diodos <i>by-pass</i>	3 unidades
Tipo de conector	Compatível com MC4
Área de seção do cabo	4 mm ² (0,0062 Sq in)
Comprimento do cabo	2 x 450 mm (2 x 17,720 polegadas)

Fonte: Anexo A.

Figura 34 - Dimensões do módulo



Fonte: Anexo A.

2.4.1.4.2 Características elétricas em STC

A sigla STC (*Standard Test Conditions*) se refere às condições padronizadas de

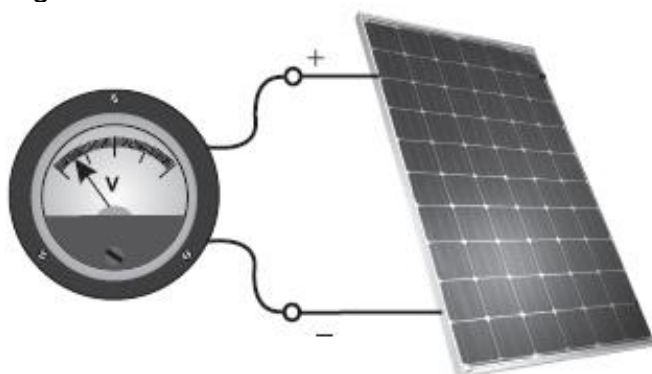
teste de módulo. Todos os fabricantes de módulos fotovoltaicos realizam estes testes nas mesmas condições, que são organismos internacionais de certificação. Assim, possibilita que o usuário possa comparar módulos de diversos fabricantes (VILLALVA, 2018).

A condição STC considera irradiância solar de $1.000 \frac{W}{m^2}$ e a temperatura da célula solar de $25^\circ C$. Essa condição é produzida em laboratório, ou seja, não se aproxima do real (VILLALVA, 2018).

2.4.1.4.2.1 Tensão de circuito aberto (V_{oc})

É a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando e é a máxima tensão que um módulo fotovoltaico pode produzir, medida em volts (V) (PINHO e GALDINO, 2014; VILLALVA, 2018). Tal parâmetro pode ser visualizado na Figura 35.

Figura 35 - Tensão de circuito aberto medido em voltímetro

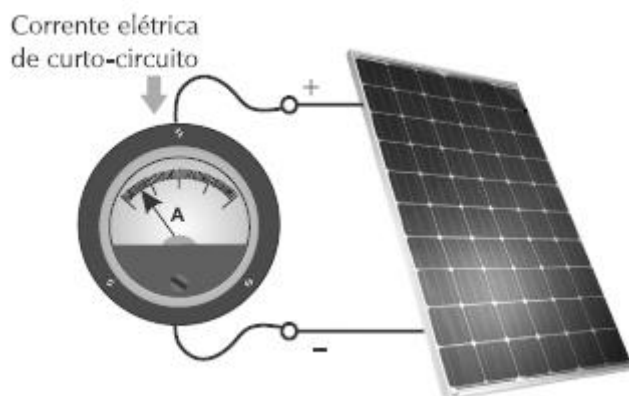


Fonte: Villalva (2018).

2.4.1.4.2.2 Corrente de curto-circuito (I_{sc})

É a máxima corrente que pode se obter e é medida na célula fotovoltaica quando a tensão em seus terminais é zero. Pode ser medida com um amperímetro e seu valor é em ampères (A) (PINHO e GALDINO, 2014; VILLALVA, 2018). Tal parâmetro pode ser visualizado na Figura 36.

Figura 36 - Corrente de curto-circuito medido no amperímetro



Fonte: Villalva (2018).

2.4.1.4.2.3 Tensão de máxima potência (V_{mp})

A tensão de máxima potência (V_{mp}) é o valor da tensão nos terminais do módulo fotovoltaico quando fornece sua potência máxima na condição STC. É a tensão do módulo no ponto de máxima potência mostrado na Figura 24 e Figura 25 (VILLALVA, 2018).

2.4.1.4.2.4 Corrente de máxima potência (I_{mp})

A corrente de máxima potência é o valor da corrente nos terminais do módulo fotovoltaico quando este fornece sua potência máxima na condição STC. Ou seja, é a corrente do ponto de máxima potência mostrado na Figura 24 e Figura 25 (VILLALVA, 2018).

2.4.1.4.2.5 Potência de pico ou máxima potência (P_{mp})

É a máxima potência que o módulo fotovoltaico pode fornecer na condição STC. Ou seja, é o valor da potência no ponto de máxima potência mostrado nas Figuras 24 e 25 (VILLALVA, 2018).

2.4.1.4.2.6 Eficiência do módulo (η)

É o parâmetro que define o quão efetivo é o processo de conversão de energia de irradiação em energia elétrica. Representa a relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente (PINHO e

GALDINO, 2014).

Após os testes realizados, os módulos fotovoltaicos recebem um selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o qual atesta a classe de eficiência do módulo, conforme ilustrado na Figura 37.

Figura 37 - Selo Procel



Fonte: Procel (2006).

2.4.1.4.3 Características elétricas em NOCT

A folha de dados do módulo fotovoltaico (*datasheet*) também fornece a tabela de características elétricas na condição de NOCT, que representa a temperatura normal de operação da célula (VILLALVA, 2018).

Esta condição leva em consideração o módulo em condições reais de operação, com temperatura da célula de $48,400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e taxa de radiação solar de $800\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Os valores obtidos na condição NOCT são mais próximos da condição real que os módulos fotovoltaicos estão instalados (VILLALVA, 2018).

2.4.1.4.4 Características térmicas

As características térmicas indicadas pelo *datasheet* mostra como o módulo se comporta diante de variações de temperatura (VILLALVA, 2018). Tal comportamento pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Características térmicas

Coeficiente de temperatura I_{sc}	$5,000 \frac{mA}{^{\circ}C}$
Coeficiente de temperatura V_{oc}	$-171 \frac{mV}{^{\circ}C}$
Coeficiente de temperatura P_{mp}	$-0,430 \frac{\%}{^{\circ}C}$

Fonte: Adaptado do Anexo A.

2.5 Inversor

O inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica que trabalha em corrente contínua (CC). A energia de corrente contínua pode ser encontrada em baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos (PINHO e GALDINO, 2014).

É necessário nos sistemas fotovoltaicos para alimentar consumidores em corrente alternada, devido a maior parte dos aparelhos eletrodomésticos serem construídos para trabalhar com a rede elétrica e tensão alternada. Para alimentar esses aparelhos é indispensável um sistema fotovoltaico possuir um inversor que converta corrente contínua em corrente alternada, tal equipamento pode ser visualizado na Figura 38. (VILLALVA, 2018).

Uma vez conectado com a rede, o inversor tem a função primordial de produzir em seus terminais uma corrente elétrica senoidal, sincronizada com a forma de onda da tensão da rede da concessionária, com o objetivo de injetar na rede elétrica a energia proveniente dos módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2019c).

Essa energia pode ser consumida instantaneamente pela casa do consumidor, ou pode ser exportada para a concessionária de energia elétrica, caso o consumo no ponto de injeção seja inferior à geração (VILLALVA, 2019c).

Figura 38 - Inversor fotovoltaico

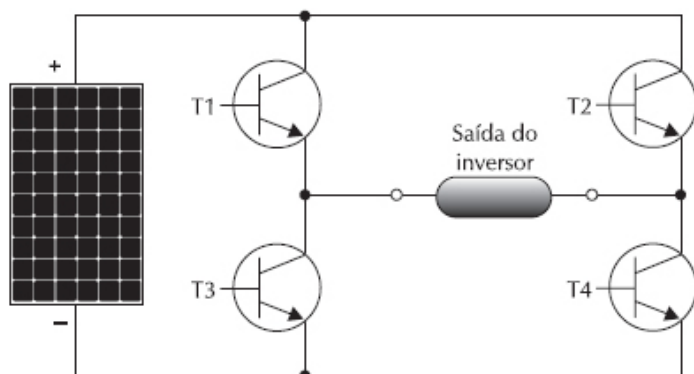


Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5.1 Funcionamento

O princípio de funcionamento do inversor é baseado em um circuito eletrônico com quatro transistores, denominados T1, T2, T3 e T4, constantemente são abertos e fechados para transferir a tensão e a corrente elétrica proveniente do módulo (corrente contínua) para os terminais do inversor (corrente alternada) (VILLALVA, 2018). O funcionamento do inversor pode ser visualizado na Figura 39.

Figura 39 - Princípio funcionamento inversor

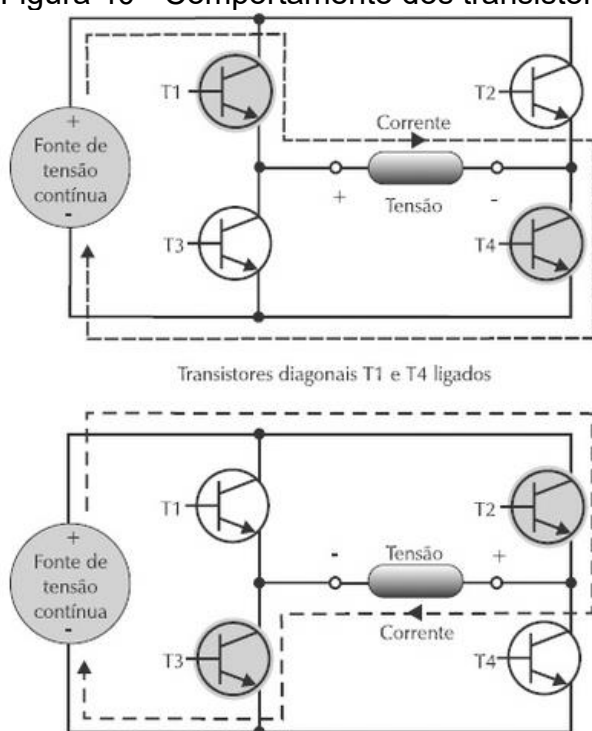


Fonte: Villalva (2018).

O módulo fotovoltaico é conectado ao conjunto de chaves ou transistores. Quando os transistores de uma diagonal são ligados, a tensão de saída nos terminais

do inversor é positiva. Em seguida, se desligar esta diagonal, a outra entra em funcionamento, aplicando uma tensão de polaridade invertida aos terminais de saída (VILLALVA, 2018). O comportamento dos transistores pode ser visualizado na Figura 40.

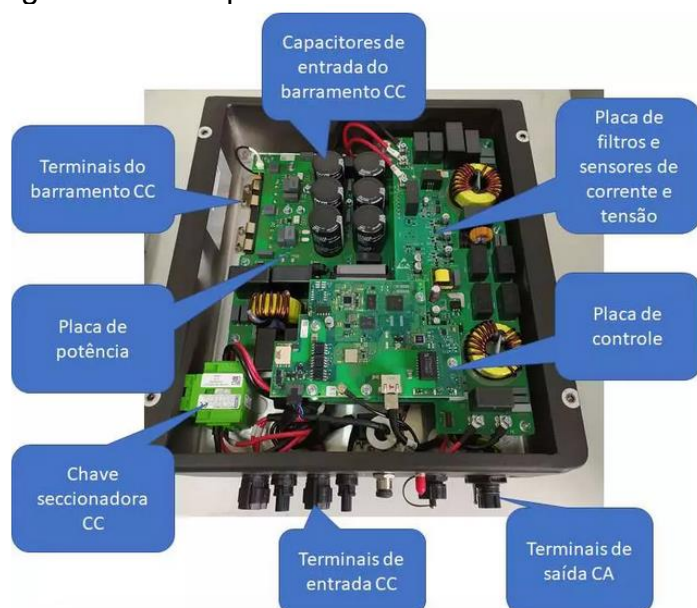
Figura 40 - Comportamento dos transistores



Fonte: Villalva (2018).

Os inversores encontrados comercialmente são mais complexos, possuindo uma grande quantidade de componentes, incluindo capacitores, microprocessador digital, entre outros (VILLALVA, 2018). Tais componentes podem ser visualizados na Figura 41.

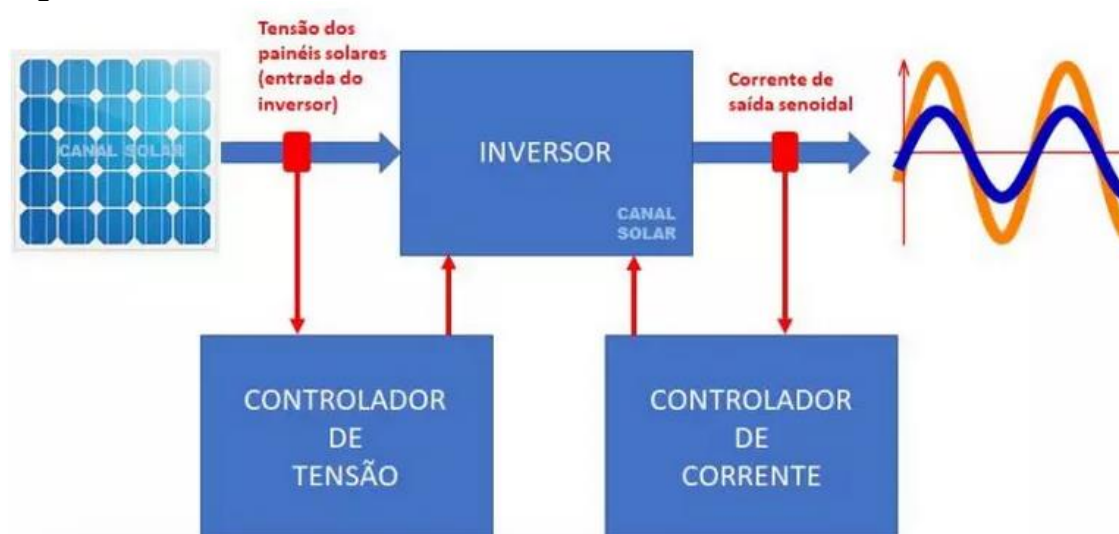
Figura 41 - Componentes internos de um inversor



Fonte: Villalva (2020b).

O inversor utilizado em sistemas fotovoltaicos conectados à rede (grid-tie) possui uma característica incomum, sua tensão de entrada é controlada. Isso é necessário para permitir a operação com valores de tensão que podem ser ajustados de acordo com a quantidade de módulos conectados à entrada do inversor, essa tecnologia se encontra no interior do inversor (VILLALVA, 2019c). Tal característica pode ser visualizada na Figura 42.

Figura 42 - Blocos de controle de um inversor

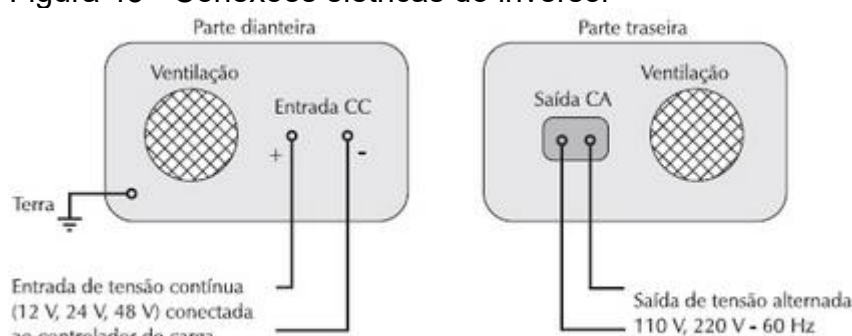


Fonte: Villalva (2019c).

2.5.2 Modo de conexão

Todo inversor possui uma entrada de corrente contínua e uma saída em corrente alternada. Os terminais CC são conectados ao controlador de carga e recebem níveis de tensão de 12 V, 24V ou 48V, variando de acordo com o inversor utilizado. Inversores utilizados no Brasil devem fornecer tensão alternada na frequência de 60 Hz (VILLALVA, 2018). Os tipos de conexão do inversor fotovoltaico podem ser visualizados na Figura 43.

Figura 43 - Conexões elétricas do inversor



Fonte: Villalva (2018).

2.5.3 Características elétricas

Um inversor CC-CA para sistema fotovoltaico possui geralmente as especificações e características encontradas em seus respectivos *datasheets*. As características elétricas do inversor podem ser visualizadas na Tabela 7. (VILLALVA, 2018).

Inversores para a conexão à rede elétrica estão disponíveis em diversas faixas de potência, desde 250 W, para a conexão de apenas um módulo à rede elétrica, até vários quilowatts (kW) ou megawatts (MW), empregados em usinas de energia solar (VILLALVA, 2018).

Tabela 7 - Características elétricas (CC) do inversor Growatt 8000MTL-S

Dados de entrada	Valor
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	10.500W
Máxima tensão CC	550V
Tensão de partida	100V
Tensão nominal	360V
Faixa de tensão de MPPT	80-550
Número de MPPT	2
Número de <i>strings</i> fotovoltaicos por MPPT	2/1
Corrente máxima de entrada por MPPT	25A/12,5 ^a
Máx. corrente de curto-circuito por MPPT	32A/16 ^a

Categoria de sobretensão CC	Categoria II
Fonte: Anexo B	

2.5.3.1 Faixa útil de tensão contínua na entrada

O range ou a faixa útil de tensão é o intervalo de valores de tensão de entrada em que o inversor consegue trabalhar, conforme apresentado na Figura 44. Valores inferiores ao range o inversor não liga e valores superiores o inversor pode sofrer queima. É também na faixa de tensão na qual o sistema de MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência) do inversor consegue maximizar a produção de energia dos módulos (VILLALVA, 2018).

Geralmente inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede são fabricados para receber conjuntos com vários módulos conectados em série, formando os chamados *strings* (fileiras de módulos), apresentando assim uma tensão elevada (VILLALVA, 2018).

Figura 44 - Faixa de tensão entrada inversor



Fonte: Villalva (2019c).

2.5.3.2 Tensão contínua máxima na entrada

No *datasheet* da maioria dos inversores on grid são chamados também de “Máxima tensão CC”. Este é o valor máximo absoluto da tensão que o inversor suporta em sua entrada. No inversor, por exemplo da Tabela 7, o máximo valor de tensão que suporta na sua entrada é de 550 V (VILLALVA, 2018).

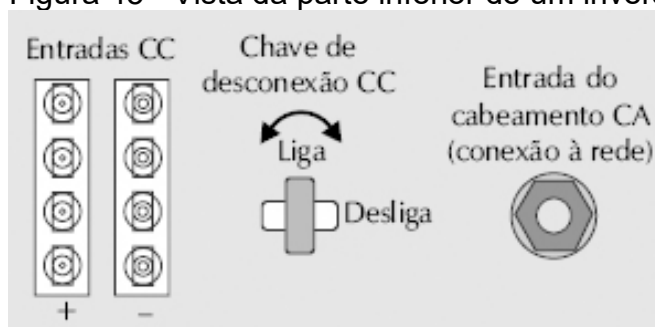
A tensão máxima suportada pelo inversor está relacionada com a tensão de circuito aberto dos módulos fotovoltaicos (V_{oc}). Quando analisamos uma fileira de painéis em série sua tensão em circuito aberto é somada de acordo com a quantidade

de painéis conectados. Este valor deve estar dentro da máxima tensão que o inversor suporta em sua entrada (VILLALVA, 2018).

2.5.3.3 Número máximo de *strings* na entrada

Na maioria dos *datasheets* comerciais encontra-se sobre o nome de “Número de *strings* fotovoltaicos por MPPT”. Os inversores possuem um número limitado de entradas para *strings*. Geralmente os inversores apresentam um conjunto de terminais do tipo MC4 para conexão de até quatro *strings* (VILLALVA, 2018). As entradas de corrente contínua de um inversor podem ser visualizadas na Figura 45.

Figura 45 - Vista da parte inferior de um inversor



Fonte: Villalva (2018).

2.5.3.4 Número de entradas independentes com MPPT

Os inversores podem ser equipados com um ou mais sistemas de MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência). Todos os sistemas fotovoltaicos conectados à rede possuem inversor com sistema de MPPT, o que significa que são preparados para maximizar a potência fornecida pelos módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2018). A tecnologia de MPPT pode ser visualizada na Figura 46.

Caso um dos conjuntos ou *strings* da instalação esteja sob uma situação de sombra em um dos módulos, os demais que estão conectados ao outro sistema de MPPT continuam operando normalmente em seu ponto de máxima potência, tornando um sistema fotovoltaico mais eficiente (VILLALVA, 2018).

Figura 46 - Inversor com strings em 4 MPPTs diferentes



Fonte: Canal Solar (2019).

2.5.3.5 Tensão de operação na conexão com a rede

Em *datasheets* comerciais também é visualizado com o nome “Tensão nominal de saída/ Faixa”. Antes de se realizar a compra de um inversor fotovoltaico é de extrema importância verificar com a concessionária de transmissão e distribuição da região, se a tensão que o consumidor é atendido é a mesma que o inversor trabalha. As características elétricas do inversor fotovoltaico podem ser visualizadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características elétricas (CA) do inversor Growatt 8000MTL-S

Dados	Valor
Potência nominal de saída CA	8,000 Kw
Potência aparente máxima de CA	8,000 kVA
Tensão nominal de saída/ Faixa	220V/180 – 280V
Frequência de rede CA/ Faixa	50,60Hz/44 – 55Hz; 54 – 65Hz
Corrente máxima de saída	36,400A
Fator de potência (@potência nominal)	>0,990
Fator de potência ajustável	0,800i-0,800c
THDi	<3%
Tipo de conexão da rede CA	Fase única
Categoria de sobretensão CA	Categoria IIII

Fonte: Anexo B

No exemplo da Tabela 8, o inversor é fabricado para trabalhar na tensão de 220 V, isso significa que operam normalmente na rede elétrica de 220 V (VILLALVA, 2018).

2.5.3.6 Frequência da rede elétrica

Por se tratar da frequência da rede elétrica em *datasheets* comerciais, também é encontrado com o nome de “Frequência de rede CA/Faixa”. Em geral os fabricantes disponibilizam versões dos inversores em 50 Hz (Paraguay) e 60 Hz (Brasil), de

acordo com o país onde é comercializado o equipamento (VILLALVA, 2018; AYNOÃ, 2020).

2.5.3.7 Grau de proteção

O grau de proteção de um equipamento eletrônico disponibiliza informações sobre sua capacidade de funcionamento de operar em ambientes agressivos, suportando chuva, calor e poeira (VILLALVA, 2018). Dados gerais do inversor de 8,0 kW utilizado neste estudo pode ser visualizado na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados gerais do inversor Growatt 8000MTL-S

Dados	Valor
Dimensões (W/H/D) em mm	419/355/185
Peso	16,800 Kg
Faixa de temperatura operacional	-25°C... +60°C
Emissão de ruído (típico)	<25 dB(A)
Altitude	3000m
Auto-consumo à noite	<0,500W
Topologia	Sem transformador
Resfriamento	Natural
Grau de Proteção Ambiental	IP65
Humidade relativa	0~100%
Conexão CA	Conector CA

Fonte: Anexo B

De acordo com a Tabela 9, o inversor Growatt 8000MTL-S possui grau de proteção IP65, deste modo resistem a poeira, água e podem ser instalados em áreas externas (VILLALVA, 2018).

Recomenda-se sempre alojar os inversores em locais arejados, pois o calor excessivo em contato direto com a carcaça do inversor diminui a eficiência do equipamento e sua vida útil (VILLALVA, 2018).

2.5.3.8 Faixa de temperatura operacional

O inversor fotovoltaico é construído para operar dentro de uma determinada faixa de temperatura, como todo equipamento eletrônico. Temperaturas baixas ou até mesmo elevadas podem danificar o equipamento (VILLALVA, 2018).

2.5.3.9 Umidade relativa

Inversores podem falhar em ambientes muito úmidos. Em ambientes com

elevada umidade relativa do ar, como regiões litorâneas e amazônicas, deve-se considerar a instalação dos inversores em locais fechados e secos (VILLALVA, 2018).

2.5.3.10 Autoconsumo à noite

O autoconsumo noturno informado pelo fabricante diz respeito ao consumo de energia do inversor em modo de espera (*stand by*). À noite, quando não tem produção de energia pelos módulos fotovoltaicos, o inversor é desligado automaticamente, consumindo uma pequena quantidade de energia (VILLALVA, 2018).

2.5.3.11 Máxima potência fotovoltaica recomendada

Os fabricantes apresentam sempre dois valores de potência expressos em watts (W), um para a entrada do inversor (CC) e outro para a saída do inversor (CA) (VILLALVA, 2018).

Este valor serve como indicação da potência de pico do conjunto de módulos fotovoltaicos que pode ser ligado a este inversor. Se a potência proveniente dos módulos for maior que o valor estabelecido, o inversor não será capaz de fazer o aproveitamento da energia (VILLALVA, 2018).

2.5.3.12 Potência nominal de saída CA

É a máxima potência que o inversor pode injetar na rede elétrica, ou seja, não importa o número de painéis conectados ao inversor, este irá gerar apenas esta potência (VILLALVA, 2018).

2.5.4 Tecnologia MPPT

O MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), ou rastreamento do ponto de máxima potência, é um recurso presente em todos os inversores fotovoltaicos que são fabricados (VILLALVA, 2018).

Um inversor com múltiplos MPPTs diferencia-se dos inversores com apenas um MPPT na maneira como os módulos fotovoltaicos são controlados. Na situação que se tem um inversor de apenas um MPPT, mesmo que o inversor possua várias

entradas para a conexão, dentro do inversor todas as *strings* são controladas como um único bloco (CANAL SOLAR, 2019). Uma representação do inversor com apenas uma entrada MPPT pode ser visualizado na Figura 47.

Figura 47 - Inversor com apenas um MPPT



Fonte: Canal Solar (2019).

Uma estratégia para contornar o fenômeno do sombreamento parcial de módulos é utilizar mais de um rastreador MPPT, fazendo com que cada *string* de módulos seja conectada ao seu próprio rastreador (VILLALVA, 2018). Conforme apresnetado na Figura 48.

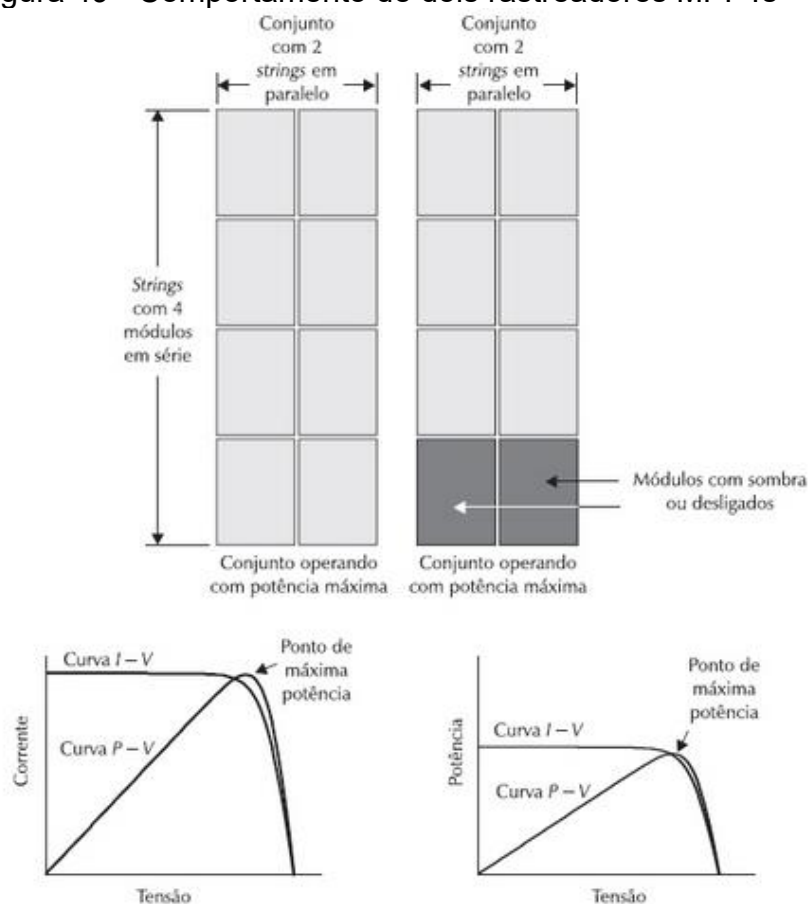
Figura 48 - Inversor com entrada para duas strings e duas MPPTs



Fonte: Aynoã (2020).

Como ambas as *strings* operam em seu ponto de máxima potência, graças a presença de dois rastreadores MPPTs independentes, o sistema como um todo opera com potência máxima cada um em sua condição, mesmo que ocorra sombreamento (VILLALVA, 2018). Conforme apreentado na Figura 49.

Figura 49 - Comportamento de dois rastreadores MPPTs



Fonte: Villalva (2018).

2.6 String Box CC

A norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão (NBR 5410) e a norma brasileira sobre sistemas fotovoltaicos (NBR 16690) abordam que as instalações elétricas devem ter como característica básica a proteção contra surtos e choques elétricos ao usuário, proteção contra efeitos térmicos, incêndios e capacidade de seccionamento (VINTURINI, 2019). A *string box* CC pode ser visualizada na Figura 50.

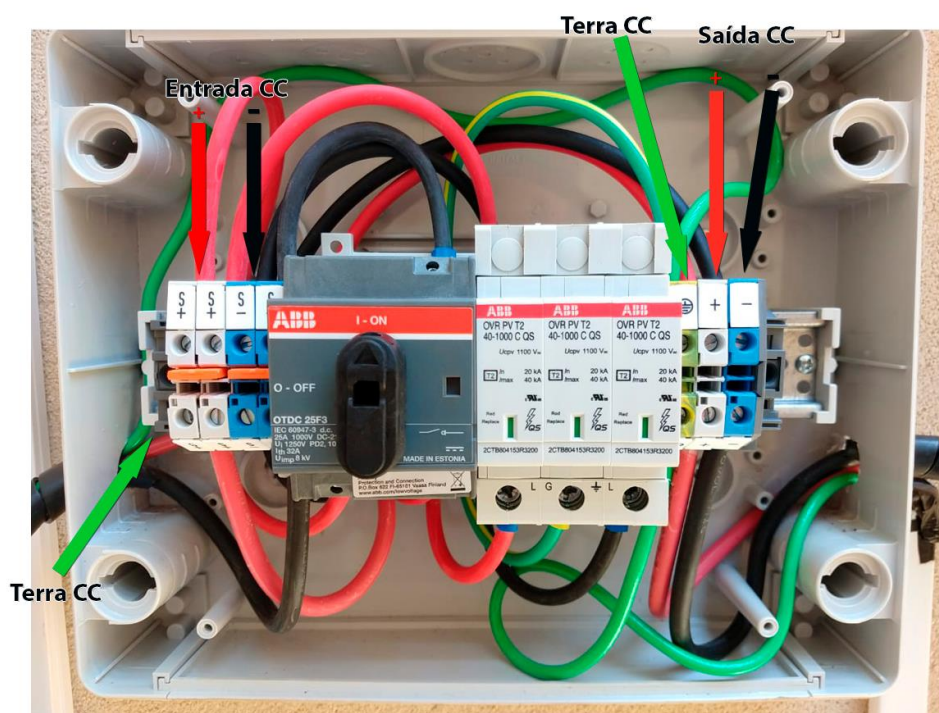
Figura 50 - String box CC



Fonte: Clamper (2019).

A *string box* é posicionada entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, e seu objetivo é fazer a proteção da parte CC da usina. Os dispositivos de proteção como o disjuntor CC, DPS CC e chave seccionadora são conectados diretamente nos cabos solares que saem dos módulos fotovoltaicos (SOLARVOLT, 20--?). Uma *string box* aberta pode ser visualizada na Figura 51.

Figura 51 - String box CC aberta

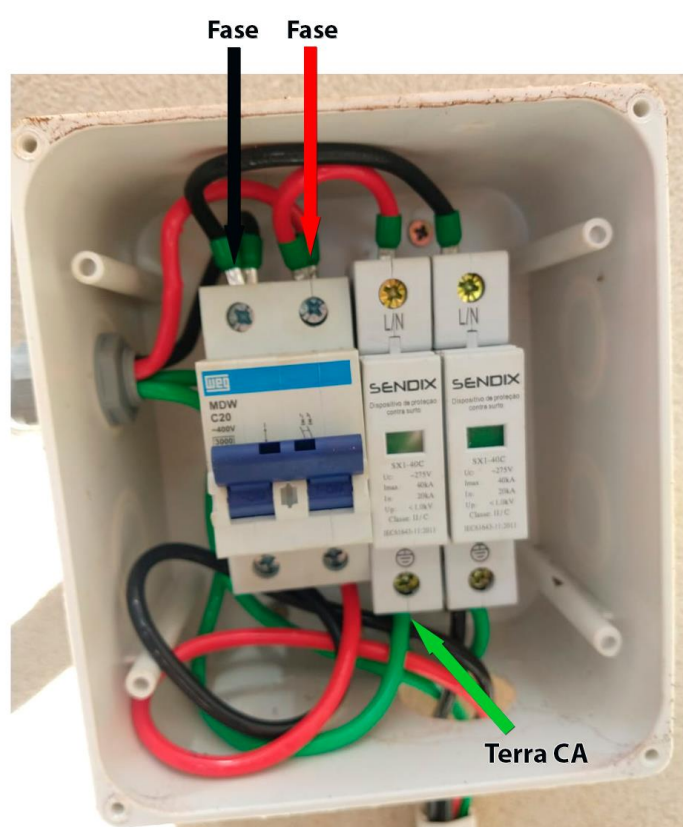


Fonte: Elaborado pelo autor.

2.7 String Box CA

A *string box* CA, mais conhecida como quadro de carga, é posicionada após o inversor, e seu objetivo é fazer a proteção da parte CA da usina, facilitando uma possível manutenção do sistema do lado corrente alternada. Os dispositivos de proteção como o disjuntor CA e chave seccionadora (podendo ser um disjuntor) são conectados diretamente nos cabos solares que saem do inversor fotovoltaico. A *string box* de corrente alternada pode ser visualizada na Figura 52.

Figura 52 - *String box* CA aberta



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53 - Sistema solar fotovoltaico em montagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.8 ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular, fiscalizar, definir direitos, tarifas e estimular a inovação do setor elétrico brasileiro (ANEEL, 2016b).

2.8.1 Resolução normativa 482

A ANEEL em 2012 colocou em rigor a Resolução Normativa 482/2012, cuja finalidade é estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Microgeração distribuída é definida como central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

Minigeração distribuída é definida como central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conforme regulamentação da ANEEL (ANEEL, 2012).

A Resolução Normativa 482/2012 trouxe diretrizes para o programa de compensação de energia elétrica na qual o consumidor que gerar sua energia por meio de energia solar fotovoltaica, por exemplo, se este gerar mais do que consome,

possibilita que o cliente guarde créditos que possam ser usados posteriormente em sua fatura na forma de abatimento (ANEEL, 2012).

2.8.2 Resolução normativa 687

A ANEEL em 2015 colocou em rigor a Resolução Normativa 687/2015 para fazer alterações na 482/2012, mostrando diretrizes para o sistema de compensação de energia elétrica na forma de créditos, criando categorias como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto (ANEEL, 2015).

A instalação de um sistema fotovoltaico exige um medidor bidirecional, instrumento capaz de medir a energia elétrica que flui nos dois sentidos, entrada e saída de energia no local de consumo. A ANEEL definiu, após inspecionada e aprovada a instalação do gerador fotovoltaico, que esse medidor deve ser instalado pela concessionária, sem custos para o consumidor (PORTAL SOLAR, 20--?c).

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização do lócus da pesquisa

O local de estudo é a APAE (Associação de Pais A Amigos Dos Excepcionais), localizada na Rua Ademar de Barros, no bairro Centro, município de José Bonifácio, interior de São Paulo. Assim, o local escolhido para a implantação foi o ginásio onde as crianças realizam os esportes, por apresentar uma grande área de implantação dos módulos fotovoltaicos, com potencial e com características favoráveis para uma maior inserção da tecnologia solar fotovoltaica. O local de estudo escolhido pode ser visualizado na Figura 54.

Figura 54 - Localização da APAE de José Bonifácio



Fonte: Google Maps (2021).

Foram considerados os fatores positivos que a implantação traria para a APAE, como a redução do consumo de energia elétrica, visto que o governo cortou certa quantia em dinheiro destinada para a associação. Assim, seria um incentivo para organizações filantrópicas com importante impacto social gerar sua própria energia e possibilidade de maior conforto para as crianças, uma vez que apenas uma sala possui ar condicionado devido ao elevado gasto em energia elétrica. A imagem aérea do local pode ser visualizada na Figura 55 e Figura 56.

Figura 55 - Foto do local realizada por drone



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 - Ginásio do local de estudo



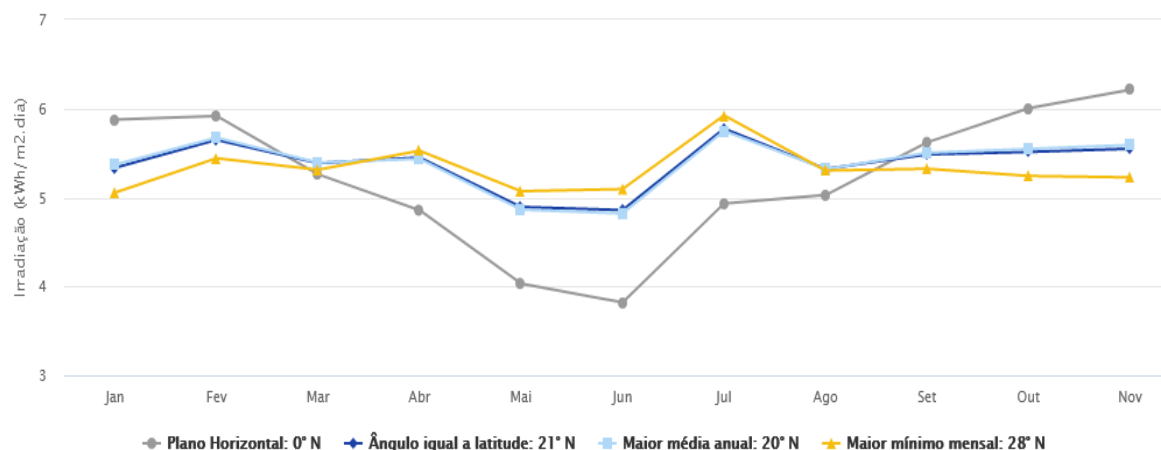
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Inclinação, Orientação e Irradiação da APAE

De acordo com o Google Maps (2021), as coordenadas geográficas em graus decimais da APAE de José Bonifácio são determinadas pela latitude - 21,060181554866677 Sul e longitude -49,687181887733544 Oeste.

Segundo o CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (2018), a irradiação solar diária média mensal para a localidade do local de estudo, considerando irradiação solar no plano inclinado com ângulo igual a latitude é de $5,360 \frac{kWh}{m^2 dia^1}$. Conforme apresentado na Figura 57.

Figura 57 - Irradiação solar no plano inclinado



Fonte: Cresesb (2018).

O ângulo de inclinação para os módulos fotovoltaicos deve ser levado em consideração de acordo com a latitude do local da instalação. Não se recomenda instalações com ângulos de inclinação inferiores a 10° devido à chuva não conseguir limpar toda a região do painel (VILLALVA, 2018). A relação do ângulo de inclinação com a latitude pode ser visualizada na Tabela 10.

Tabela 10 - Relação de latitude com ângulo de inclinação do módulo

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: Villalva (2018).

De acordo com a Tabela 10, para latitudes de 21° a 30°, latitude que se enquadra a APAE, o ângulo de inclinação pode ser determinado na Equação 1:

$$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ \quad (1)$$

Segundo a Equação 1, o ângulo recomendado para instalar os módulos fotovoltaicos é de 26° (21° + 5°).

A primeira regra da instalação correta de um módulo solar, no hemisfério Sul, é sempre que possível, orientar o módulo com sua face voltada para o norte geográfico, pois isso maximiza a produção de energia (VILLALVA, 2018).

3.3 Ferramentas utilizadas

3.3.1 PV*SOL®

O *software* PV*SOL® foi escolhido pela facilidade de modelagem do ginásio da APAE a partir de uma imagem de alta resolução de drone. Uma vez inserida a imagem no software é possível a partir da imagem inserir a real escala a partir de uma medida real do local, no caso foi coletada a metragem do portão de entrada da associação e esta medida foi inserida no software para a readequação da escala. O local do estudo no ambiente do *software* pode ser visualizado na Figura 58.

Figura 58 - Imagem do local no software PV*SOL®



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vantagem relacionada a esta tecnologia de correção de escala, é a falta de necessidade de subir no telhado do ginásio e coletar medidas manuais, que pode vir a ocasionar o risco de lesão, queda com ferimento ou até acidente fatal.

Com o software é possível o cliente, que aderir o sistema solar fotovoltaico, visualize como ficará o seu sistema, sem precisar esperar a finalização da obra, e a equipe de instalação tirar fotografias para ter ciência de como estão dispostos os módulos fotovoltaicos no local.

3.3.2 Impressora 3D

A impressora 3D, fabricante Mousta modelo Builder Mega 2, foi utilizada em parceria com o engenheiro eletricista Felipe Darcie Pereira, formado pela Universidade Estadual de São Paulo Júlio de Mesquita Filho Campus de Bauru. O equipamento utilizado está representado na Figura 59.

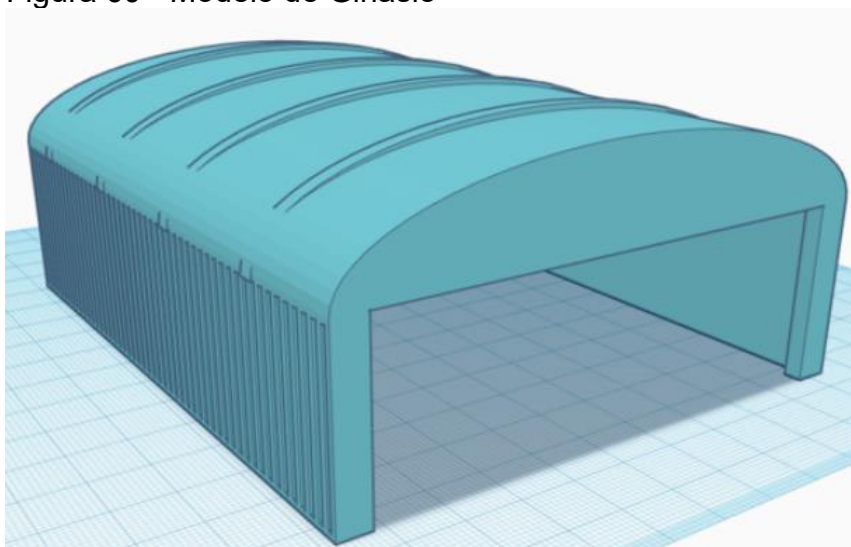
Figura 59 - Impressora utilizada



Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com Felipe Darcie Pereira.

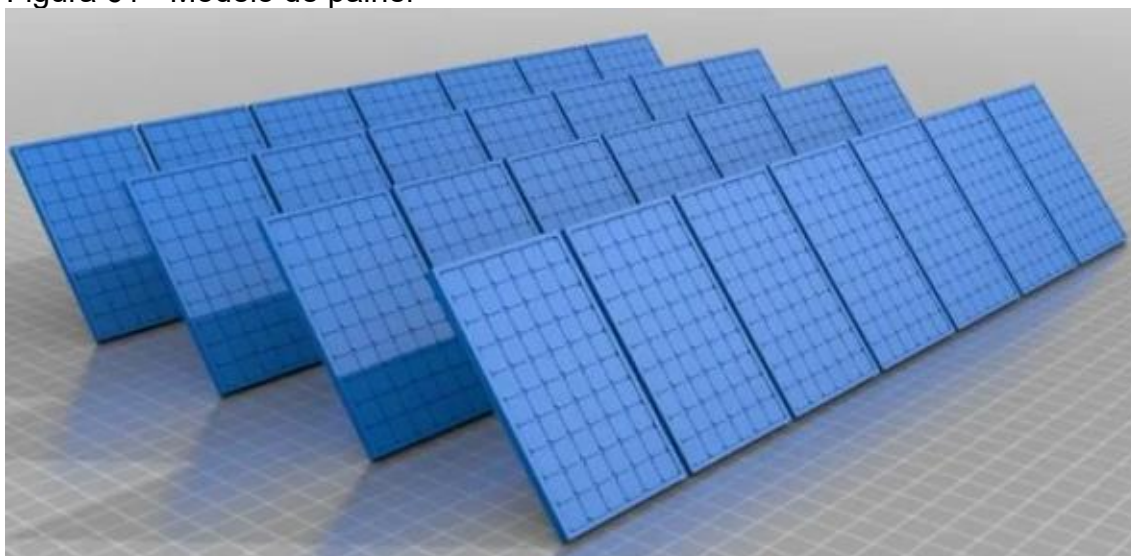
O processo de impressão 3D se iniciou com um modelo 3D de painel, inversor e ginásio. Este processo pode ser feito através de uma modelagem 3D digital, ou coletando em sites que divulgam objetos 3D prontos. A partir do objeto, foi utilizado um software de fatiamento que formula um G-code sobre cada modelo escolhido, definindo os parâmetros de impressão que se utilizará (tamanho, forma, espessura) e imprime camada a camada até todas as camadas finais. Os modelos captados para a elaboração podem ser visualizados nas Figuras 60, Figuras 61 e Figuras 62.

Figura 60 - Modelo de Ginásio



Fonte: Inghram (2020).

Figura 61 - Modelo de painel



Fonte: Abrokadabra (2015).

Figura 62 - Modelo inversor



Fonte: Elaborado por Felipe Darcie Pereira.

A utilização da impressora 3D teve o intuito de alterar como um projeto chega nas mãos do cliente, além de se utilizar simulações o cliente pode visualizar de forma palpável o projeto e seu futuro investimento para gerar energia por meio da energia solar fotovoltaica.

3.3.3 AutoCAD®

O software AutoCAD® foi escolhido para a elaboração do diagrama unifilar da planta de energia solar fotovoltaica da APAE a partir de uma simulação 2D, abordando todos os equipamentos tanto de geração como proteção do lado corrente contínua e corrente alternada.

3.3.4 Microsoft Excel

A utilização do software Excel teve o intuito de realizar os cálculos para as análises de viabilidade econômico-financeira.

A análise de viabilidade foi realizada em parceria com o engenheiro eletricista, Luan Ferreira Ramos, formado pela Fundação Educacional Inaciana Padre Sabóia de Medeiros (FEI) de São Bernardo do Campo.

3.4 Levantamento de consumo elétrico

A APAE de José Bonifácio/SP apresentou o maior consumo de energia no mês de novembro de 2019, após isso as crianças entraram em férias escolares e antes do retorno deu início a pandemia do COVID-19 no Mundo, interrompendo as aulas.

Devido a isso, foi coletada a conta de energia de novembro, e sobre esta foi realizado o estudo de dimensionamento de energia solar fotovoltaica. O consumo na conta de energia pode ser visualizado de acordo com a Tabela 11:

Tabela 11 - Histórico de consumo anual de 2019

Mês	Consumo (kWh)
Novembro	4.164
Outubro	4.547
Setembro	3.193
Agosto	2.770
Julho	2.693
Junho	2.573
Maio	4.170
Abril	3.807
Março	3.265
Fevereiro	2.849
Janeiro	2.676
Dezembro	3.893
Novembro	3.631

Fonte: Adaptado do Anexo C.

A conta de energia completa se encontra no Anexo C, e nela trás o resumo de consumo de 13 meses por trazer o próprio mês referente à conta e o restante dos meses do ano.

3.5 Módulo fotovoltaico

Para se realizar o dimensionamento para a APAE é de extrema importância escolher o módulo fotovoltaico que será utilizado.

O módulo solar escolhido é do fabricante BYD modelo 335PHK-36, cujas especificações são mostradas detalhadamente no Anexo A. Foi escolhido um painel de tecnologia de silício policristalino por apresentar um preço inferior ao silício monocristalino, além do fato da fabricante BYD ser referência no setor de energia solar fotovoltaica.

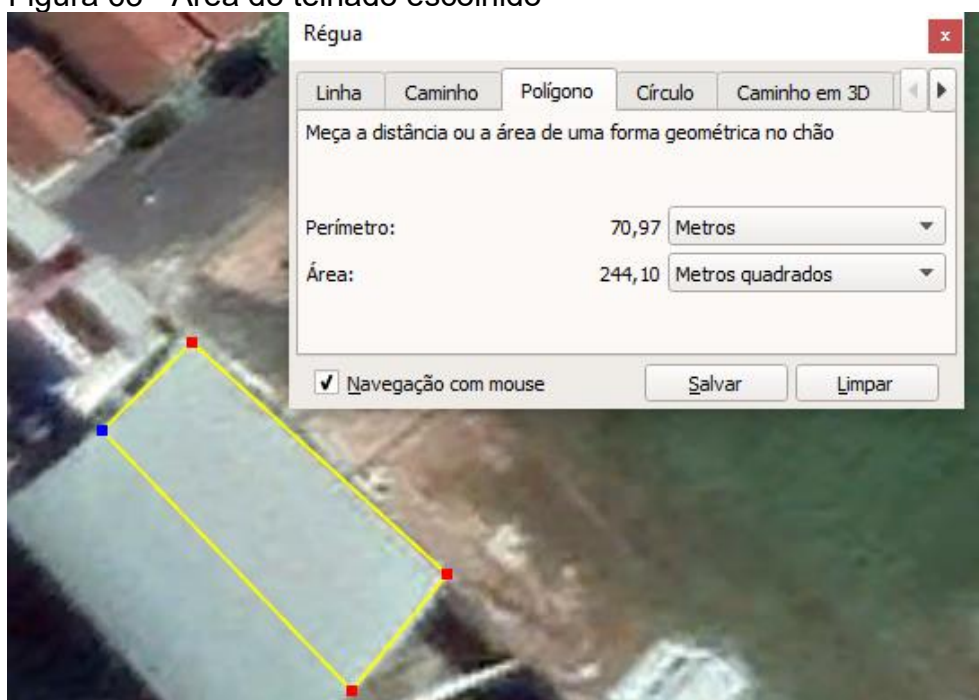
Para se iniciar o cálculo de quantos painéis o telhado da instalação suporta foi necessário calcular a área de um módulo. De acordo com as especificações do Anexo A, as dimensões do módulo são 1992 x 992 x 35 mm. Portanto a área ocupada por um módulo é:

$$A_{\text{módulo}} = (1992 \times 992) \text{ mm} = 1.976.064 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

A unidade de medida mais usualmente utilizada é a m^2 , portanto a área do módulo em metros quadrados é $1,976 \text{ m}^2$.

Á área do telhado escolhido para a instalação foi medida com auxílio da ferramenta de medida do Google Earth, apresentando uma área de aproximadamente 244 m^2 . O local da planta solar por meio Google Earth pode ser visualizado na Figura 63.

Figura 63 - Área do telhado escolhido



Fonte: Google Earth.

Para descobrir quantos painéis da BYD cabem no telhado escolhido, basta dividir a área do local da instalação pela área do módulo:

$$Qtd_{\text{módulo}} = \left(\frac{244}{1,976} \right) = 123,482 \text{ módulos} \cong 123 \text{ módulos} \quad (3)$$

3.5.1 Equações utilizadas para módulos fotovoltaicos

Após a análise da conta de energia, irradiação, inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos do local da instalação, foi necessário dimensionar o sistema. (CIDRAL JUNIOR, 2020).

3.5.1.1 Potência do gerador fotovoltaico

$$P_{FV} = \frac{E * G_{STC}}{H_{TOT} * TD} \quad (4)$$

Onde:

P_{FV} (kWp) – Potência do gerador fotovoltaico

E ($\frac{kWh}{mês}$) – Energia desejada do local

G_{STC} ($\frac{kW}{m^2}$) – Constante STC

H_{TOT} ($\frac{kWh}{m^2} * 30 \text{ dias}$) – Irradiação mensal

TD (%) – Taxa de desempenho

3.5.1.2 Número de módulos

$$n_{mód} = \frac{P_{FV}}{\frac{P_{mód}}{1000}} \quad (5)$$

Onde:

P_{FV} (kWp) – Potência do gerador fotovoltaico

$n_{mód}$ (unidade) – Número de módulos fotovoltaicos

$P_{mód}$ (Wp) – Potência de um módulo fotovoltaico

3.5.1.3 Potência com base no número de módulos

$$P_{FV_{real}} = \frac{P_{mód}}{1000} * n_{mód} \quad (6)$$

Onde:

$P_{FV_{real}}$ (kWp) – Potência do gerador fotovoltaico considerando o número de módulos

$P_{mód}$ (Wp) – Potência de um módulo fotovoltaico

$n_{mód}$ (unidade) – Número de módulos fotovoltaicos

3.5.1.4 Energia que irá gerar

$$E_g = \frac{P_{FV_{real}} * H_{TOT}}{G_{STC}} * TD \quad (7)$$

Onde:

$E_g(\frac{kWh}{mês})$ – Energia gerada

$P_{FV_{real}}$ (kWp) – Potência do gerador fotovoltaico considerando o número de módulos

$H_{TOT}(\frac{kWh}{m^2} * 30 \text{ dias})$ – Irradiação mensal

$G_{STC}(\frac{kW}{m^2})$ – Constante STC

$TD(\%)$ – Taxa de desempenho

3.6 Inversor fotovoltaico

Para se realizar o dimensionamento para a APAE é de extrema importância escolher o inversor fotovoltaico que será utilizado.

O inversor solar escolhido é do fabricante Growatt e o modelo escolhido foi de 8 kW (Growatt 8000MTL-S) e 6 kW (Growatt MIN6000TL-X), cujas especificações são mostradas detalhadamente no Anexo B e Anexo D. Foi escolhido este inversor por possuir alta tecnologia, ser referência no setor de energia solar fotovoltaica e possuir uma ótima relação custo benefício. O modelo de inversor utilizado pode ser visualizado na Figura 64.

Figura 64 - Marca do Inversor utilizado



Fonte: Anexo B e Anexo D.

3.6.1 Equações utilizadas para inversores fotovoltaicos

Para o dimensionamento dos inversores foi utilizada a apostila de integradores de curso fotovoltaico oferecido pela WEG (CIDRAL JUNIOR, 2020).

3.6.1.1 Correção de V_{oc} – Tensão de circuito aberto

Não efetuar esta correção pode ter caráter destrutivo ao inversor, já que baixas temperaturas causam tensões superiores (CIDRAL JUNIOR, 2020).

Deve ser inferior a tensão máxima de entrada do inversor (CIDRAL JUNIOR, 2020).

$$V_{m\acute{a}x} = N * V_{oc} * (1 - ((\frac{\beta_{voc}}{100}) * (25 - T_{m\acute{i}n}))) \quad (8)$$

Onde:

$V_{m\acute{a}x}(V)$ – Tensão máxima da série

$N(\text{unidade})$ – Número de módulos na série

$V_{oc}(V)$ – Tensão em circuito aberto

$\beta_{voc}(\frac{\%}{^{\circ}C})$ – Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto

$T_{m\acute{i}n}(^{\circ}C)$ – Temperatura extrema mínima estimada

3.6.1.2 Correção de V_{mppt} – Tensão de máxima potência

Não efetuar esta correção pode gerar uma condição em que o inversor não opere em máxima potência, ou seja, menor eficiência e desperdiçando energia (CIDRAL JUNIOR, 2020).

Deve ser superior à tensão mínima da faixa de MPPT do inversor (CIDRAL JUNIOR, 2020).

$$V_{mppt_min} = N * V_{mppt} * \left(1 - \left(\frac{\beta_{V_{mppt}}}{100}\right) * (25 - T_{m\acute{a}x})\right) \quad (9)$$

Onde:

$V_{mppt_min}(V)$ – Tensão mínima de máxima potência da série

$N(\text{unidade})$ – Número de módulos na série

$V_{mppt}(V)$ – Tensão em máxima potência

$\beta_{V_{mppt}}(\frac{\%}{^{\circ}C})$ – Coeficiente de temperatura da tensão de máxima potência

$T_{m\acute{a}x}(^{\circ}C)$ – Temperatura extrema máxima estimada

3.7 Padrão de entrada da APAE

Para visualização do padrão de entrada de energia elétrica da associação, foi realizada uma visita ao local e a partir disso verificado a amperagem do disjuntor e o cabeamento do ramal de entrada. A APAE é classificada como B3 Comercial Outros Serviços Atividades e ligação trifásica 220/127 V. O padrão de entrada da instituição pode ser visualizado na Figura 65 e Figura 66.

Figura 65 - Caixa do ramal de entrada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66 - Disjuntor da instalação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este estudo não abordou uma possível reforma de padrão da APAE para a CPFL Paulista, visto que a companhia de energia elétrica emite normas referentes a cabeamento e disjuntor (GED-13), norma esta que deve ser seguida para instalações elétricas de baixa tensão, como é o caso da APAE. A tabela da norma GED-13 se encontra no Anexo E.

3.8 Proteção CC/CA

A proteção CC é realizada a partir de *string box* de corrente contínua, em que estes equipamentos já vêm acompanhado com a compra do kit de energia solar fotovoltaica (módulos, inversor, cabeamento CC e *string box* CC).

Sob o ponto de vista da proteção CA, para cada inversor utilizado é dimensionado um disjuntor com amperagem comercial para proteger este equipamento contra sobrecargas elétricas ou curto circuitos. Para o dimensionamento deste disjuntor é utilizado a Equação 11 (inversores bifásicos) e a bitola deste cabo deve ser seguida a NBR 5410:

$$I_n = \frac{P_{inversor}}{220V} \quad (10)$$

Onde:

I_n (A): Corrente de projeto

$P_{inversor}$ (W): Potência do inversor em watts

Para a NBR 5410, a bitola do cabo depende de diversos fatores como tipo de linha elétrica que será utilizada durante a instalação, fator de temperatura na qual o circuito estará exposto e o fator de agrupamento (quantos circuitos estão passando juntos pelo mesmo trecho) (ABNT, 2004).

Segundo Santos (2021), o valor efetivamente utilizado para o dimensionamento de condutores é a corrente corrigida:

$$I_n' = \frac{I_n}{FCA * FCT} \quad (11)$$

Onde:

I_n' (A): Corrente corrigida

I_n (A): Corrente de projeto

FCA (%): Fator de correção de agrupamento de cabos

FCT (%): Fator de correção de temperatura

Como o estudo se trata de uma análise de energia solar fotovoltaica e o FCA e FCT variam de acordo com a forma como será instalado o sistema fotovoltaico, foi

feito considerações para se calcular a corrente corrigida para o diagrama unifilar.

3.9 Orçamento

Foram realizados três orçamentos de acordo com a demanda da APAE, sendo dois orçamentos de José Bonifácio/SP e um de São José do Rio Preto/SP.

3.10 Indicadores de análise de viabilidade econômico-financeiro

Para este estudo foi analisado fatores indispensáveis para constatar a viabilidade econômica do investimento, como payback simples, payback descontado, valor presente líquido, taxa interna de retorno e taxa mínima de atratividade.

3.10.1 Payback simples (Pbs)

Conhecido também como período de payback é o método mais simples para se analisar a viabilidade de um investimento. Sua grandeza é o número de anos, meses, semanas e até dias para se recuperar o investimento inicial. Para se calcular o período de payback de um projeto basta somar os valores dos fluxos de caixa, período a período, até que essa soma se iguale ao valor do investimento (PRATES, 2016).

$$Pbs = \frac{I_T}{E_T} \quad (12)$$

Onde:

$Pbs(\text{anos})$: Payback simples

$I_T(\text{R\$})$: Investimento total no sistema fotovoltaico

$E_T(\text{R\$})$: Economia total no sistema fotovoltaico

3.10.2 Payback descontado (Pbd)

Este método é semelhante ao payback simples, mas com o adicional de usar uma taxa de desconto antes de se proceder à soma dos fluxos de caixa e levar que em conta que o dinheiro tem valor no tempo. Neste método, todos os fluxos de caixa futuro deverão ser descontados por esta taxa em relação ao período ao qual o fluxo está atrelado (PRATES, 2016).

$$Pbd = \frac{\ln \left(1 - \frac{I_T \cdot i}{E} \right)}{\ln (1+i)} \quad (13)$$

Onde:

$Pbd(\text{anos})$: Payback descontado

$I_T(\text{R\$})$: Investimento total no sistema fotovoltaico

$i(\%)$: Taxa de juros

$E(\text{R\$})$: Economia proporcionada

3.10.3 Valor presente líquido (VPL)

O Valor presente líquido (VPL) é calculado para sabermos qual o valor atual de um investimento e como está sua rentabilidade. É realizado atualizando todo o fluxo de caixa de um investimento para o valor de hoje, utilizando uma taxa de desconto no cálculo conhecida como taxa mínima de atratividade (TMA) (DICIONÁRIO FINANCEIRO, 2021).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FCj}{(1+TMA)^j} - \text{Investimento inicial} \quad (14)$$

Onde:

$VPL(\text{R\$})$: Valor presente líquido

$FCj(\text{R\$})$: Fluxo de caixa em um determinado tempo

$TMA(\%)$: Taxa mínima de atratividade

3.10.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), em inglês - *Internal Rate of Return* (IRR), pode ser definida como a taxa de desconto que faz com que o Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto seja igual a zero.

Ou seja, a Taxa Interna de Retorno é uma métrica usada para avaliar qual o percentual de retorno de um projeto para a empresa. Ao encontrar essa taxa, geralmente ela será comparada à Taxa Mínima de Atratividade para que se decida se o projeto deve ou não ser aceito (GONÇALVES, 2018).

$$0 = VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FCj}{(1+TIR)^j} \quad (15)$$

Onde:

$VPL(\text{R\$})$: Valor presente líquido

$FCj(\text{R\$})$: Fluxo de caixa em um determinado tempo

$TIR(\%)$: Taxa interna de retorno

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentadas as etapas de dimensionamento e verificação dos equipamentos de energia solar fotovoltaica, além do levantamento do consumo da APAE, simulação em software 3D, representação em diagrama unifilar e resultados da análise de viabilidade econômico-financeira.

4.1 Dados solarimétricos e inclinação dos módulos fotovoltaicos

Os dados solarimétricos usados neste estudo foram adquiridos pelo CRESESB (2018), que utiliza estações de monitoramento de irradiação durante todo o ano, mostrando os resultados para cada mês e no final mostrando a média anual e gráficos para uma melhor visualização dos resultados.

A irradiação coletada para o dimensionamento solar fotovoltaico foi a média referente ao plano inclinado com ângulo igual a latitude com valor de $5,360 \frac{kWh}{m^2 \cdot dia^1}$. Esta condição foi utilizada, pois em geral a irradiação coletada para dimensionamentos é seguindo o ângulo igual a latitude, com inclinação dos módulos devendo ser corrigidos respeitando a Tabela 10 (CRESESB, 2018; CIDRAL JUNIOR, 2020). Os dados solarimétricos no plano inclinado podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Dados solarimétricos no plano inclinado para José Bonifácio/SP

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☒	Plano Horizontal	0° N	5,88	5,92	5,26	4,86	4,03	3,82	4,05	4,93	5,03	5,62	6,00	6,21	5,13	2,39
☒	Ângulo igual a latitude	21° N	5,33	5,65	5,39	5,45	4,89	4,86	5,06	5,77	5,32	5,48	5,51	5,55	5,36	,92
☒	Maior média anual	20° N	5,37	5,67	5,39	5,43	4,86	4,82	5,02	5,75	5,32	5,50	5,55	5,59	5,36	,93
☒	Maior mínimo mensal	28° N	5,05	5,44	5,31	5,53	5,07	5,09	5,28	5,92	5,30	5,32	5,24	5,23	5,32	,87

Fonte: Adaptado de Cresesb (2018).

Para a correção do ângulo de acordo com a latitude do local foi aplicada a Equação 1 do capítulo anterior. Sabendo que latitude do local da instalação é de 21°, a inclinação recomendada para os módulos fotovoltaicos é:

$$\alpha = 21^\circ + 5^\circ$$

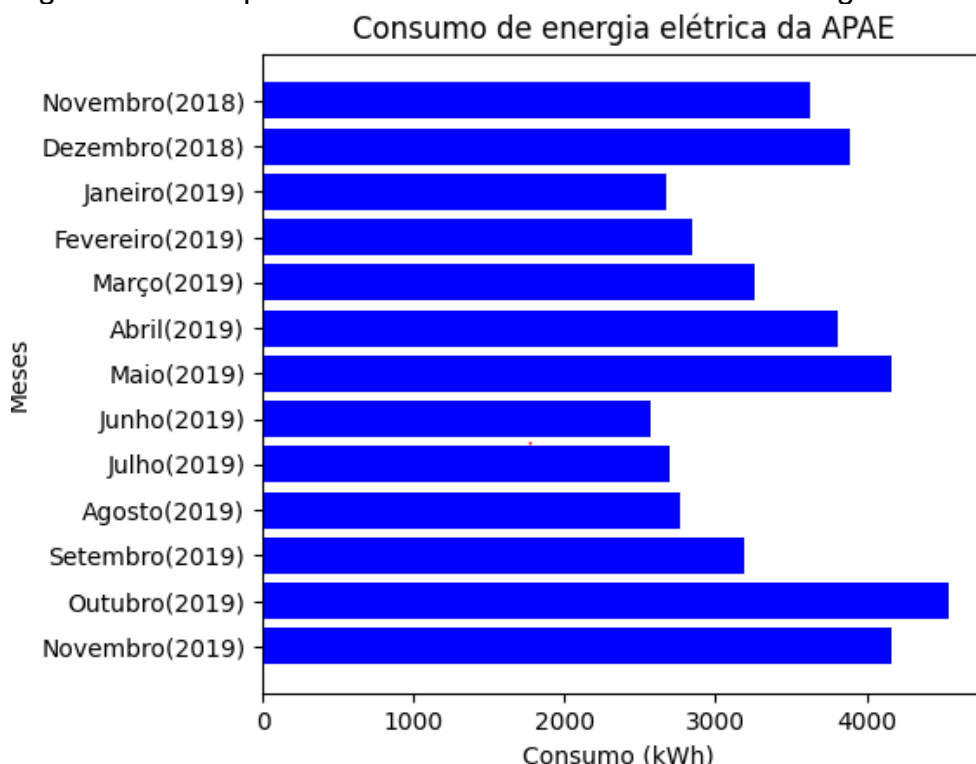
$$\alpha = 26^\circ$$

4.2 Levantamento de consumo elétrico

A Tabela 11 do capítulo anterior foi elaborada segundo o consumo de energia

elétrica da associação de acordo com o ano de 2019. Sobre esta conta foi elaborado um gráfico para uma melhor visualização dos resultados obtidos. O gráfico do consumo de energia elétrica na APAE pode ser visualizado na Figura 67.

Figura 67 - Comportamento de consumo da conta de energia



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o dimensionamento da planta fotovoltaica na APAE foi necessário coletar a média dos valores de consumo ao ano, possibilitando assim uma geração que irá deixar a fatura de energia com o valor de custo de disponibilidade ou até mesmo ser o suficiente para enviar como crédito para o mês seguinte.

Esta média foi obtida somando os valores mostrados na Tabela 10 e dividindo o resultado pela quantidade. Apresentando um valor de $3.402,385 \frac{kWh}{mês}$.

4.3 Módulo fotovoltaico

O módulo solar escolhido foi do fabricante BYD modelo 335PHK-36, cujas especificações são mostradas detalhadamente no Anexo A.

4.3.1 Potência do gerador fotovoltaico

O primeiro passo é determinar a potência do gerador fotovoltaico (kWp). A partir

da Equação 4 do capítulo anterior foi possível calcular esta potência utilizando valor de 80% como taxa de desempenho (TD), considerando que o sistema possui perdas:

$$P_{FV} = \frac{E * G_{STC}}{H_{TOT} * TD}$$

$$P_{FV} = \frac{3.402,385 \left(\frac{kWh}{mês}\right) * 1 \left(\frac{kWh}{m^2}\right)}{5,360 \left(\frac{kWh}{m^2 dia^1}\right) * 30 \left(\frac{dias}{mês}\right) * 0,800}$$

$$P_{FV} = 26,449 kWp$$

4.3.2 Número de módulos fotovoltaicos

Depois de dimensionar a potência do gerador fotovoltaico, foi determinado a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para gerar a demanda energética da APAE utilizando a Equação 5 do capítulo anterior. De acordo com o *datasheet* do painel (Anexo A), a potência do módulo escolhido é de 335 Wp:

$$n_{mód} = \frac{P_{FV}}{\frac{P_{mód}}{1000}}$$

$$n_{mód} = \frac{26,449 kWp}{\frac{335 Wp}{1000}}$$

$$n_{mód} = 78,952 \text{ unidades}$$

Considerando que o ideal é que o número de módulos dê um valor inteiro, uma sobra de painéis para uma maior segurança de geração de energia e que a maior parte dos distribuidores de equipamentos vendem kits de energia solar com número par de painéis fotovoltaicos:

$$n_{mód} \cong 80 \text{ unidades}$$

4.3.3 Potência do gerador considerando o número de módulos

Após a escolha dos módulos foi necessário calcular a potência real do gerador fotovoltaico, utilizando a Equação 6 do capítulo anterior:

$$P_{FV_{real}} = \frac{P_{mód}}{1000} * n_{mód}$$

$$P_{FV_{real}} = \frac{335 Wp}{1000} * 80 \text{ unidades}$$

$$P_{FV_{real}} = 26,800 \text{ kWp}$$

4.3.4 Energia a ser gerada considerando o número de módulos

Com a quantidade de módulos definida foi possível calcular quanto que estes módulos irão gerar, utilizando a Equação 7 do capítulo anterior:

$$E_g = \frac{P_{FV_{real}} * H_{TOT}}{G_{STC}} * TD$$

$$E_g = \frac{26,800 \text{ kWp} * 5,360 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{dia}^1} \right) * 30 \left(\frac{\text{dias}}{\text{mês}} \right)}{1 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right)} * 0,800$$

$$E_g = 3.447,552 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$$

4.4 Inversor fotovoltaico

A APAE em sua conta de energia mostra que a tensão de atendimento da associação é de 220/127 V e possui classificação trifásica. Para este estudo foram considerados inversores bifásicos, já que inversores trifásicos operam na tensão de 380 V e para esta aplicação necessitaria de um transformador abaixador para 220 V, encarecendo o projeto.

Para a escolha do kit ideal, foi necessário determinar o tipo de telhado da instalação, já que o tipo de telhado determina as estruturas e o valor do kit fotovoltaico. Para isso foi selecionado para a análise, dois inversores da Growatt de 8 kW e um de 6 kW, ambos com 2 MPPTs, com estrutura para telhado metálico perfil 55 cm, possibilitando assim uma maior flexibilidade de instalação.

Os kits foram determinados para alcançar a potência do gerador fotovoltaico, estes foram captados no site Aldo, (20--?a) e Aldo, (20--?b).

4.4.1 Correção de V_{oc} – Tensão de circuito aberto

Para se calcular a correção de V_{oc} , os dados foram retirados do *datasheet* do módulo fotovoltaico (Anexo A) e foi aplicado para apenas um painel, para assim determinar a tensão máxima que um módulo poderá exercer em cada entrada do inversor.

Para a análise foi determinada como temperatura mínima que pode se encontrar o sistema como -4° Celsius, mesmo que temperaturas abaixo de zero sejam raras no Brasil.

$$V_{\text{máx}} = N * V_{oc} * (1 - ((\frac{\beta_{voc}}{100}) * (25 - T_{\text{mín}})))$$

$$V_{\text{máx}} = 1 * 45,440 * (1 - ((\frac{-171 \times 10^{-3}}{100}) * (25 - (-4^{\circ}))))$$

$$V_{\text{máx}} = 47,693 \text{ V}$$

4.4.1.2 Correção de V_{oc} – Para o inversor de 8 kW

O kit da distribuidora Aldo já disponibiliza uma possível pré divisão de *strings*, e este foi levado em consideração para a validação do inversor utilizado. Como se têm dois inversores de 8 kW a validação será realizada apenas para um já que o outro funcionará da mesma forma.

O teste foi realizado para duas *strings* de 10 módulos em série na primeira entrada MPPT e uma *string* de 10 módulos em série na segunda entrada MPPT. O teste foi realizado para cada MPPT separadamente.

$$V_{\text{máx}} = N * V_{oc} * (1 - ((\frac{\beta_{voc}}{100}) * (25 - T_{\text{mín}})))$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{20}{2 \text{ strings}} * 45,440 * (1 - ((\frac{-171 \times 10^{-3}}{100}) * (25 - (-4^{\circ}))))$$

$$V_{\text{máx}} = 476,934 \text{ V}$$

Para a validação deste inversor utilizado, a tensão obtida pela correção de V_{oc} precisa ser menor ou igual que a “Máxima Tensão CC” especificada na Tabela 7. Deste modo, os inversores de 8 kW estão validados para suportarem a quantidade de painéis ligados a eles.

4.4.1.3 Correção de V_{oc} – Para o inversor de 6 kW

O *datasheet* do inversor de 6 kW se encontra no Anexo D.

O kit da distribuidora Aldo já disponibiliza uma possível pré divisão de *strings*, e este foi levado para a validação do inversor utilizado. Para esta análise foi utilizada uma *string* de 10 módulos em série na MPPT1 e outra *string* de 10 módulos em série na MPPT2. Foi realizada para apenas uma MPPT já que a outra possui a mesma

quantidade de módulos e, portanto, apresentará o mesmo resultado.

$$V_{\text{máx}} = N * V_{oc} * (1 - ((\frac{\beta_{voc}}{100}) * (25 - T_{\text{mín}})))$$

$$V_{\text{máx}} = 10 * 45,440 * (1 - ((\frac{-171 \times 10^{-3}}{100}) * (25 - (-4^\circ))))$$

$$V_{\text{máx}} = 476,934 \text{ V}$$

Para a validação deste inversor utilizado, a tensão obtida pela correção de V_{oc} precisa ser menor ou igual que a “Máxima Tensão CC” especificada no Anexo D. Deste modo, os inversores de 6 kW estão validados para suportarem a quantidade de painéis ligados a eles.

4.4.2 Correção de V_{mppt} – Tensão de máxima potência

Para se calcular a correção de V_{mppt} , os dados foram retirados do *datasheet* do módulo fotovoltaico (Anexo A) e foi aplicada para apenas um painel, para assim determinar a faixa de operação no ponto de máxima potência em cada entrada do inversor.

Deve ser superior ou igual à tensão mínima da “Faixa de tensão de MPPT”.

Para a análise foi determinada como temperatura máxima que pode se encontrar o sistema como 74° Celsius, mesmo que temperaturas acima de 70° sejam raras no Brasil.

$$V_{mppt_min} = N * V_{mppt} * (1 - ((\frac{\beta_{Vmppt}}{100}) * (25 - T_{\text{máx}})))$$

$$V_{mppt_min} = 1 * 38,100 * (1 - ((\frac{-0,430}{100}) * (25 - 74^\circ)))$$

$$V_{mppt_min} = 30,072 \text{ V}$$

4.4.2.1 Correção de V_{mppt} – Para o inversor de 8 kW

O teste foi realizado para duas *strings* de 10 módulos em série na primeira entrada MPPT e uma *string* de 10 módulos em série na segunda entrada MPPT. O teste é realizado para cada MPPT separadamente.

$$V_{mppt_min} = N * V_{mppt} * (1 - ((\frac{\beta_{Vmppt}}{100}) * (25 - T_{\text{máx}})))$$

$$V_{mppt_min} = \frac{20}{2 \text{ strings}} * 38,100 * \left(1 - \left(\left(\frac{-0,430}{100}\right) * (25 - 74^\circ)\right)\right)$$

$$V_{mppt_min} = 300,723 \text{ V}$$

Para a validação deste inversor utilizado, a tensão obtida pela correção de V_{mppt} precisa ser maior ou igual que à tensão mínima da “Faixa de tensão de MPPT” especificada na Tabela 7. Deste modo os inversores de 8 kW estão validados para suportarem a quantidade de painéis ligados a eles.

4.4.2.2 Correção de V_{mppt} – Para o inversor de 6 kW

O *datasheet* do inversor de 6 kW se encontra no Anexo D.

Foi realizada apenas para uma MPPT já que a outra possui a mesma quantidade de módulos e, portanto, apresentará o mesmo resultado.

$$V_{mppt_min} = N * V_{mppt} * \left(1 - \left(\left(\frac{\beta_{V_{mppt}}}{100}\right) * (25 - T_{máx})\right)\right)$$

$$V_{mppt_min} = 10 * 38,100 * \left(1 - \left(\left(\frac{-0,430}{100}\right) * (25 - 74^\circ)\right)\right)$$

$$V_{mppt_min} = 300,723 \text{ V}$$

Para a validação deste inversor utilizado, a tensão obtida pela correção de V_{mppt} precisa ser maior ou igual que a tensão mínima da “Faixa de tensão de MPPT” especificada no Anexo D. Deste modo os inversores de 6 kW estão validados para suportarem a quantidade de painéis ligados a eles.

4.5 Padrão de entrada da APAE

As normas referentes a cabeamento e disjuntor se encontra na Tabela 1A retirada da GED-13 (Anexo E). O disjuntor da APAE é de 160 A, como a norma não determina um cabeamento específico para essa amperagem, já que se trata de uma instalação antiga, a amperagem mais próxima a esta que foi levada em consideração é de 200 A que necessita de um cabo de 95 mm^2 .

A norma GED-13 afirma, na página número 3 de seu documento, que para demandas maiores que 38 kW necessita de um padrão de entrada com medição direta e chave de aferição. Para o disjuntor da APAE, que foi levado em consideração um de 200 A e conseqüentemente uma demanda entre 567 kW e 76 kW, necessitando assim

de tais equipamentos em seu padrão de energia.

O diagrama unifilar do padrão de entrada da associação pode ser visualizada no Anexo F.

4.6 Cabeamento CA

Como foi dito anteriormente, o FCA (Fator de correção de agrupamento de cabos) e FCT (Fator de correção de temperatura) variam de acordo com a condição de instalação.

Para isso foi considerado cabos de isolamento PVC e que a temperatura onde estará instalado o sistema, instalado ao ambiente, estará com uma temperatura ambiente. Consultando ABNT (2004), a Tabela 40 da NBR 5410, o valor de FCT para esta temperatura é de 100%.

A forma de agrupamento dos condutores foi, segundo a NBR 5410, em feixe; ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado. Para estas condições e considerando que passará apenas um cabo bipolar, a Tabela 42 da norma determina um valor de FCA de 100%.

A corrente de projeto para o inversor de 8 kW foi determinada utilizando a Equação 10:

$$I_n = \frac{P_{inversor}}{220V}$$

$$I_n = \frac{8.000 W}{220V}$$

$$I_n = 36,364 A$$

A corrente de projeto para o inversor de 6 kW foi determinada utilizando a Equação 10:

$$I_n = \frac{P_{inversor}}{220V}$$

$$I_n = \frac{6.000 W}{220V}$$

$$I_n = 27,273 A$$

Esta corrente de projeto deve ser corrigida já que a mesma sofre variação em relação com a temperatura e agrupamento de condutores. Tal correção foi realizada para o inversor de 8 kW e de 6 kW seguindo a Equação 11.

A corrente corrigida para o inversor de 8 kW:

$$I_n' = \frac{I_n}{FCA * FCT}$$

$$I_n' = \frac{36,364 A}{1 * 1}$$

$$I_n' = 36,364 A$$

A corrente corrigida para o inversor de 6 kW:

$$I_n' = \frac{I_n}{FCA * FCT}$$

$$I_n' = \frac{27,273 A}{1 * 1}$$

$$I_n' = 27,273 A$$

Como última etapa para determinar a bitola do cabo necessário para suportar essa corrente, foi necessário escolher um método de instalação apresentado na Tabela 33 da NBR 5410 (ABNT, 2004). Para isso, foi escolhido o método de instalação número 1 e método de referência A2.

Sabendo os parâmetros FCA, FCT, I_n' e método de referência foi possível consultar a bitola do cabo para suportar a corrente corrigida, seguindo com base a Tabela 36 da NBR 5410 (ABNT, 2004).

Para a corrente corrigida de 36,364 A, a bitola do cabo que mais se aproxima do valor de corrente é de 10 mm².

Para a corrente corrigida de 27,273 A, a bitola do cabo que mais se aproxima do valor de corrente é de 6 mm².

O diagrama unifilar da planta de energia solar pode ser visualizada no Anexo G.

4.7 Proteção CA

A proteção de corrente alternada deve levar em consideração a corrente corrigida, e cada inversor deve contar com um disjuntor próprio. Estes equipamentos foram utilizados levando em consideração disjuntores comerciais, ou seja, que possuem amperagem que facilmente são encontrados no mercado.

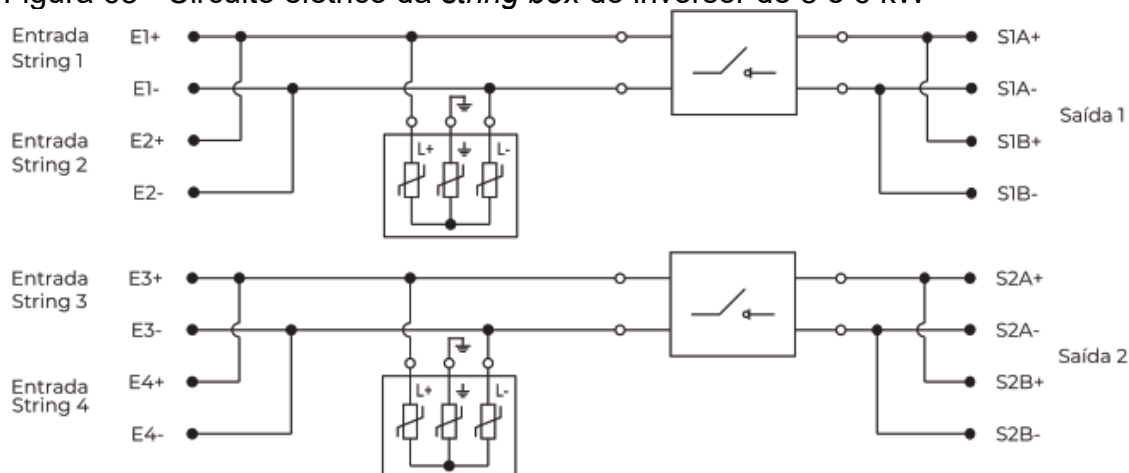
Considerando o valor de corrente corrigida para o inversor de 8 kW (36,364 A), foi utilizado um disjuntor de 40 A.

Já para a corrente corrigida para o inversor de 6 kW (27,273 A), foi utilizado um disjuntor de 32 A.

4.8 Proteção CC

A *string box* (equipamento de proteção de corrente contínua), foi fornecida junto com os kits de energia solar fotovoltaica, para o kit escolhido o fabricante da *string box* é a Clamper. A folha de dados deste equipamento foi coletada no site da Aldo na aba “Folhetos” juntamente com os dados do restante dos equipamentos (ALDO, 20--?a; ALDO, 20--?b). O circuito elétrico da *string box* pode ser visualizado na Figura 68.

Figura 68 - Circuito elétrico da *string box* do inversor de 8 e 6 kW



Fonte: Aldo (20--?a); Aldo (20--?b).

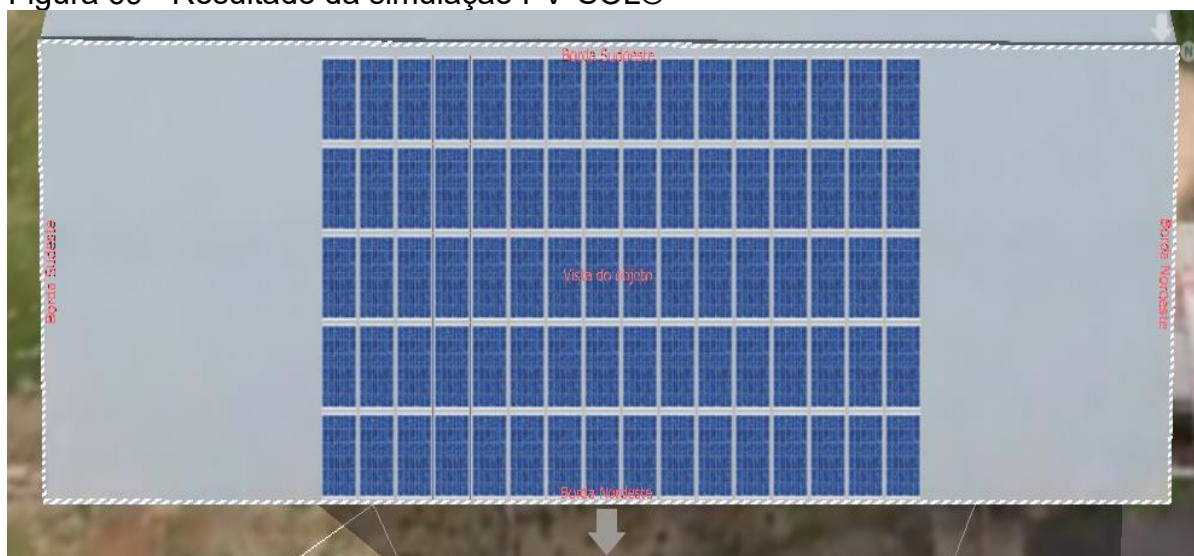
4.9 Diagrama unifilar completo do projeto fotovoltaico

O diagrama contendo a ligação dos painéis, proteção do lado corrente contínua, inversor, proteção de corrente alternada e ramal de ligação da APAE se encontra no Anexo G.

4.10 Simulação 3D - PV*SOL®

A simulação permitiu levar a uma experiência além do produto final pronto. O sistema não possui efeito de sombras, devido ao entorno da associação não possuir árvores e pelo ginásio possuir uma altura elevada. O resultado da simulação pode ser visualizado na Figura 69 e Figura 70.

Figura 69 - Resultado da simulação PV*SOL®



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 70 - Simulação PV*SOL®



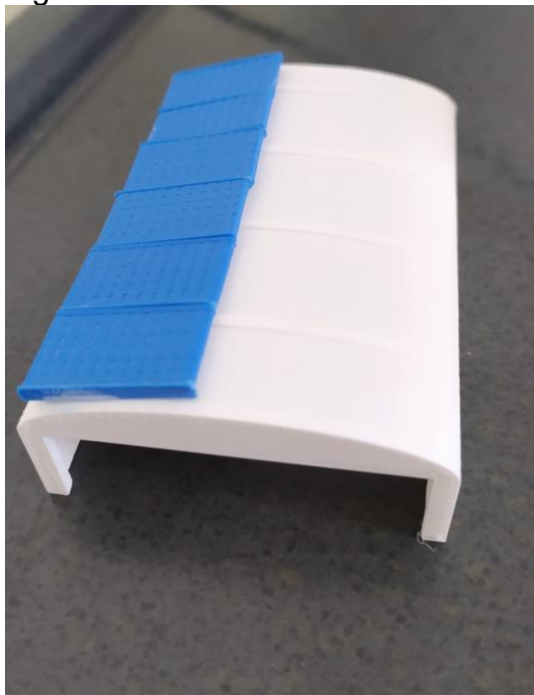
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.11 Simulação Impressora 3D

A simulação permitiu levar a uma experiência de que agora o cliente poderá não só visualizar como ficará sua planta de energia solar após finalizada, como também segurar na mão a sua instalação. O resultado da simulação pode ser visualizado na

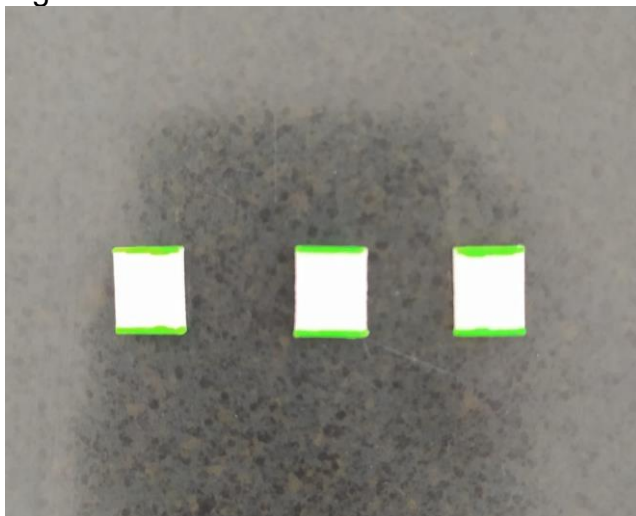
Figura 71 e Figura 72.

Figura 71 - Ginásio da APAE com os painéis fotovoltaicos



Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com Felipe Darcie Pereira.

Figura 72 - Inversores confeccionados na impressora 3D



Fonte: Elaborado pelo autor em parceria com Felipe Darcie Pereira.

4.12 Orçamentos realizados

Como foram realizados três orçamentos de acordo com a demanda da APAE, o orçamento 1 e 2 se tratam de empresas de José Bonifácio/SP e o orçamento 3 de uma empresa de São José do Rio Preto/SP. Sobre a escolha do kit fotovoltaico cada empresa aderiu ao seu dimensionamento de kit, seguindo à risca o levantamento energético de $3,402.385 \frac{kWh}{mês}$. Os detalhes dos orçamentos podem ser visualizados na

Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14.

Tabela 12 - Dados do orçamento 1

Módulo utilizado	Quantidade e módulos	Inversor utilizado	Quantidade de inversor	Transformador	Potência (kWp)	Preço (R\$)
DAH 440W	64	Solis 10kW	2	0	28,160	R\$90.780,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Dados do orçamento 2

Módulo utilizado	Quantidade e módulos	Inversor utilizado	Quantidade de inversor	Transformador	Potência (kWp)	Preço (R\$)
BYD 335W	88	Solis 25kW	1	1	29,480	R\$98.000,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Dados do orçamento 3

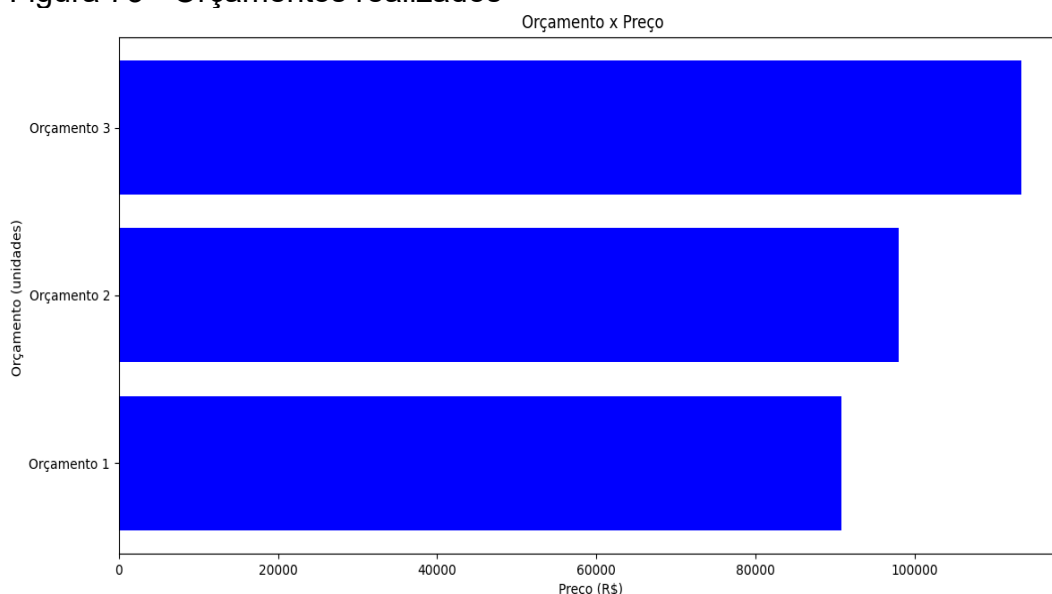
Módulo utilizado	Quantidade e módulos	Inversor utilizado	Quantidade de inversor	Transformador	Potência (kWp)	Preço (R\$)
JINKO 440W	68	SMA 25kW	1	1	29,920	R\$113.371,740

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os orçamentos 2 e 3 se diferem do orçamento 1 devido a utilização de inversores trifásicos (380V), necessitando assim de transformadores para a tensão seja reduzida para 220V, devido a isso apresentaram um preço superior.

Analisando o orçamento 2, foi possível observar que foi utilizado o mesmo módulo fotovoltaico do presente estudo, porém uma quantidade maior, isso pode ser devido a uma taxa de desempenho diferente a utilizada para se calcular a potência do gerador fotovoltaico, um valor distinto para a irradiação do local e até mesmo um possível erro que pode ser carregado em dimensionamentos realizados em planilhas. Os orçamentos, em forma de gráfico, podem ser visualizados na Figura 73.

Figura 73 - Orçamentos realizados



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.13 Viabilidade econômico-financeiro

Para o início de uma viabilidade econômico-financeiro, é necessário determinar o valor do sistema fotovoltaico, os fluxos de caixa futuros, o tempo em que estes fluxos ocorrerão e a monetização do dinheiro com o decorrer do tempo.

4.13.1 Degradação do módulo

Segundo o *datasheet* do módulo fotovoltaico utilizado neste estudo (Anexo A), o fabricante garante que em 25 anos o módulo esteja operando com 80% de eficiência, o que dá uma taxa de depreciação do painel é de $0,800 \frac{\%}{ano}$. A depreciação do módulo fotovoltaico pode ser visualizada na Tabela 15.

Tabela 15 - Depreciação do módulo fotovoltaico

Ano	Geração sem depreciação ($\frac{kWh}{mês}$)	Geração com depreciação ($\frac{kWh}{mês}$)
0	3.402,385	3.402,385
1	3.402,385	3.375,166
2	3.402,385	3.347,947
3	3.402,385	3.320,728
4	3.402,385	3.293,509
5	3.402,385	3.266,290
6	3.402,385	3.239,071
7	3.402,385	3.211,851
8	3.402,385	3.184,632
9	3.402,385	3.157,413
10	3.402,385	3.130,194
11	3.402,385	3.102,975

12	3.402,385	3.075,756
13	3.402,385	3.048,537
14	3.402,385	3.021,318
15	3.402,385	2.994,099
16	3.402,385	2.966,880
17	3.402,385	2.939,661
18	3.402,385	2.912,442
19	3.402,385	2.885,222
20	3.402,385	2.858,003
21	3.402,385	2.830,784
22	3.402,385	2.803,565
23	3.402,385	2.776,346
24	3.402,385	2.749,127
25	3.402,385	2.721,908

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.13.2 Tarifas e tributos

Levando em consideração os reajustes das tarifas de energia para José Bonifácio/SP, a CPFL Paulista traz uma projeção dos reajustes tarifários de acordo com os anos (CPFL, 2020a). A projeção do reajuste tarifário pode ser visualizada na Tabela 16.

Tabela 16 - Projeção do reajuste tarifário

Ano	Reajuste (%)
2019	8,340
2020	5,710
2021	8,640

Fonte: Adaptado de Aldo (20--?b).

Com auxílio da Tabela 16, foi possível calcular a média do reajuste que foi utilizado no estudo, valor este de 7,563%.

Em relação ao valor do kWh para a classificação da APAE (B3 Comercial), é de extrema importância saber que o PIS/COFINS estavam embutidos nas tarifas de energia elétrica e eram reajustadas quando dos reajustes periódicos das tarifas (CPFL, 2020b).

A partir da edição das Leis nº 10.637/2002, 10.833/2003 e 10.865/2004, o PIS/COFINS tiveram suas alíquotas fixadas em 1,650% e 7,600%, respectivamente, passando a ser apuradas de forma não cumulativa (CPFL, 2020b).

Porém a concessionária abate parte do seu custo e repassa o restante do valor para o consumidor. Apresentando assim, em grande maioria de casos mercado, uma média de PIS/COFINS de aproximadamente 5,000%.

A energia é considerada uma mercadoria, assim é calculado o ICMS (Imposto

sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). Segundo a CPFL Energia, a taxa de ICMS para “Poder Público e Autarquias Municipais” é de 18,000% (CPFL, 2020b).

Segundo a CPFL Energia, a classe da APAE (B3 Comercial) é encontrada como “Demais Classes”, e possui como valor de TE $0,296 \frac{R\$}{kWh}$ (Bandeira Verde) e TUSD $0,300 \frac{R\$}{kWh}$ (Bandeira Verde), representando uma tarifa sem tributos de $0,596 \frac{R\$}{kWh}$ (CPFL, 2020a).

Assim, para o cálculo da tarifa cheia foi levado em consideração a tarifa crua com acréscimo dos tributos (PIS/COFINS e ICMS), apresentando um valor de $0,868 \frac{R\$}{kWh}$. A previsão da tarifa com reajuste tarifário pode ser visualizada na Tabela 17.

Tabela 17 - Previsão da tarifa com o reajuste tarifário

Ano	Tarifa ($\frac{R\$}{kWh}$)
0	0,868
1	0,934
2	0,999
3	1,065
4	1,131
5	1,196
6	1,262
7	1,328
8	1,393
9	1,459
10	1,524
11	1,590
12	1,656
13	1,721
14	1,787
15	1,853
16	1,918
17	1,984
18	2,050
19	2,115
20	2,181
21	2,247
22	2,312
23	2,378
24	2,444
25	2,509

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo de disponibilidade do sistema elétrico aplicável ao faturamento mensal de instalações trifásicas é o valor equivalente a 100 kWh. E o valor da tarifa foi abordada sem considerar a taxa de iluminação pública (ANEEL, 2010). A previsão do valor da tarifa após implantação pode ser visualizada na Tabela 18.

Tabela 18 - Previsão do valor pago de tarifa após instalação dos painéis

Ano	Tarifa ($\frac{R\$}{kWh}$)	Valor da conta(R\$)
0	0,868	86,800
1	0,934	93,400
2	0,999	99,900
3	1,065	106,500
4	1,131	113,100
5	1,196	119,600
6	1,262	126,200
7	1,328	132,800
8	1,393	139,300
9	1,459	145,900
10	1,524	152,400
11	1,590	159,000
12	1,656	165,600
13	1,721	172,100
14	1,787	178,700
15	1,853	185,300
16	1,918	191,800
17	1,984	198,400
18	2,050	205,000
19	2,115	211,500
20	2,181	218,100
21	2,247	224,700
22	2,312	231,200
23	2,378	237,800
24	2,444	244,400
25	2,509	250,900

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.13.3 Payback simples (Pbs)

Antes de determinar o tempo de retorno do investimento é necessário mostrar o quanto de economia que os painéis, caso forem instalados, proporcionariam para a associação. A economia após a instalação dos módulos fotovoltaicos pode ser visualizada na Tabela 19.

Tabela 19 - Economia após instalação dos painéis

Ano	Geração com depreciação ($\frac{kWh}{mês}$)	Valor tarifa (R\$)	Economia mês (R\$)	Economia ano (R\$)
0	3.402,385	0,868	-	-
1	3.375,166	0,934	3.152,405	37.828,861
2	3.347,947	0,999	3.344,599	40.135,189
3	3.320,728	1,065	3.536,575	42.438,904
4	3.293,509	1,131	3.724,959	44.699,504
5	3.266,290	1,196	3.906,483	46.877,794
6	3.239,071	1,262	4.087,708	49.052,491
7	3.211,851	1,328	4.265,338	51.184,058
8	3.184,632	1,393	4.436,192	53.234,309
9	3.157,413	1,459	4.606,666	55.279,987
10	3.130,194	1,524	4.770,416	57.244,988
11	3.102,975	1,590	4.933,730	59.204,763
12	3.075,756	1,656	5.093,452	61.121,423
13	3.048,537	1,721	5.246,532	62.958,386

14	3.021,318	1,787	5.399,095	64.789,143
15	2.994,099	1,853	5.548,065	66.576,785
16	2.966,880	1,918	5.690,476	68.285,710
17	2.939,661	1,984	5.832,287	69.987,449
18	2.912,442	2,050	5.970,506	71.646,073
19	2.885,222	2,115	6.102,245	73.226,934
20	2.858,003	2,181	6.233,305	74.799,655
21	2.830,784	2,247	6.360,772	76.329,260
22	2.803,565	2,312	6.481,842	77.782,107
23	2.776,346	2,378	6.602,151	79.225,809
24	2.749,127	2,444	6.718,866	80.626,397
25	2.721,908	2,509	6.829,267	81.951,206

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analizando o orçamento número 1 (R\$90.780,000), foi possível realizar a Tabela 20 que mostra o fluxo de caixa ao longo de 25 anos.

Se o fluxo de caixa acumulado do ano anterior for negativo e o fluxo de caixa acumulado do ano respectivo também, não alcançou o payback ainda, soma-se 1 ano ao valor do payback.

Quando o fluxo de caixa acumulado do ano anterior for negativo e do atual for positivo, o investimento já foi pago, portanto é necessário saber em quanto tempo foi o pagamento. Para isso, por exemplo, se tem fluxo de caixa acumulado 100 milhões e recebe 200 milhões, divide-se o fluxo acumulado no momento pelo acréscimo obtendo assim meio ano. O fluxo de caixa acumulado para o orçamento 1 pode ser visualizado na Tabela 20 e Figura 74.

Se os dois fluxos forem positivos já aconteceu o payback.

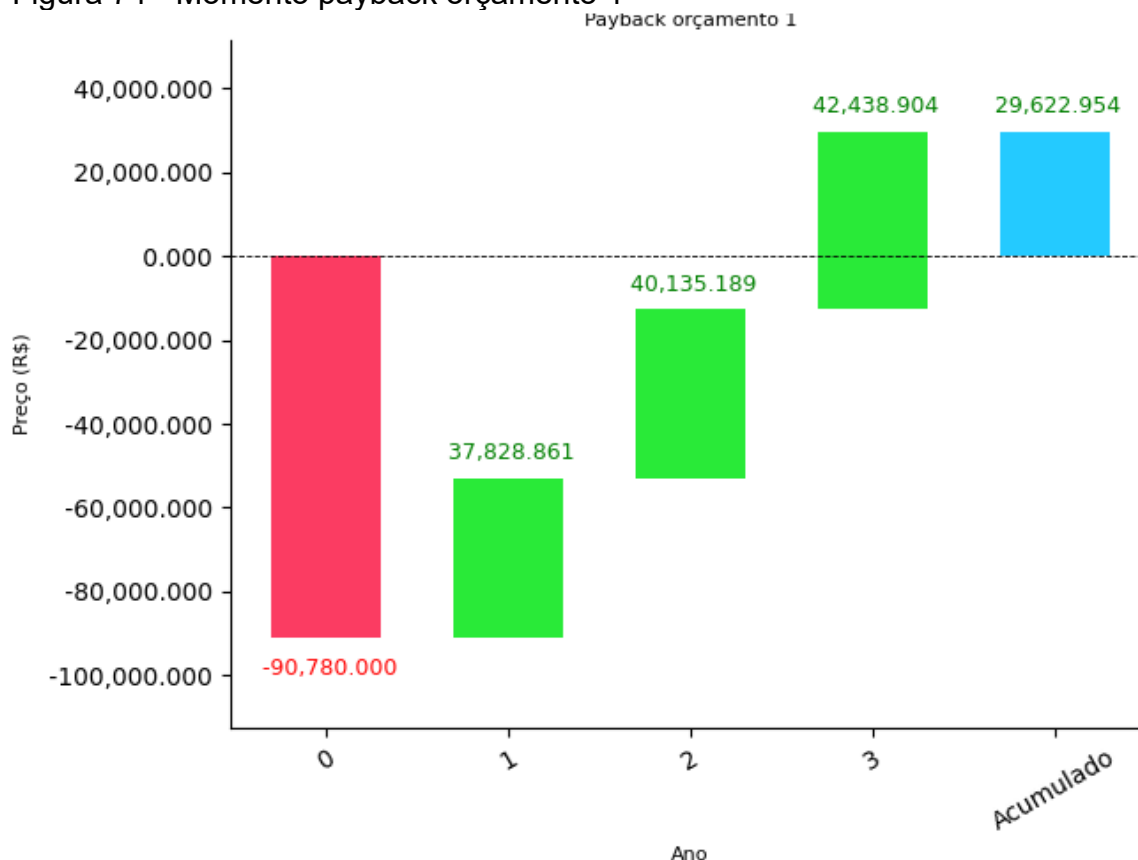
Tabela 20 - Fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para orçamento 1

Ano	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)
0	-90.780,000	-90.780,000
1	37.828,861	-52.951,139
2	40.135,189	-12.815,951
3	42.438,904	29.622,954
4	44.699,504	74.322,457
5	46.877,794	121.200,251
6	49.052,491	170.252,742
7	51.184,058	221.436,800
8	53.234,309	274.671,109
9	55.279,987	329.951,095
10	57.244,988	387.196,083
11	59.204,763	446.400,846
12	61.121,423	507.522,269
13	62.958,386	570.480,656
14	64.789,143	635.269,799
15	66.576,785	701.846,584
16	68.285,710	770.132,294
17	69.987,449	840.119,743
18	71.646,073	911.765,816
19	73.226,934	984.992,751

20	74.799,655	1.059.792,405
21	76.329,260	1.136.121,665
22	77.782,107	1.213.903,772
23	79.225,809	1.293.129,582
24	80.626,397	1.373.755,979
25	81.951,206	1.455.707,185

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74 - Momento payback orçamento 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da Tabela 20 e Figura 74, foi possível visualizar que o investimento se paga em algum momento entre o 2º e o 3º ano. Uma análise profunda mostra que o payback exato do investimento se dá no 2,302 ano, com um acumulado de R\$29.622,954 apenas considerando este período.

Analisando o orçamento número 2 (R\$98.000,000), foi possível realizar a Tabela 21 que mostra o fluxo de caixa ao longo de 25 anos.

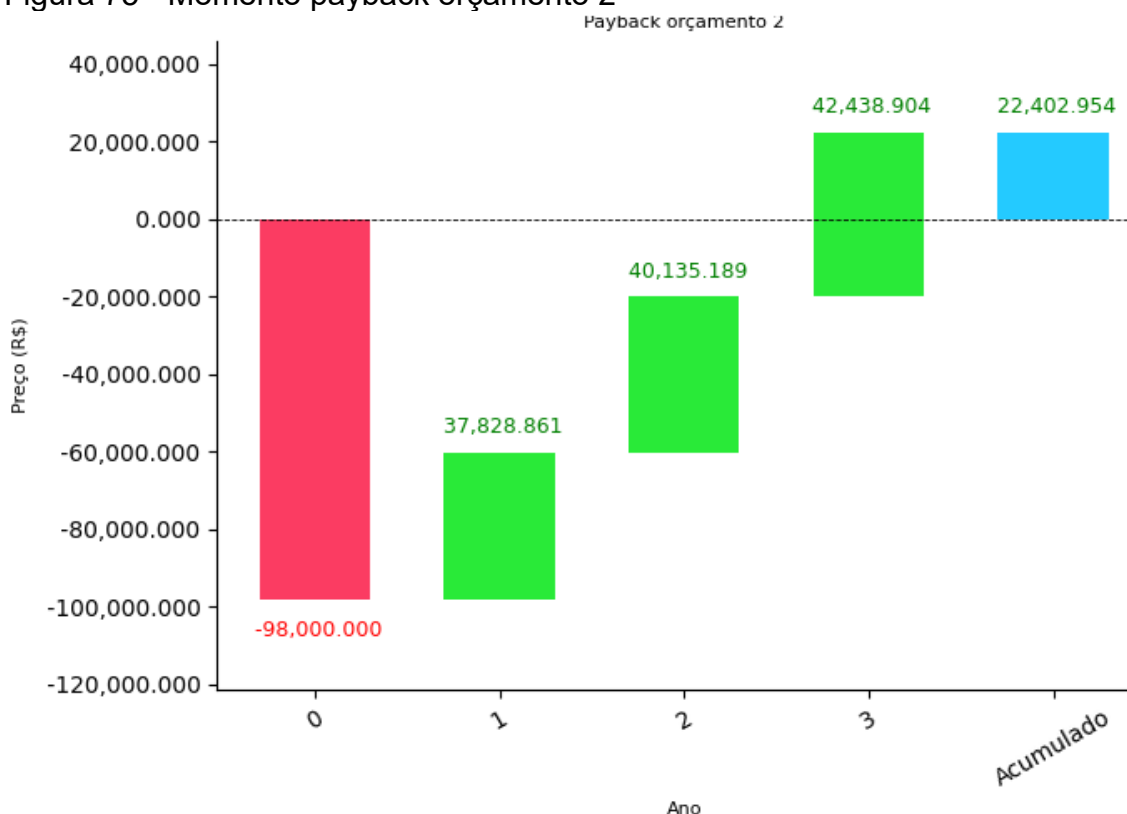
Tabela 21 - Fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para orçamento 2

Ano	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)
0	-98.000,000	-98.000,000
1	37.828,861	-60.171,139
2	40.135,189	-20.035,951
3	42.438,904	22.402,954
4	44.699,504	67.102,457
5	46.877,794	113.980,251

6	49.052,491	163.032,742
7	51.184,058	214.216,800
8	53.234,309	267.451,109
9	55.279,987	322.731,095
10	57.244,988	379.976,083
11	59.204,763	439.180,846
12	61.121,423	500.302,269
13	62.958,386	563.260,656
14	64.789,143	628.049,799
15	66.576,785	694.626,584
16	68.285,710	762.912,294
17	69.987,449	832.899,743
18	71.646,073	904.545,816
19	73.226,934	977.772,751
20	74.799,655	1.052.572,405
21	76.329,260	1.128.901,665
22	77.782,107	1.206.683,772
23	79.225,809	1.285.909,582
24	80.626,397	1.366.535,979
25	81.951,206	1.448.487,185

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 75 - Momento payback orçamento 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da Tabela 21 e Figura 75, foi possível visualizar que o investimento se paga em algum momento entre o 2º e o 3º ano. Uma análise profunda mostra que o payback exato do investimento se dá no 2,472 ano, com um acumulado de R\$22.402,954 apenas considerando este período.

Analisando o orçamento número 3 (R\$113.371,740), foi possível realizar a

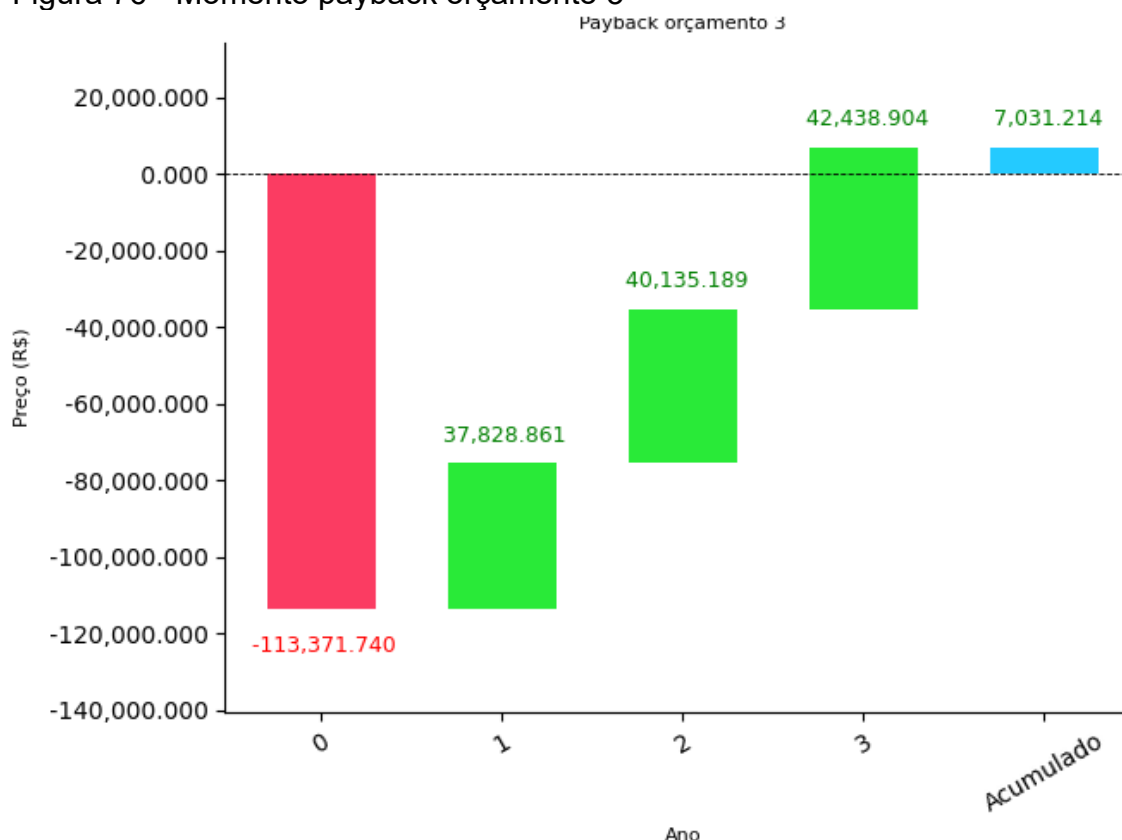
Tabela 22 e Figura 76 que mostram o fluxo de caixa ao longo de 25 anos.

Tabela 22 - Fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para orçamento 3

Ano	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)
0	-113.371,740	-113.371,740
1	37.828,861	-75.542,879
2	40.135,189	-35.407,691
3	42.438,904	7.031,214
4	44.699,504	51.730,717
5	46.877,794	98.608,511
6	49.052,491	147.661,002
7	51.184,058	198.845,060
8	53.234,309	252.079,369
9	55.279,987	307.359,355
10	57.244,988	364.604,343
11	59.204,763	423.809,106
12	61.121,423	484.930,529
13	62.958,386	547.888,916
14	64.789,143	612.678,059
15	66.576,785	679.254,844
16	68.285,710	747.540,554
17	69.987,449	817.528,003
18	71.646,073	889.174,076
19	73.226,934	962.401,011
20	74.799,655	1.037.200,665
21	76.329,260	1.113.529,925
22	77.782,107	1.191.312,032
23	79.225,809	1.270.537,842
24	80.626,397	1.351.164,239
25	81.951,206	1.433.115,445

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 76 - Momento payback orçamento 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da Tabela 22, foi possível visualizar que o investimento se paga em algum momento entre o 2º e o 3º ano. Uma análise profunda mostra que o payback exato do investimento se dá no 2,834 ano, com um acumulado de R\$7.031,214 apenas considerando este período.

Desta forma, o orçamento com menor payback é o orçamento número 1, com um payback de 2,302 anos.

4.13.4 Payback descontado (Pbd)

Diferentemente do payback simples, o descontado é de extrema importância se conhecer pois, como o dinheiro perde valor ao longo do tempo, o fluxo de caixa do projeto acaba tendo que ser corrigido pela TMA (Taxa Mínima de Atratividade). Com isso, o cálculo do payback descontado leva em conta este fator, já que para se comparar investimentos deve-se utilizar a TMA para obter o valor "real" do fluxo em cada período do projeto.

Como a APAE (Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais) é uma instituição beneficente, sem fins lucrativos, espera-se que ela não faça investimentos no sentido a obter rentabilidade, mas sim para benfeitorias da associação. Portanto, foi utilizado

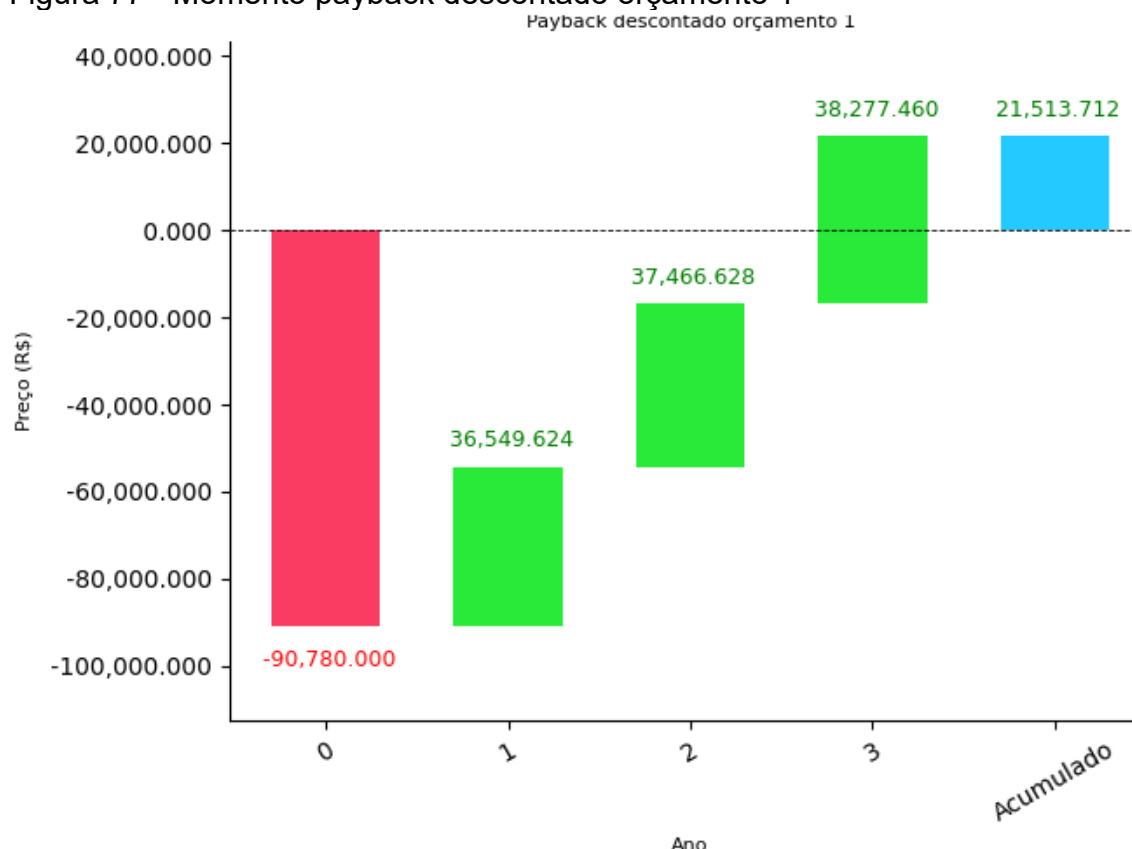
como referência para o TMA, o valor da Taxa Básica de Juros do país, a Taxa Selic, que atualmente em 11/05/2021 estava em $3,500\frac{\%}{ano}$. O fluxo de caixa descontado para o orçamento 1 pode ser visualizado na Tabela 23 e Figura 77.

Tabela 23 - Fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos para orçamento 1

Ano	Fluxo de caixa descontado (R\$)	Fluxo de caixa descontado acumulado (R\$)
0	-90.780,000	-90.780,000
1	36.549,624	-54.230,376
2	37.466,628	-16.763,747
3	38.277,460	21.513,712
4	38.953,035	60.466,748
5	39.469,845	99.936,592
6	39.904,233	139.840,825
7	40.230,207	180.071,032
8	40.426,749	220.497,782
9	40.560,639	261.058,420
10	40.582,049	301.640,469
11	40.552,049	342.192,518
12	40.449,137	382.641,655
13	40.255,853	422.897,508
14	40.025,553	462.923,061
15	39.739,058	502.662,120
16	39.380,773	542.042,892
17	38.997,271	581.040,163
18	38.571,462	619.611,625
19	38.089,406	657.701,031
20	37.591,755	695.292,786
21	37.063,268	732.356,054
22	36.491,525	768.847,578
23	35.911,921	804.759,499
24	35.310,906	840.070,405
25	34.677,406	874.747,811

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 77 - Momento payback descontado orçamento 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da Tabela 23 e Figura 77, foi possível visualizar que o investimento se paga em algum momento entre o 2º e o 3º ano. Uma análise profunda mostra que o payback descontado exato do investimento se dá no 2,438 ano, com um acumulado de R\$21.513,712 apenas considerando este período.

Analisando o orçamento número 2 (R\$98.000,000), foi possível realizar a Tabela 24 e Figura 78 que mostram o fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos.

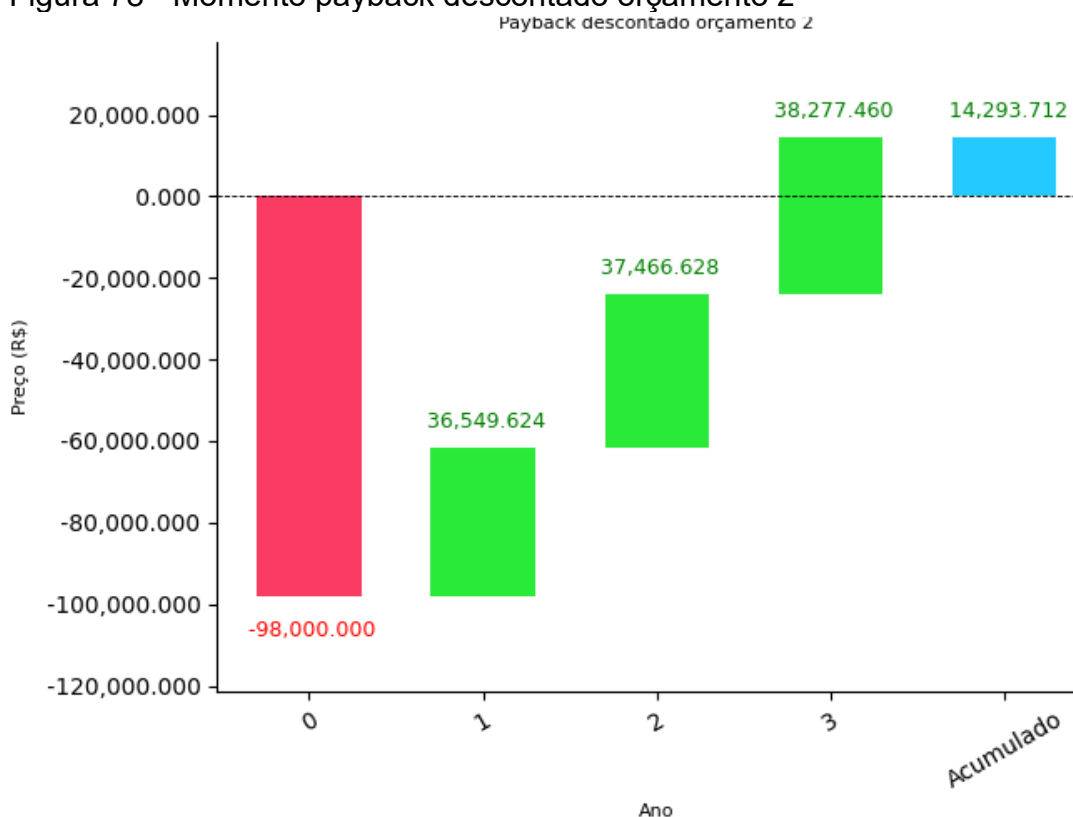
Tabela 24 - Fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos para orçamento 2

Ano	Fluxo de caixa descontado (R\$)	Fluxo de caixa descontado acumulado (R\$)
0	-98.000,000	-98.000,000
1	36.549,624	-61.450,376
2	37.466,628	-23.983,747
3	38.277,460	14.293,712
4	38.953,035	53.246,748
5	39.469,845	92.716,592
6	39.904,233	132.620,825
7	40.230,207	172.851,032
8	40.426,749	213.277,782
9	40.560,639	253.838,420
10	40.582,049	294.420,469
11	40.552,049	334.972,518
12	40.449,137	375.421,655

13	40.255,853	415.677,508
14	40.025,553	455.703,061
15	39.739,058	495.442,120
16	39.380,773	534.822,892
17	38.997,271	573.820,163
18	38.571,462	612.391,625
19	38.089,406	650.481,031
20	37.591,755	688.072,786
21	37.063,268	725.136,054
22	36.491,525	761.627,578
23	35.911,921	797.539,499
24	35.310,906	832.850,405
25	34.677,406	867.527,811

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 78 - Momento payback descontado orçamento 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da Tabela 24 e Figura 78, foi possível visualizar que o investimento se paga em algum momento entre o 2º e o 3º ano. Uma análise profunda mostra que o payback descontado exato do investimento se dá no 2,627 ano, com um acumulado de R\$14.293,712 apenas considerando este período.

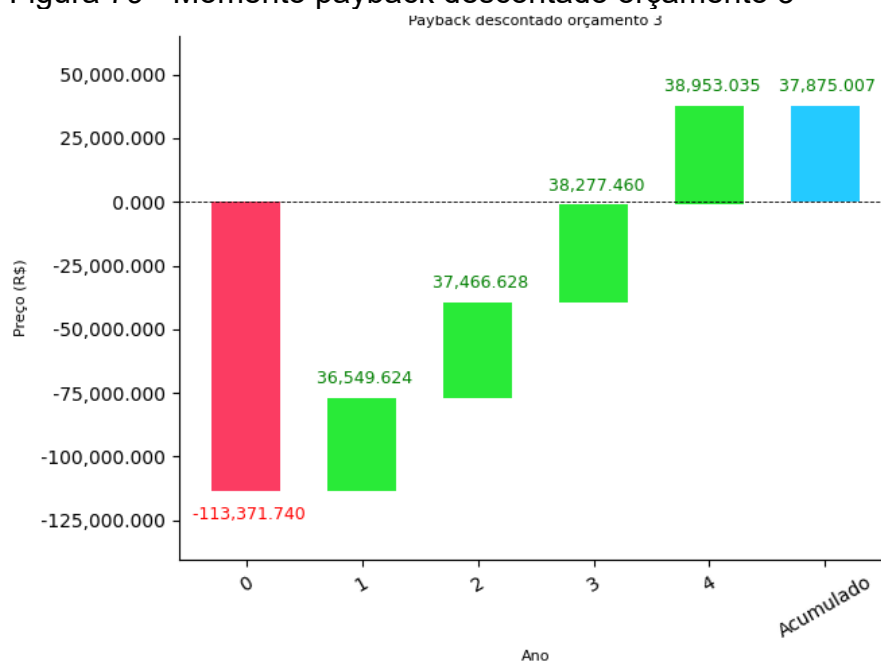
Analisando o orçamento número 3 (R\$113.371,740), foi possível realizar a Tabela 25 e Figura 79 que mostram o fluxo de caixa ao longo de 25 anos.

Tabela 25 - Fluxo de caixa descontado ao longo de 25 anos para orçamento 3

Ano	Fluxo de caixa descontado (R\$)	Fluxo de caixa descontado acumulado (R\$)
0	-113.371,740	-113.371,740
1	36.549,624	-76.822,116
2	37.466,628	-39.355,487
3	38.277,460	-1.078,028
4	38.953,035	37.875,008
5	39.469,845	77.344,852
6	39.904,233	117.249,085
7	40.230,207	157.479,292
8	40.426,749	197.906,042
9	40.560,639	238.466,680
10	40.582,049	279.048,729
11	40.552,049	319.600,778
12	40.449,137	360.049,915
13	40.255,853	400.305,768
14	40.025,553	440.331,321
15	39.739,058	480.070,380
16	39.380,773	519.451,152
17	38.997,271	558.448,423
18	38.571,462	597.019,885
19	38.089,406	635.109,291
20	37.591,755	672.701,046
21	37.063,268	709.764,314
22	36.491,525	746.255,838
23	35.911,921	782.167,759
24	35.310,906	817.478,665
25	34.677,406	852.156,071

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 79 - Momento payback descontado orçamento 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio da Tabela 25 e Figura 79, foi possível visualizar que o investimento se paga em algum momento entre o 3º e o 4º ano. Uma análise profunda mostra que o payback descontado exato do investimento se dá no 3,028 ano, com um acumulado

de R\$37.875,007 apenas considerando este período.

Desta forma, o orçamento com menor payback descontado é o orçamento número 1, com um payback de 2,438 anos.

4.13.5 Valor presente líquido (VPL)

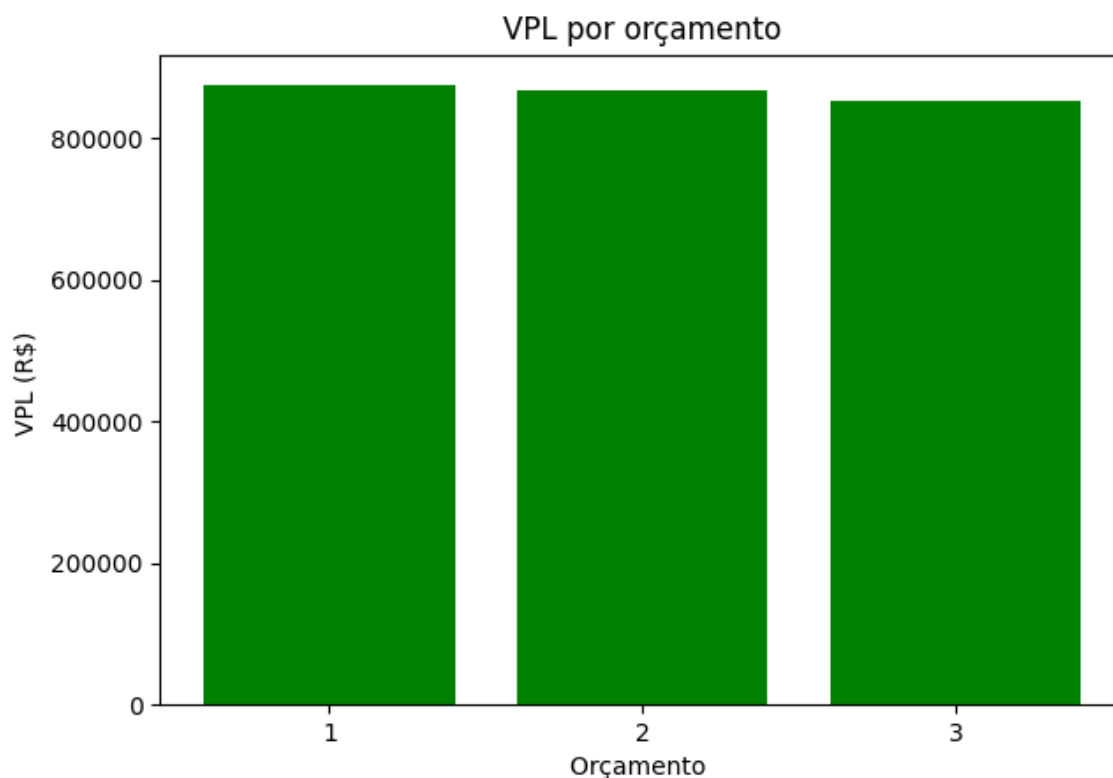
Após encontrado o fluxo de caixa para cada orçamento, e aplicado a taxa mínima de atratividade (TMA) para determinar o fluxo de caixa descontado, foi possível trazer para a data zero todos os fluxos de caixa descontados somados ao valor do sistema de energia solar fotovoltaica (VPL). O valor presente líquido por orçamento pode ser visualizado na Tabela 26.

Tabela 26 - Valor presente líquido por orçamento

Orçamento (unidades)	Valor presente líquido (R\$)
1	874.747,811
2	867.527,811
3	852.156,071

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 80 - VPL por orçamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma, o orçamento que apresentou o melhor valor presente líquido (VPL) é referente ao orçamento número 1, com um VPL de R\$874.747,811.

4.13.6 Taxa interna de retorno (TIR)

Se a TIR for maior que a TMA, o investimento deve ser aceito (geralmente não se baseia apenas em um indicador), caso contrário será rejeitado. A TIR é uma taxa de crescimento esperado do projeto (GONÇALVES, 2018).

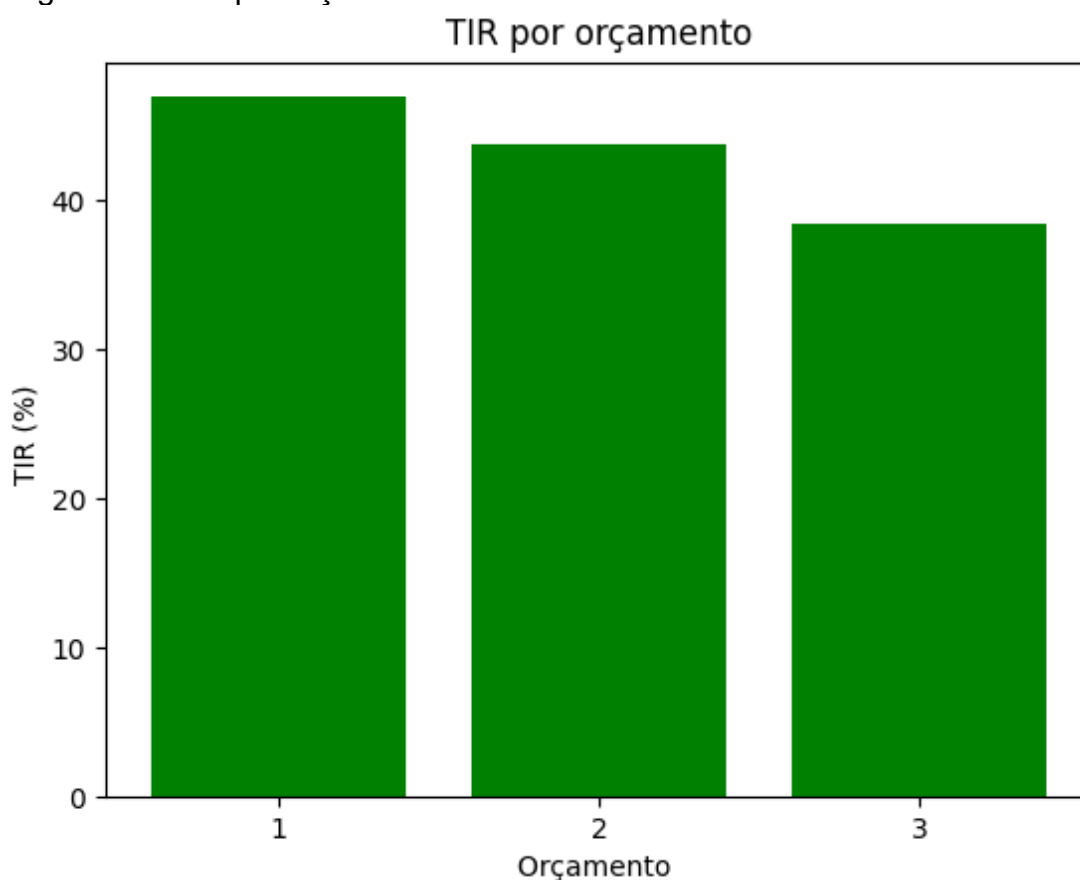
Ela deve sempre ser usada em conjunto com o VPL (Valor Presente Líquido) para obter uma imagem mais clara do valor representado por um projeto em potencial que uma empresa possa empreender (GONÇALVES, 2018). A taxa interna de retorno (TIR) por orçamento pode ser visualizada na Tabela 27 e Figura 81.

Tabela 27 - Taxa interna de retorno por orçamento

Orçamento (unidades)	Taxa interna de retorno ($\frac{\%}{ano}$)
1	46,915
2	43,787
3	38,432

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 81 - TIR por orçamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste estudo a Taxa mínima de atratividade (TMA) utilizada foi a Taxa Selic

$(3,500\frac{\%}{ano})$. De acordo com o cálculo realizado da Taxa interna de retorno (TIR) os três orçamentos apresentaram taxas superiores. Desta forma, o orçamento com maior TIR é o orçamento número 1, com um valor de $46,915\frac{\%}{ano}$.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica e financeira de implantação de uma planta de energia solar fotovoltaica na APAE – Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais, localizada na cidade de José Bonifácio no interior do estado de São Paulo, com base em indicadores econômicos. Para tanto, fez-se necessário o conhecimento do funcionamento dos equipamentos de energia solar, a economia proporcionada pelo sistema, diagrama unifilar da planta e do padrão da APAE a fim de validar e justificar o investimento.

Com base nos resultados, a Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) necessita de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica com capacidade de geração de $3.402,385 \frac{kWh}{mês}$ para abater seu consumo e guardar créditos de energia. Para essa demanda energética foram realizados três orçamentos, estes já contam com a instalação dos módulos fotovoltaicos no ginásio da associação, suportes de fixação, dispositivos de proteção, cabos CC e CA, módulos, inversores, serviço de engenharia de projetos e o projeto de homologação para a concessionária de energia elétrica CPFL Paulista.

O estudo de simulação 3D por meio do software PV*SOL® e utilização da impressora 3D, permite levar para a associação e para clientes que venham aderir plantas de energia solar fotovoltaica uma nova percepção de seu investimento. Sem considerar estas análises o cliente final só conseguiria ver sua instalação após finalizada, essas ferramentas tecnológicas permitem uma análise de como ficará a instalação (simulação 3D via software) e até mesmo visualizar um modelo palpável sobre o futuro investimento (simulação 3D via impressora).

No quesito financeiro, o projeto foi validado economicamente utilizando os critérios financeiros como payback simples (Pbs), payback descontado (Pbd), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). Os melhores resultados foram obtidos pelo orçamento número 1, apresentando payback simples de 2,302 anos, payback descontado de 2,438 anos, economia em 25 anos de R\$874.747,811 trazidos para a data zero do investimento e por fim uma taxa interna de retorno de $46,915 \frac{\%}{ano}$.

Analisando o payback simples e descontado, pode-se concluir que o investimento para a APAE é viável já que o consumo de energia elétrica será reduzido à taxa mínima, permitindo que o valor da economia seja direcionado para o pagamento

do investimento ou até mesmo para melhoria da infraestrutura do local levando um maior conforto para as crianças e funcionários.

Sobre o valor presente líquido, por ter apresentado um valor positivo de R\$874.747,811 torna o investimento viável para adesão.

Analisando a fundo a porcentagem da TIR de $46,915\frac{\%}{ano}$ e comparando com a taxa mínima de atratividade utilizada neste estudo ($3,500\frac{\%}{ano}$), foi possível determinar que o investimento é viável pelo fato de que a TIR é superior a TMA possibilitando que o investimento renda ao ano mais que a taxa Selic, taxa esta que foi utilizada neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**, 2004.

ABROKADABRA. **Realistic Solar Panel Model**. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1073265>. Acesso em: 06 abr. 2021.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Infográfico ABSOLAR**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 21 mar. 2021.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **APAE de Passo Fundo investe em energia solar e gera economia de cerca de 85%**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/apae-de-passo-fundo-investe-em-energia-solar-e-gera-economia-de-cerca-de-85/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

ALDO. **Gerador de energia solar growatt metalica perfil 55cm romagnole aldo solar on grid (60620-8): gef 10,05kwp byd poli half cell mtl-s 8kw 2mppt mono 220v. gef 10,05kwp byd poli half cell mtl-s 8kw 2mppt mono 220v**. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/60620-8/gerador-de-energia-solar-growatt-metalica-perfil-55cm-romagnole-aldo-solar-on-grid-gef-1005kwp-byd-poli-half-cell-mtl-s-8kw-2mppt-mono-220v>. Acesso em: 19 abr. 2021.

ALDO. **Gerador de energia solar growatt metalica perfil 55cm romagnole aldo solar on grid (60615-5): gef 6,7kwp byd poli half cell min 6kw 2mppt mono 220v. gef 6,7kwp byd poli half cell min 6kw 2mppt mono 220v**. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/60615-5/gerador-de-energia-solar-growatt-metalica-perfil-55cm-romagnole-aldo-solar-on-grid-gef-67kwp-byd-poli-half-cell-min-6kw-2mppt-mono-220v>. Acesso em: 19 abr. 2021.

AL-SHAHRI, O. A., ISMAIL, F. B., HANNAN, M. A., LIPU, M. S. H., AL-SHETWI, A. Q., BEGUM, R. A., AL-MUHSEN, N. F. O., SOUJERI, E. Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues : A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, 2021.

ANDRADE SANTOS, J. A. F., JONG, P., COSTA, C. A., TORRES, E. A. Combining wind and solar energy sources: Potential for hybrid power generation in Brazil. **Utilities Policy**, v. 67, p. 20, 2020.

ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica Cadernos Temáticos ANEEL**. 2016a.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-2>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ANEEL. **O que a ANEEL faz?** 2016b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/aneel-essencial/-/asset_publisher/c4M6OloMkLad/content/o-que-a-aneel-faz-?inheritRedirect=false. Acesso em: 05 abr. 2021.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: 07 maio 2021.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ANEEL. **Geração distribuída.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaW4NjM0OWYtN2lwZS00YjViLTlIMjltN2E5MzBkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 21 mar. 2021.

APAE JUNDIAI. **APAE de Jundiai se torna sustentável com a implantação de sistema de geração de Energia Limpa.** Disponível em: <https://www.apaejundiai.org.br/apae-de-jundiai-se-torna-sustentavel-com-a-implantacao-de-sistema-de-geracao-de-energia-limpa/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

APAE PASSO FUNDO. **APAE começa a utilizar energia solar.** Disponível em: <https://www.apaepassofundo.org.br/noticias/61>. Acesso em: 22 mar. 2021.

APAE SÃO VICENTE. **ENERGIA SOLAR PARA TODOS.** Disponível em: <http://www.apaesaovicente.org.br/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

AYNOÃ, M. **Inversor solar com 2 MPPT operando com entrada única.** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/inversor-solar-com-2-mppt-operando-com-entrada-unica/>. Acesso em: 03 abr. 2021.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

CANAL SOLAR. **Entenda os inversores com múltiplos MPPT**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/inversores-com-multiplos-mppt/>. Acesso em: 03 abr. 2021.

CANAL SOLAR. **Saiba como reconhecer um conector MC4 não original**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/saiba-como-reconhecer-um-conector-mc4-nao-original/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy Policy**, v. 125, n. October 2018, p. 396–404, 2019.

CHAPIN, D. M.; FULLER, C. S.; PEARSON, G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power [3]. **Journal of Applied Physics**, v. 25, n. 5, p. 676–677, 1954.

CHEN, H. C., CHANG, L. B., JENG, M. J., LAI, C. S. Characterization of laser carved micro channel polycrystalline silicon solar cell. **Solid-State Electronics**, v. 61, n. 1, p. 23–28, 2011.

CIDRAL JUNIOR, L. S. **TREINAMENTO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - WEG**, 2020.

CLAMPER. **String Box: A proteção para o seu sistema fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.clamper.com.br/pt/2019/10/07/clamper-stringbox/>. Acesso em: 05 abr. 2021.

COLLAÇO, F. M. A., DIAS, L. P., SIMOES, S. G., PUKSEC, T., SEIXAS, J., BERMANN, C. What if São Paulo (Brazil) would like to become a renewable and endogenous energy -based megacity? **Renewable Energy**, v. 138, p. 416–433, 2019.

CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz. **Taxas e Tarifas**. Disponível em: <https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas/localizar-distribuidora>. Acesso em: 06 maio 2021.

CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz. **Tributos Municipais, Estaduais e Federais**. Disponível em: <https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/tributos>. Acesso em: 06 maio 2021.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **Potencial Solar - SunData v 3.0.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&#:~:text=O%20programa%20SunData%20destina%2Dse,ao%20dimensionamento%20de%20sistemas%20fotovoltaicos>. Acesso em: 06 abr. 2021.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **O que é VPL e como calcular.** Disponível em: <https://www.dicionariofinanceiro.com/valor-presente-liquido/>. Acesso em: 14 abr. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. **Rio de Janeiro: EPE**, p. 264, 2020.

ENERDATA. **Total energy consumption.** Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>. Acesso em: 24 mar. 2021.

FADLALLAH, S. O.; SERRADJ, D. E. B. Determination of the optimal solar photovoltaic (PV) system for Sudan. **Solar Energy**, v. 208, n. June, p. 800–813, 2020.

GEI, Global Electricity Initiative 2014. **Global Electricity Initiative Report**, p. 54, 2014.

GNOLI, L., RIENTE, F., OTTAVI, M., VACCA, M. A memristor-based sensing and repair system for photovoltaic modules. **Microelectronics Reliability**, v. 117, n. March 2020, p. 114026, 2021.

GONÇALVES T. **O que é Taxa Interna de Retorno (TIR) e como calcular.** Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno>. Acesso em: 11 maio 2021.

GOOGLE MAPS. **APAE José Bonifácio.** Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/APAE+Associa%C3%A7%C3%A3o+Pais+Amigos+Excepcionais/@-21.0608062,-49.6872955,287m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1zQVBBRSBKb3PDqSBCb25pZsOhY2lv!3m4!1s0x94bdc0070233e679:0xbaf0d34d031fde04!8m2!3d-21.060262!4d-49.68715>. Acesso em: 06 abr. 2021.

HOSENUZZAMAN, M., RAHIM, N. A., SELVARAJ, J., HASANUZZAMANA, M., MALEK, A. B. M. A., NAHAR, A. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 284–297, 2015.

INGHRAM. **Model Aircraft Hangar.** Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:4360095>. Acesso em: 06 abr. 2021.

IRENA. **Country Rankings.** 2020b. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 24 mar. 2021.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2019.** International Renewable Energy Agency, 2020a.

IRENA. **Technologies.** 2020c. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies>. Acesso em: 24 mar. 2021.

KAMP, L. M.; BERMÚDEZ, E F. Ethiopia's emerging domestic biogas sector: Current status, bottlenecks and drivers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 475–488, 2016.

LÁZÁR, I., SZEGEDI, S., TÓTH, T., NAGY, G. C. An estimation model based on solar geometry parameters for solar power production. **Energy Reports**, v. 6, p. 1636–1640, 2020.

LI, L., LIN, J., WU, N., XIE, S., MENG, C., ZHENG, Y., WANG, X. Review and outlook on the international renewable energy development. **Energy and Built Environment**, n. June, p. 19, 2020.

LI, Y., HE, C., LYU, Y., SONG, G., WU, B. Crack detection in monocrystalline silicon solar cells using air-coupled ultrasonic lamb waves. **NDT and E International**, v. 102, n. September 2018, p. 129–136, 2019.

MATTHEWS, M. R. **Science and worldviews in the classroom: Joseph Priestley and photosynthesis.** v. 18, 2009.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., GONÇALVES, A. R., COSTA, R. S., LIMA, F. J. L., RUTHER, R., ABREU, S. L., TIEPOLO, G. M., PEREIRA, S. V., SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar (Vol. 1).** 2. ed. São José dos Campos: Swera, 2006.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPOL – CRESEB, 2014.

PORTAL SOLAR. **ANEEL | Energia Solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/aneel-energia-solar>. Acesso em: 05 abr. 2021.

PORTAL SOLAR. **APAE de Jundiaí economiza 95% com a instalação de um sistema de energia solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/apae-de-jundiai-economiza-95-com-a-instalacao-de-um-sistema-de-energia-solar.html>. Acesso em: 22 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **APAE São Vicente economiza na conta de luz com utilização de energia solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/apae-sao-vicente-economiza-na-conta-de-luz-com-utilizacao-de-energia-solar.html>. Acesso em: 22 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Célula solar fotovoltaica.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Pannel Solar Fotovoltaico.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PRATES, W. R. **Qual a diferença entre payback simples e descontado?** Disponível em: https://cienciaenegocios.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/#O_que_e_payback_simples. Acesso em: 14 abr. 2021.

PROCEL. **Selo Procel.** Disponível em: <http://www.procel.gov.br/main.asp?View=%7BD52CB882-424C-4D38-B156-24EEC10D75FC%7D&Team=¶ms=itemID=%7B8F4C66D8-3911-452C-BA28-64EC06B56330%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em: 02 abr. 2021.

REIS, P. Portalenergia. **Os 20 maiores parques solares fotovoltaicos do mundo.** Disponível em: <https://www.portal-energia.com/maiores-parques-solares-fotovoltaicos-mundo-147890/>. Acesso em: 24 mar. 2021

REN21. **Renewables 2020 Global Status Report.** Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf. Acesso em: 24 mar. 2021.

RÜTHER, R. **EDIFÍCIOS SOLARES FOTOVOLTAICOS.** Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SANTOS, K. C. B. M. **Como é calculada a corrente corrigida?** Disponível em: <https://suporte.altogi.com.br/hc/pt-br/articles/115003776554-Como-%C3%A9-calculada-a-corrente-corrigida->. Acesso em: 14 abr. 2021.

SHOCKLEY, W.; QUEISSER, H. J. Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells. **Journal Of Applied Physics**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 510-519, mar. 1961.

SOBRI, S.; KOOHI-KAMALI, S.; RAHIM, N. A. Solar photovoltaic generation forecasting methods: A review Number of Day. **Energy Conversion and Management**, v. 156, n. December 2017, p. 459–497, 2020.

SOLARVOLT. **String Box: O Que É e Como Funciona?** Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SOPIAN, K.; CHEOW, S. L.; ZAIDI, S. H. An overview of crystalline silicon solar cell technology: Past, present, and future. **AIP Conference Proceedings**, v. 1877, n. September, 2017.

SOUDI, N., NANAYAKKARA, S., JAHED, N. M. S., NAAHIDI, S. Rise of nature-inspired solar photovoltaic energy convertors. **Solar Energy**, v. 208, n. May, p. 31–45, 2020.

VILLALVA, M. **Como fazer o cabeamento elétrico de módulos fotovoltaicos?** 2019a. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/cabeamento-eletrico-de-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

VILLALVA, M. **Conhecendo o inversor solar fotovoltaico por dentro.** 2020b. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/conhecendo-o-inversor-solar-fotovoltaico-por-dentro/>. Acesso em: 03 abr. 2021.

VILLALVA, M. **Economizando cabos com a conexão leap-frog dos módulos fotovoltaicos.** 2019b Disponível em: <https://canalsolar.com.br/economizando-cabos-conexao-leap-frog-modulos-fv/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

VILLALVA, M. **Funções e requisitos técnicos dos inversores fotovoltaicos.** 2019c. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/funcoes-e-requisitos-tecnicos-dos-inversores-fotovoltaicos/>. Acesso em: 03 abr. 2021.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2. ed.

Campinas: Érica, 2018. 405 p.

VILLALVA, M. **Filmes finos CIGS: uma alternativa ao silício cristalino**. 2020a. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino/>. Acesso em: 26 mar. 2021

VINTURINI, M. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>. Acesso em: 05 abr. 2021.

WAN, C., ZHAO, J., SONG, Y., XU, Z., LIN, JIN., HU, Z. Photovoltaic and solar power forecasting for smart grid energy management. **CSEE Journal of Power and Energy Systems**, v. 1, n. 4, p. 38–46, 2016.

WANG, A.; XUAN, Y. Close examination of localized hot spots within photovoltaic modules. **Energy Conversion and Management**, v. 234, n. December 2020, p. 113959, 2021.

WANG, Y.; HE, J.; CHEN, W. Distributed solar photovoltaic development potential and a roadmap at the city level in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 141, n. February, p. 110772, 2021.

ANEXO A – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO

PHK-36-SÉRIE-4BB**156.75P****18.8%**

Eficiência celular média de até 18,8%
Excelente desempenho óptico

10
Years

10 anos de garantia para o produto
25 anos de garantia de desempenho linear



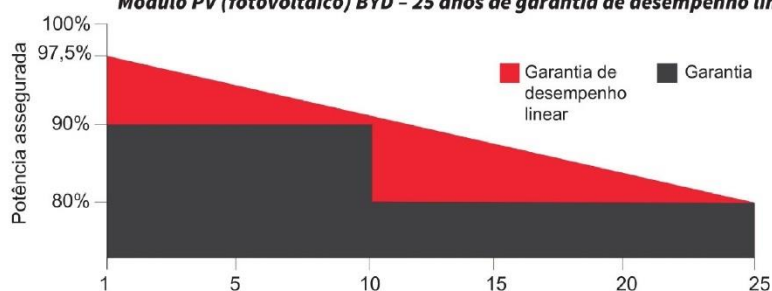
Sistemas residenciais para telhados
Sistemas comerciais *on-grid* (ligados à rede) e *off-grid* (fora de rede)
Redes de serviços *on-grid* (ligadas à rede) e *off-grid* (fora de rede)

HIGH
Reliability

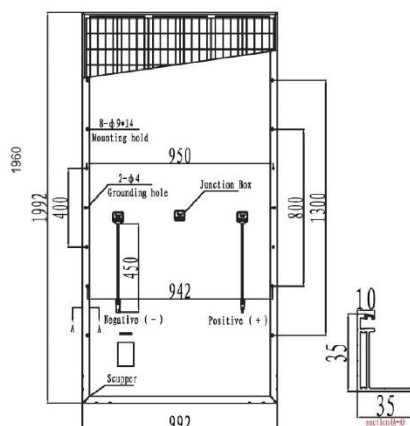
PID free
Sem micro fissuras
5400Pa para teste com carga de neve
2400Pa para teste com vento



IEC 61215, IEC 61730, UL1701
ISO9001:2008, ISO14001:2004

Módulo PV (fotovoltaico) BYD – 25 anos de garantia de desempenho linear**BYD ENERGY DO BRASIL**

PHK-36-SÉRIE-4BB

325 – 345W
156.75P


FICHA TÉCNICA

Célula	4 Bus Bar Solar Half Cell 156.75 x 78.735mm
Número de células	144 (6 x 24) unidades
Dimensão do módulo	1992 x 992 x 35 mm (78,43 x 39,06 x 1,38 polegadas)
Peso	22,2 kg (48,84 Lb)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm com revestimento de AR
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP67
Conector	IP67
Díodos bypass	3 unidades
Tipo de conector	Compatível com MC4
Área de seção do cabo	4 mm ² (0,0062 Sq in)
Comprimento do cabo	2 x 450 mm (2 x 17,72 polegadas)

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Coefficiente de temperatura da corrente de curto-circuito	5.0 mA/°C
Coefficiente de temperatura da tensão de circuito aberto	-171mV/°C
Coefficiente de temperatura de potência de pico	-0,43%/°C

INFORMAÇÕES SOBRE A EMBALAGEM

Embalagem	40' HC
Unidades / paleta	30
Paleta / contêiner	22
Unidades / contêiner	660

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS – BYD PHK-36-SÉRIE-4BB

Tipo de módulo	325PHK-36	330PHK-36	335PHK-36	340PHK-36	345PHK-36
Tensão de circuito aberto (Voc)	44.94 V	45.19 V	45.44 V	45.69 V	45.94 V
Tensão máxima de funcionamento (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.10 V	38.36 V	38.62 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9.14 A	9.20 A	9.25 A	9.31 A	9.36 A
Corrente de potência de pico (Imp)	8.65 A	8.72 A	8.79 A	8.86 A	8.93 A
Potência máxima em STC (Pmax)	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp	345 Wp
Eficiência do módulo	16.45%	16.70%	16.95%	17.21%	17.46%
Temperatura de operação	-40°C ~ 85°C				
Valor nominal da corrente máxima do fusível	15A				
Tensão máxima do sistema	1500 VCC				
Tolerância de saída de potência	0 ~ 5 W				
Classe de aplicação	Classe A				

Valores em condições de teste normalizadas STC: IRRADIÂNCIA de 1000W/m² temperatura do módulo de 25°C, AM (massa de ar) = 1,5. Redução média de eficiência de 4.5% a 200 W/m²

Sobre a BYD

Gigante global especializada em energia limpa, a BYD foi fundada em 1995 e rapidamente se tornou a maior fabricante mundial de baterias recarregáveis, sistemas de armazenamento de energia, ônibus e caminhões 100% elétricos. Desde 2015, a BYD também vem surpreendendo o mundo como a maior fabricante de automóveis elétricos e híbridos *plug-in* do mundo (2015, 2016 e 2017). Presente em cinco continentes, mais de 50 países e em cerca de 200 cidades, têm entre seus sócios o americano *Warren Buffet*. No Brasil, a BYD abriu sua primeira fábrica em 2015 para produção de ônibus elétricos e comercialização de veículos e empilhadeiras em Campinas, interior de São Paulo. Em abril de 2017, neste mesmo local, inaugurou sua planta de produção de módulos fotovoltaicos.

ANEXO B – DATASHEET INVERSOR 8 KW FOTOVOLTAICO



Growatt 8000 MTL-S



Growatt 7000-8000 MTL-S é um sistema solar ideal solução para áreas como EUA e América Latina, e adequado para monofásica e grade monofásica dividida.

- Eficiência máxima 98.4%
- Duplo MPPT

Ficha de dados	8000MTL-S
Dados de entrada	
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	10500W
Máxima tensão CC	550V
Tensão de partida	100V
Tensão nominal	360V
Faixa de tensão de MPP	80-550
Número de MPPT	2
Número de strings fotovoltaicos por MPPT	2/1
Corrente máxima de entrada por MPPT	25A/12.5A
Máx. corrente de curto-circuito por MPPT	32A/16A
Categoria de sobretensão CC	Categoria II
Saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	8.0kW
Potência aparente máxima de CA	8.0kVA
Tensão nominal de saída/ Faixa	220V/180~280V
Frequência de rede CA/ Faixa	50, 60Hz/44-55Hz; 54-65Hz
Corrente máxima de saída	36.4A
Fator de potência (@potência nominal)	>0.99
Fator de potência ajustável	0.8l-0.8c
THDI	<3%
Tipo de conexão da rede CA	Fase única
Categoria de sobretensão CA	Categoria III
Eficiência	
Máxima eficiência	98.4%
Eficiência europeia	97.9%
Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa de CC	sim
Interrupção CC	sim
Proteção sobretensão CC	Tipolll
Monitoramento de resistência de isolamento	sim
Proteção de sobretensão CA	Tipolll
Proteção contra curto-circuito CA	sim
Monitoramento de falta à terra	sim
Monitoramento de grade	sim
Proteção anti-ilhamento	sim
Unidade de monitoramento de corrente residual	sim
Dados Gerais	
Dimensões (W/H/D) em mm	419/355/185
Peso	16.8 kg
Faixa de temperatura operacional	-25 °C ... +60 °C
Emissão de ruído (típico)	≤ 25 dB(A)
Altitude	3000m
Auto-consumo à noite	<0.5W
Topologia	Sem transformador
Resfriamento	Natural
Grau de Proteção Ambiental	IP65
Humidade relativa	0~100%
Conexão CA	Conector CA
Características	
Exibição	LCD +LED
RS485/RS232	Integrado
WIFI	sim
Garantia: 5 anos	Sim

ANEXO C – CONTA DE ENERGIA COMPLETA DA APAE

**Companhia Paulista
de Força e Luz**
Uma empresa do Grupo CPFL Energia



Rua Jorge de Figueiredo Correa, 1632
Jd. Prof. Tarcília - Campinas - SP - CEP 13087-397
Inscrição Estadual: 244.163.955.115
Inscrição no CNPJ: 33.050.196/0001-88

**APAE ASSOCIACAO DE PAIS E AMIGOS DOS EXCEPCIONAIS
R ADEMAR DE BARROS 2
CENTRO
15200-000 JOSE BONIFACIO SP**

Nota Fiscal
Conta de Energia Elétrica
Nº 101657953 Série C
Data de Emissão: 14/11/2019
Data de Apresentação: 20/11/2019
Pág: 01 de 01
Conta Contrato N° 310003623927
Leitura Próximo Mês: 16/12/2019

Lote	Roteiro de leitura	Nº. Medidor	PN	Reservado ao Fisco
09	JOBBU015-00000161	305710397	701952803	6E6B.FBD3.2AD7.65D2.00FA.B284.60A8.B952

PREZADO(A) CLIENTE

Mantenha seus dados sempre atualizados, alguns itens determinam a tarifa e tributação de sua fatura de energia elétrica. Solicite os serviços disponíveis em nosso site com rapidez e segurança e reserve mais tempo para você em seu dia-a-dia. Mais informações acesse o endereço que consta no verso de sua conta.

DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

APAE ASSOCIACAO DE PAIS E AMIGOS DOS EXCEPCIONAIS
R ADEMAR DE BARROS, 2
CENTRO
15200-000 JOSE BONIFACIO - SP

CNPJ: 51.840.999/0001-18
INSC. EST: ISENTA
CLASSIFICAÇÃO: Convencional B3 Comercial Outros Serviços Atividades - Trifásico 220 / 127 V

ATENDIMENTO	PN	SEU CÓDIGO	CONTA MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
0800 010 1010 www.cpfli.com.br	701952803	INSTALAÇÃO 23563885	NOV/2019	28/11/2019	3.155,54

DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO

Cod.	Descrição da Operação	Mês Ref.	Quant. Faturada	Unid. Med.	Tarifa com Tributos R\$	Valor Total da Operação R\$	Base Cálculo ICMS R\$	Aliq. ICMS	ICMS	Base Cálculo PIS/COFINS	PIS 1,33%	COFINS 6,13%	Bandeiras Tarifárias (Dias)
115	Nº 915200732093												
0805	Consumo Uso Sistema [KWh]-TUSD	NOV/19	4.164,000	kWh	0,32902978	1.370,08	1.370,08	18,00	246,61	1.370,08	18,22	83,99	Amarela
0801	Consumo - TE	NOV/19	4.164,000	kWh	0,37283449	1.551,85	1.551,85	18,00	279,30	1.551,85	20,04	95,12	16 Dias
0801	Adicional de Bandeira Amarela	NOV/19				44,88	44,88	18,00	8,04	44,88	0,59	2,74	Vermeilha P1
0801	Adicional de Bandeira Vermelha	NOV/19				108,88	108,88	18,00	19,56	108,88	1,45	6,66	14 Dias
0804	Juros de Mora	OUT/19				8,88							
0805	Multa por Atraso Ppto	OUT/19				65,90							
0805	Atualização Monetária	OUT/19				5,87							
	Total Distribuidora					3.155,54							
Total Consolidado						3.155,54	3.075,09		553,51	3.075,09	40,90	188,51	

HISTÓRICO DE CONSUMO			TARIFA ANEEL			EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO / DATAS DE LEITURAS						
	kWh	Dias				Nº	Energia	Leitura	Leitura	Fator	Consumo	Taxa de Perda
2019 NOV	4164	30	Consumo	TUSD	TE							
OUT	4547	33	Consumo kWh	0,24329000	0,27779000	305710397	Ativa	14/11/2019	15/10/2019	1,00	4.164	16/12/2019
SET	3193	29						3040	98876			
AGO	2770	29										
JUL	2693	33										
JUN	2573	29										
MAI	4170	32										
ABR	3807	29										
MAR	3265	30										
FEV	2849	28										
JAN	2676	32										
2018 DEZ	3893	31										
NOV	3631	29										

INDICADORES DE CONTINUIDADE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA

Para consulta dos indicadores acesse nosso site www.cpfli.com.br

INFORMAÇÕES SOBRE A FATURA

AVISO IMPORTANTE

Nota Fiscal
Conta de Energia Elétrica
Nº 101657953 Série C

CódDébAut-Banco
310003623927

Total a Pagar (R\$)
3.155,54

Data de Vencimento
28/11/2019

Essa conta poderá ser paga no credenciado mais perto de você. Confira a lista completa no site

GEMEOS KIDS
KRESCOE EMP IMOBILIARIOS
LUCAS SUPERMERCADO

RUA DOMINGOS FERNANDES ALONSO 268 - CENTRO
AV PEDRO DE TOLEDO 377 - CENTRO
AV ANTONIO GONCALVES DA SILVA 640 - CENTRO

83620000310 555400403104 833822838037 100036239273



Autenticação Mecânica



ANEXO D – DATASHEET INVERSOR 6 KW FOTOVOLTAICO

MIN3000TL-X MIN5000TL-X MIN6000TL-X

- Eficiência máxima 98.4%
- Suporta controle de exportação
- Tecla sensível ao toque e display OLED
- Duplo MPPT
- SPD tipo II no lado CC



P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Growatt
POWERING TOMORROW

www.ginverter.com

Ficha de dados	MIN 3000TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
Dados de entrada			
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	4200W	7000W	8100W
Máxima tensão CC	500V	550V	550V
Tensão de partida			
Faixa de tensão de MPPT / tensão nominal de MPPT	60V-500V / 360V	60V-550V / 360V	60V-550V / 360V
Corrente máxima de entrada		13.5A/13.5A	
Máxima corrente curto-circuito por trackers MPP		16A/16A	
Número de MPPT / strings por MPPT		2/1	
Saída (CA)			
Potência nominal de saída CA	3000W	5000W	6000W
Potência aparente máxima de CA	3000VA	5000VA	6000VA
Corrente máxima de saída	13.6A	22.7A	27.2A
Tensão nominal de saída (Faixa)		230V(160V-300V)	
Frequência de rede CA(Faixa)		50Hz/60Hz, ±5Hz	
Fator de potência ajustável		0.8-0.8c	
THDI		< 3%	
Conexão CA		Fase única	
Eficiência			
Máxima eficiência	98.2%	98.4%	98.4%
Eficiência europeia	97.1%	97.5%	97.5%
Eficiência MPPT		99.9%	
Dispositivos de proteção			
Proteção de polaridade reversa de CC		sim	
Interruptor CC		sim	
Proteção de sobretensão CC		Tipol	
Proteção de sobrecorrente de saída		sim	
Proteção de sobretensão CA		TipolI	
Monitoramento de falta à terra		sim	
Monitoramento de grade		sim	
Unidade de monitoramento de corrente de vazamento sensível a todos os pólos integrada		sim	
Dados Gerais			
Dimensões (L/A/P)		375/350/160mm	
Peso		10.8kg	
Faixa de temperatura operacional		-25°C... +60°C	
Emissão de ruído (típico)		≤ 35 dB(A)	
Altitude		4000m	
Auto-consumo à noite		< 1W	
Topologia		Sem transformador	
Resfriamento		Resfriamento Natural	
Grav de proteção ambiental		IP65	
Humidade relativa		100%	
Características			
Conexão CC		H4 / MC4	
Conexão CA		Conector	
Exibição		OLED+LED	
Interfaces: RS485 / USB		Sim/	
Garantia: 5 anos		Sim/	
CE, IEC62109, G98, G99, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116, INMETRO			

ANEXO E – NORMA GED-13 CPFL PAULISTA

	Tipo de Documento:	Norma Técnica
	Área de Aplicação:	Distribuição
	Título do Documento:	Fornecimento em Tensão Secundária de Distribuição

Tabela 1A
Dimensionamento do Ramal de Entrada – Tensão 127/220V

Cate- goria	Carga Instalada (C) KW	Demanda (kVA)	LIMITAÇÃO MOTORES (cv)			CABO mm ²	CAIXA	DIS- JUN- TOR (A)	ELETRO- DUTO mm (pol)	ATERRAMENTO		POSTES		PONTA- LETE	RAMAL DE LIGAÇÃO
			FN (*)	FF (**)	FN (***)					CON- DUT- TOR mm ²	ELETRO- DUTO mm (pol)	TUBULAR DE AÇO (mm)	CON- CRETO (dalV)		
A1 (*)	C ≤ 6	-	1			6		32	32 (1)	6					10mm ² - Duplex
A2 (*)	C ≤ 12	-	2			16	II (**)	63	32 (1)	10					10mm ² - Triplex
B1	12 < C ≤ 18	-	2	3		16	IV (***)	63	32 (1)	10					10mm ² - Triplex neutro isolado
B2	18 < C ≤ 25	-	2	5		25		80	40 (1 1/4)	10					16mm ² - Triplex
C1		D ≤ 23	2	3		16		63	40 (1 1/4)	10					25mm ² - Triplex
C2		23 < D ≤ 30	2	5		25	III ou V	80	40 (1 1/4)	10					10mm ² - Quadruplex
C3		30 < D ≤ 38	3	7,5		35		100	40 (1 1/4)	10					16mm ² - Quadruplex
C4 (****)		38 < D ≤ 47	5	7,5		50		125	50 (1 1/2)	16					25mm ² - Quadruplex
C5 (****)		47 < D ≤ 57	7,5	10		70 (****)	H + T Opção na M + T	150	60 (2)	25			200		35mm ² - Quadruplex
C6		57 < D ≤ 76	7,5	15		95 (****)		200	60 (2)	35			300		50mm ² - Quadruplex
															70mm ² - Quadruplex

(*) Para redes de distribuição na qual o neutro não está disponível, situação esta não padronizada, a carga instalada máxima é 18 ou 25 kW (equivalente à categoria B1 ou B2), e o fornecimento será feito por sistema monofásico, dois fios, fase-fase.

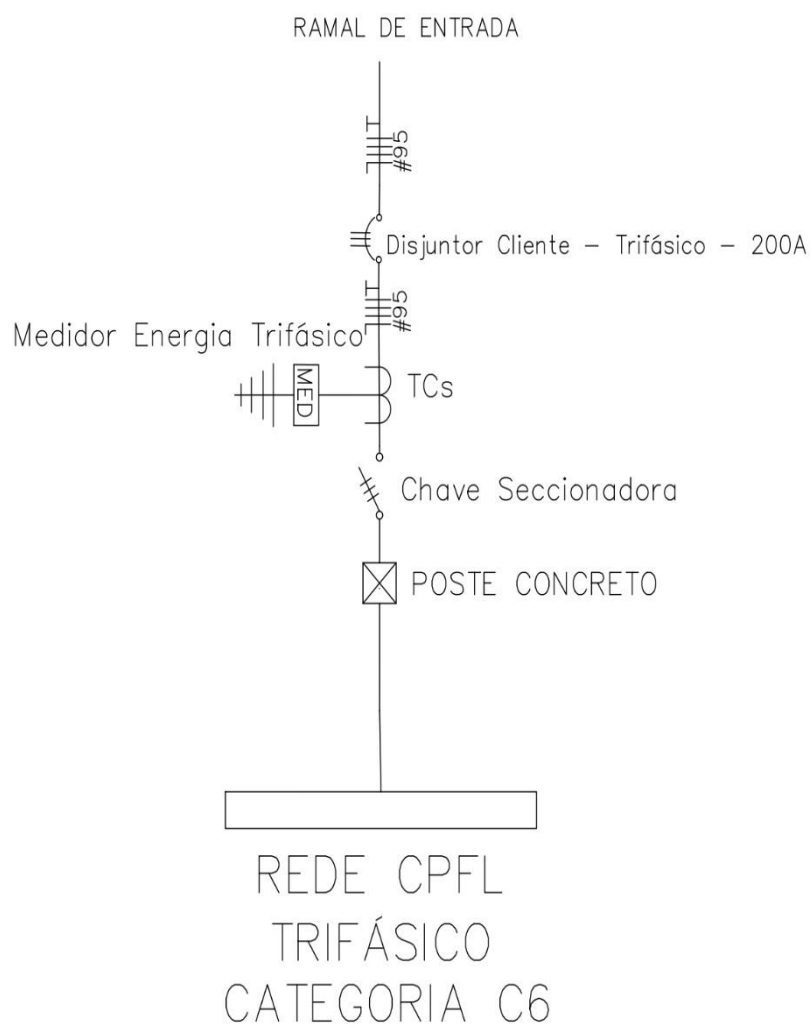
(**) Quando houver previsão de aumento de carga além da categoria de atendimento B2, recomenda-se o uso de caixas do tipo III ou V, de forma a evitar-se reformas do padrão de entrada. Neste caso, observar também o dimensionamento do poste e eletrodutos.

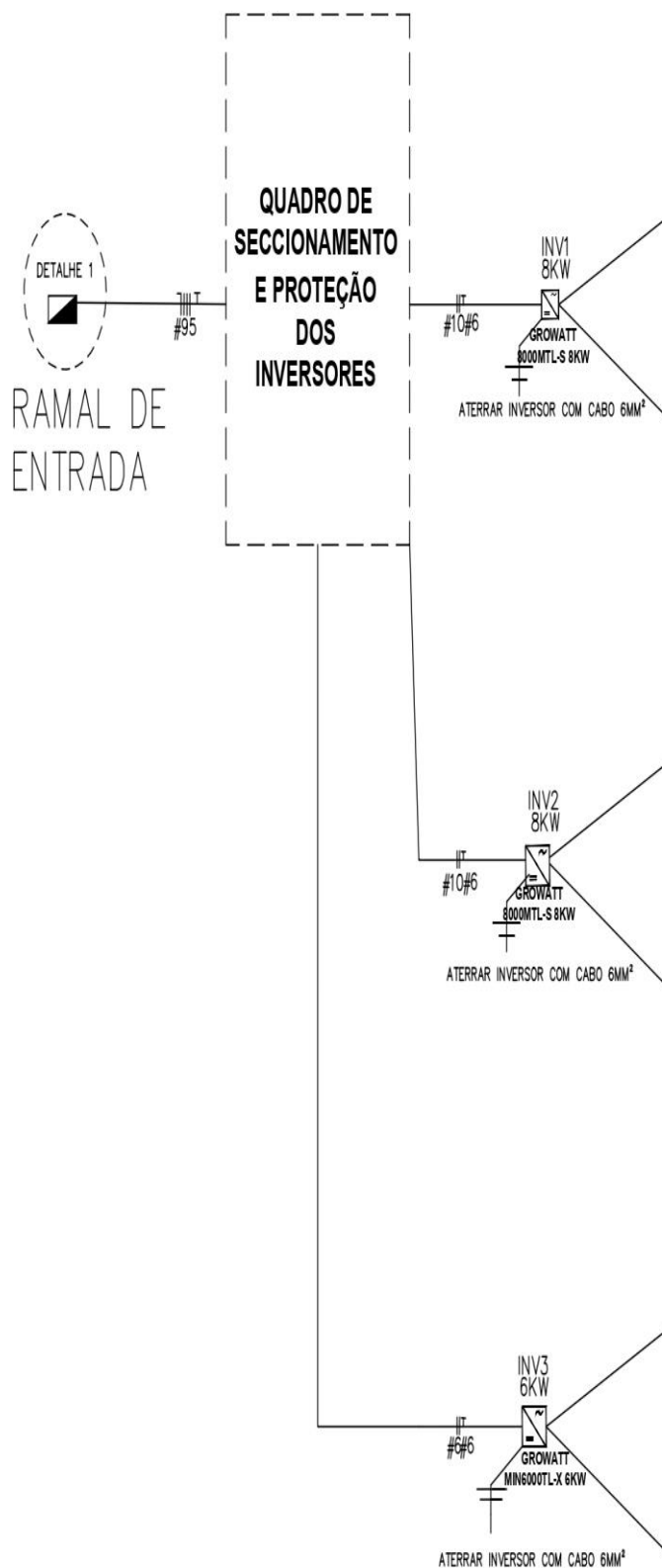
(***) Vide item 13 e tabela 13 para detalhes dos requisitos de partida.

(****) Nos trechos de cabos entre seccionadora-medidor e medidor-proteção deverão ser utilizados condutores flexíveis. A instalação que fizer uso de condutores extra-flexíveis nestes trechos não será ligada.

(*****) Quando houver previsão de aumento de carga, o cliente poderá optar por construir o padrão de entrada utilizando cabos, eletroduto e poste da categoria correspondente à carga futura. Neste caso, o disjuntor e os trechos de cabos entre seccionadora e medidor, e entre medidor e disjuntor, deverão corresponder à categoria para qual pedirá ligação.

N.Documento: 13	Categoria: Manual	Versão: 2.14	Aprovado por: Caius Vinicius Sampaio Malagó	Data Publicação: 02/05/2016	Página: 48 de 111
--------------------	----------------------	-----------------	--	--------------------------------	----------------------

ANEXO F – DIAGRAMA UNIFILAR DO PADRÃO DE ENTRADA

ANEXO G – DIAGRAMA UNIFILAR DA PLANTA DE ENERGIA SOLAR

QUADRO DE SECCIONAMENTO E PROTEÇÃO DOS INVERSORES

