

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WILLIAM DA SILVA PORTO

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETO FOTOVOLTAICO PARA
EMPRESA PROVEDORA DE INTERNET**

CORNÉLIO PROCÓPIO

2022

WILLIAM DA SILVA PORTO

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETO FOTOVOLTAICO PARA
EMPRESA PROVEDORA DE INTERNET**

Economic viability study of photovoltaic project for internet provider company

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Me. João César de Paula Salve.

Coorientador: Prof. Esp. José Roberto Shimazaki.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

William da Silva Porto

Estudo de viabilidade econômica de projeto fotovoltaico para empresa provedora de internet

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 07:00hs do dia 23/06/2022 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - Presidente (Orientador)

Prof(a). Esp. José Roberto Shimazaki - (Coorientador)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. João César de Paula Salve, pela colaboração e sabedoria com que me guiou neste processo.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de também reconhecer minha família pelo apoio dado a minha pessoa, essencial para possibilitar a superação desta etapa de minha vida.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

A partir da mudança do perfil rural para o urbano, do processo de industrialização no Brasil e da substituição do uso de carvão e lenha por eletricidade no século passado, houve aumento do consumo de energia. Com o intuito de aumentar a produção para atender a demanda, foram feitos investimentos em novas usinas geradoras, principalmente hidrelétricas e termelétricas. A consequência disso foi o aumento da poluição ambiental e, para contornar o problema, passou a ser incentivada a busca por diversificação da matriz elétrica através de fontes alternativas e renováveis como o caso da fotovoltaica, que possui grande potencial de crescimento nos próximos anos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho consistiu na elaboração de estudo de viabilidade financeira para implantação de uma usina de geração fotovoltaica para uma empresa provedora de internet na cidade de Guanambi-BA, visando sua autossuficiência energética. Seu consumo anual foi de 45.007 kWh entre julho/2019 e junho/2020 com custo de R\$ 46.208,62, levando em consideração o preço atual de energia da concessionária local. Já a sua geração é de 55.987,62 kWh que, do ponto de vista financeiro, é de R\$ 57.482,41, valor 24,40 % superior à demanda, o que até comporta sua elevação ao longo do tempo considerando essa diferença em relação à produção de energia. O investimento inicial do projeto seria de R\$ 126.372,94, com período de retorno simples entre 2 e 3 anos, e tendo valor presente líquido e taxa interna de retorno em 25 anos de R\$ 1.038.269,25 e 54,10 %, respectivamente. Esses indicadores apontam a viabilidade financeira do projeto.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica. Matriz elétrica. Viabilidade financeira.

ABSTRACT

From the change from the rural to the urban profile, the industrialization process in Brazil and the substitution of the use of coal and firewood for electricity in the last century, there was an increase in energy consumption. In order to increase production to meet demand, investments were made in new generating plants, mainly hydroelectric and thermoelectric plants. The consequence of this was the increase in environmental pollution and, in order to overcome the problem, the diversification of the electrical matrix began to be encouraged through the search for cleaner and renewable sources such as photovoltaics, which has great growth potential in the coming years. In this context, the objective of this work consisted in the elaboration of a financial viability study for the implementation of a photovoltaic generation plant for a commercial consumer unit providing internet in the city of Guanambi-BA, aiming at its energy self-sufficiency. Its annual consumption was 45.007 kWh between July/2019 and June/2020 at a cost of R\$ 46.208,62, taking into account the current energy price of the local utility. Its generation is 55.987,62 kWh which, from a financial point of view, is R\$ 57.482,41, a value 24,40 % higher than the demand, which even includes its increase over time considering this difference in relation to the production of energy. The initial investment for the project would be R\$ 126.372,94, with a simple payback period between 2 and 3 years, and having a net present value and an internal rate of return in 25 years of R\$ 1.038.269,25 and 54,10 %, respectively. These indicators point to the financial viability of the project.

Keywords: Photovoltaic generation. Electric matrix. Financial viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira 2020.....	9
Figura 2 – Mapa da irradiação média solar anual no Brasil.....	11
Figura 3 – Efeito fotovoltaico na junção p-n.....	12
Figura 4 – Representação de uma célula fotovoltaica de silício	13
Figura 5 – Célula fotovoltaica de silício monocristalino	14
Figura 6 – Célula fotovoltaica de silício policristalino	14
Figura 7 – Componentes de um módulo fotovoltaico	15
Figura 8 – Curva característica de um módulo fotovoltaico	16
Figura 9 – Histórico de consumo da UC.....	17
Figura 10 – Irradiação solar diária média mensal em Guanambi-BA	18
Figura 11 – Módulo CHSM6612P-330.....	22
Figura 12 – Inversor CPS SCA22KTL-T/EU	23
Figura 13 – Fluxo de caixa acumulado	28
Figura 14 – Seleção de dados para função TIR	29
Quadro 1 – Energia mensal produzida por módulo.....	19
Quadro 2 – Especificações do módulo CHSM6612P-330.....	22
Quadro 3 – Especificações do inversor CPS SCA22KTL-T/EU	23
Quadro 4 – Tarifa e preço final de energia	23
Quadro 5 – Geração mensal de energia.....	24
Quadro 6 – Previsão de geração acumulada	24
Quadro 7 – Custo total do sistema fotovoltaico	25
Quadro 8 – Fluxo de caixa e VPL	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivos	9
1.1.1	Objetivo geral	9
1.1.2	Objetivos específicos	9
1.2	Justificativa	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1	Efeito fotovoltaico	12
2.2	Células fotovoltaicas	13
2.2.1	Silício monocristalino	13
2.2.2	Silício policristalino.....	14
2.2.3	Filme fino de silício	14
2.3	Módulos fotovoltaicos.....	15
2.4	Inversores	15
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Definição geral	17
3.2	Análise do consumidor	17
3.3	Obtenção da irradiação média mensal da localidade.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1	Estudo da potência necessária	19
4.2	Materiais escolhidos do sistema fotovoltaico.....	21
4.3	Análise financeira	23
4.3.1	Tarifa e preço de energia	23
4.3.2	Previsão financeira de geração	24
4.3.3	Custo do projeto.....	25
4.4	Indicadores econômicos.....	26
4.4.1	Valor Presente Líquido - VPL	26
4.4.2	Taxa Interna de Retorno - TIR.....	26
4.4.3	Payback.....	27
5	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31
	ANEXO A - Datasheet do módulo fotovoltaico utilizado.....	35
	ANEXO B - Datasheet do inversor utilizado	38
	ANEXO C - Projeção de rendimento e geração.....	41

1 INTRODUÇÃO

O advento da utilização de eletricidade no Brasil se deu a partir das primeiras indústrias no século XIX (SROUR, 2005, p. 13), a iluminação e os motores elétricos foram os primeiros geradores de demanda. Pequenas centrais hidráulicas ou térmicas foram construídas por indústrias nos locais onde atuavam com o intuito de atender sua própria demanda (SILVESTRE, 2008).

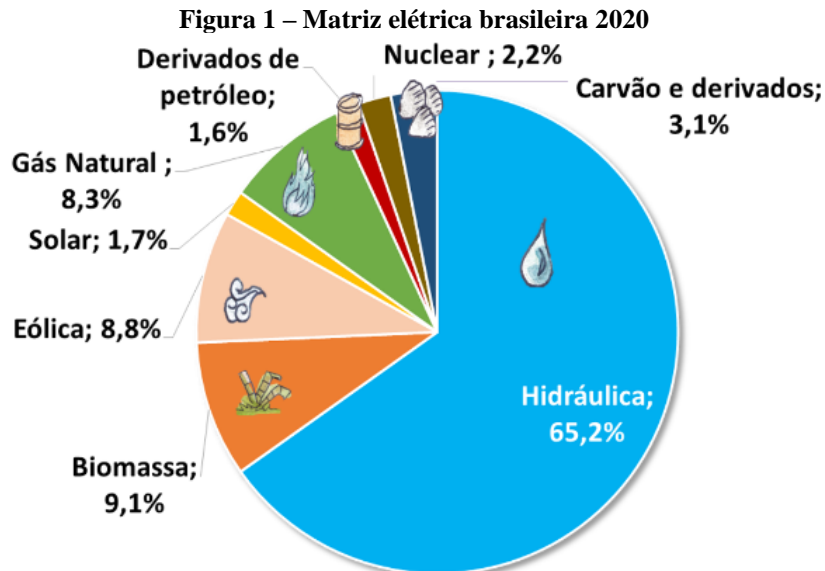
Na segunda metade do século XX houve transição de população rural para urbana no país devido ao aumento da demanda de trabalhadores em indústrias e pela mecanização do campo. E houve gradual substituição do uso de fontes como carvão e lenha para eletricidade pelas indústrias e pela nova sociedade urbana em razão da segurança do fornecimento de energia (LIMA *et al.*, 2015, p. 8 - 11).

No entanto, a partir do aumento do consumo de eletricidade surgiu a necessidade de elevar a produção de energia e, na maioria dos países do mundo, por fontes não renováveis. Em consequência disso, houve elevação da poluição ambiental por gases nocivos que contribuem para o aquecimento global. No caso do Brasil, mesmo que sua grande maioria de geração elétrica seja composta por fontes renováveis (principalmente hidráulica), ainda assim contribui para o agravamento da degradação ambiental, especialmente em épocas de seca em que se eleva o acionamento de térmicas movidas a combustíveis fósseis.

A partir da necessidade de elevar a produção de energia elétrica sem descuidar da proteção ao meio ambiente e, levando-se em conta interesses geopolíticos de segurança energética, atualmente há uma corrida por desenvolvimento de fontes renováveis viáveis, com preferência às energias solar fotovoltaica e eólica (SILVIA; CAMARGO; CHRESTAN, 2012; ARAÚJO, 2017).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2021, a edição mais atualizada e elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz elétrica brasileira ano base 2020 é composta principalmente de fonte hidráulica, que responde por 65,2 % da oferta interna (que inclui importação de eletricidade), seguida de biomassa e eólica. A capacidade total instalada (centrais de serviço público e autoprodutoras) de geração elétrica nacional atingiu o patamar de 174,737 GW, com acréscimo de 4.618 MW sem inclusão de mini e micro geração.

Já a geração de energia elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores alcançou 621,2 TWh em 2020, valor 0,8 % inferior ao de 2019 devido à pandemia e por seus fortes impactos na economia. A seguir na Figura 1 é retratada a matriz elétrica do Brasil.



Fonte: EPE (2021)

Como pode ser observado na Figura 1, a matriz do Brasil é dominada por fontes renováveis, que representam 84,8 % da oferta interna de eletricidade do país. Em 2020, a micro e mini geração distribuída alcançou 5.269 GWh e com potência instalada de 4.768 MW, com participação da fonte solar fotovoltaica de 4.764 GWh e 4.635 MW na geração e potência instalada, respectivamente (EPE, 2021).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês), a geração distribuída de fonte fotovoltaica adicionou 167 GW na oferta global de energia entre 2019 e 2021. E para o ano de 2022, a previsão é de acréscimo de mais 59 GW (MACHADO, 2022). Em abril de 2022, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) autorizou entrada de 199,9 MW na geração de energia comercial e, deste total, 127,69 MW (64,16 %) foram de usinas fotovoltaicas. Houve ainda 58,8 MW de usinas eólicas e 13,44 MW de usinas termelétricas (ARAÚJO, 2022).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Averiguar a viabilidade econômica de um sistema de geração distribuída solar fotovoltaica para empresa provedora de internet localizada em Guanambi-BA.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar a área para a implantação da usina fotovoltaica.

2. Pesquisar o potencial de energia solar da região onde situa a unidade consumidora.
3. Definir o custo de implantação do sistema.
4. Calcular a economia gerada a partir da conclusão do projeto.
5. Pesquisar a participação da energia fotovoltaica na matriz elétrica nacional e seu potencial.
6. Averiguar a viabilidade econômica do projeto a partir dos modelos econômicos.

1.2 Justificativa

Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a crise hídrica que afetou o Brasil em 2021 foi a mais grave em 91 anos, e obrigou o acionamento adicional de termelétricas para suprir a demanda. Além disso, o ONS passou a importar energia. Como a energia produzida por fonte termelétrica (especialmente do tipo fóssil) é mais cara que a hidrelétrica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) adotou a tarifa de bandeira vermelha 2 nas contas de energia dos consumidores, e ainda aumentou o seu valor em 52 % (RODRIGUES, 2021).

Outros exemplos de déficit considerável de precipitação pluviométrica ocorreram em 2014 e 2001, sendo que no último houve até mesmo racionamento de energia. Segundo a EPE, em 2001 a fonte hidrelétrica representava cerca de 83,3 % da capacidade instalada elétrica nacional; já em 2020, último ano base consolidado, esse indicador teve o patamar de 62,5 %.

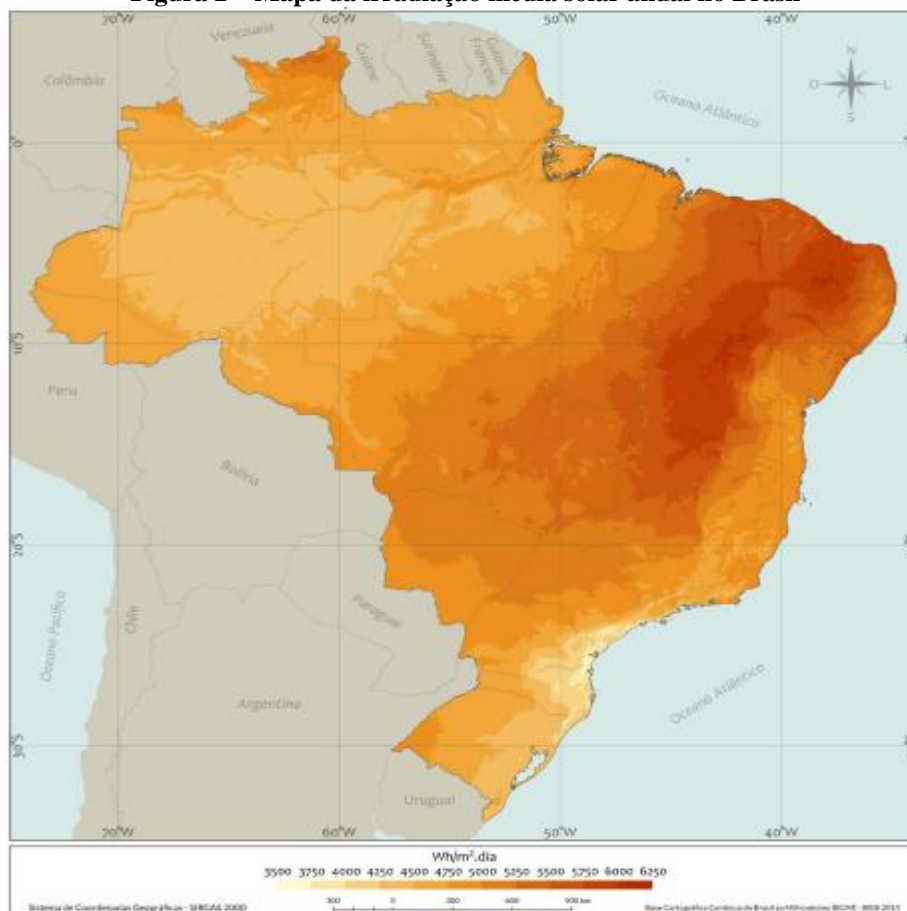
Esses dados implicam numa redução da dependência da energia hidráulica, porém mesmo assim o país depende muito de tal recurso. Nesse contexto, fontes alternativas de energia passaram a ganhar espaço nos últimos anos, principalmente eólica e solar. A fonte fotovoltaica foi regulamentada pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que permitiu que os consumidores pudessem produzir e realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, bem como estabeleceu recompensa pela energia fornecida à rede (BLUE SOL, [20-1?]).

O desenvolvimento de fontes alternativas de energia como a fotovoltaica implica no benefício de dois fatores: (1) o educacional, pois além de fomentar a elaboração de dados solarimétricos e climáticos das regiões em que se localizam as usinas, promove a conscientização de adotar medidas sustentáveis na formação de profissionais e também amplia as oportunidades de trabalho para esses indivíduos, já que a partir do aumento do interesse nesse segmento fomenta a criação de novos negócios e empregos; e (2) o gerencial, quando um

Sistema de Gestão Ambiental é aplicado por uma universidade, seus campus se tornam modelos de sustentabilidade para a sociedade (BESSO, 2017).

Outra vantagem considerável para a fonte solar no Brasil é o seu potencial. Em níveis de irradiação, o melhor local da Alemanha (um dos líderes mundiais em produção de energia solar) possui índice solar inferior ao da região menos favorecida do Brasil nesse aspecto (CABRAL; TORRES; SENNA, 2013). A Figura 2 retrata a irradiação média anual no Brasil.

Figura 2 – Mapa da irradiação média solar anual no Brasil



Fonte: Pereira *et al.* (2017)

Há fatores positivos adicionais que justificam o investimento em geração solar fotovoltaica e, por consequência, o presente estudo. No conceito elétrico, contribui para redução de perdas e alívio de transformadores e alimentadores, diversificação da matriz e aumento da segurança no fornecimento. No aspecto ambiental, há a redução da emissão de gases do efeito estufa, de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. No contexto socioeconômico, a geração de energia solar fotovoltaica contribui com o aumento da arrecadação de impostos pelo Estado, geração local de empregos e com a dinamização da economia (ABSOLAR, 2016).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Efeito fotovoltaico

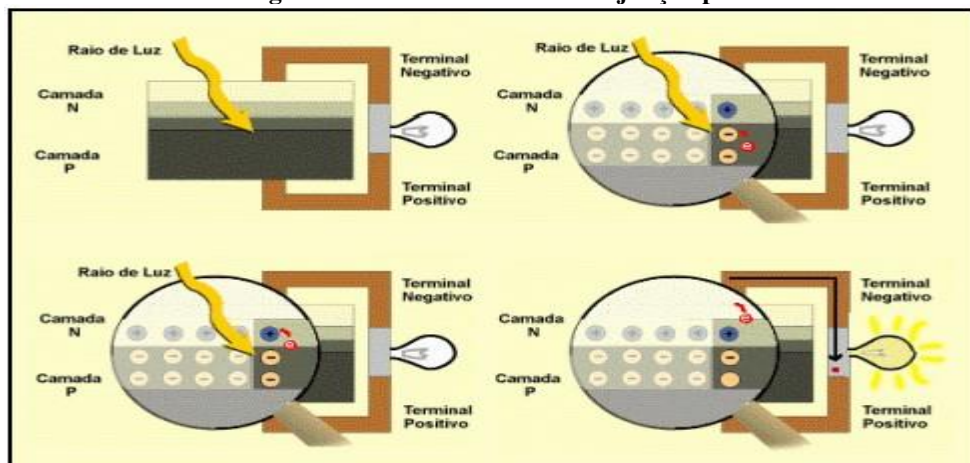
Zilles *et al.* (2012, p. 13) define que “a transformação da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica é um fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico”. Esse fenômeno, que ocorre em materiais semicondutores, foi descrito no ano em 1839 pela primeira vez pelo físico francês Edmond Becquerel.

Os semicondutores, majoritariamente formados por silício, possuem bandas de energia, onde há presença de elétrons (banda de valência) e outra que não os possui (banda de condução). Este elemento possui quatro elétrons em sua camada de valência, que o torna estável e forme estrutura cristalina.

O cristal de silício puro não possui elétrons livres, logo não conduz bem eletricidade. Então são acrescentados outros elementos em sua estrutura, e este processo denomina-se dopagem. A partir da dopagem do silício com o fósforo, obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Já para adquirir substância de características opostas, com falta de elétrons em sua última camada (silício tipo P), acrescenta-se boro ao invés de fósforo (NASCIMENTO, 2004).

Dessa forma, caso haja a introdução de átomos de boro e fósforo em lados opostos de uma peça de silício, forma-se a junção p-n em que os elétrons livres do lado n transitam para o lado p, tornando o primeiro eletricamente positivo e o segundo negativo. O processo atinge o equilíbrio a partir da formação do campo elétrico que barra a passagem de elétrons remanescentes do lado n (CRESESB, 2006). A junção p-n é representada na Figura 3.

Figura 3 – Efeito fotovoltaico na junção p-n

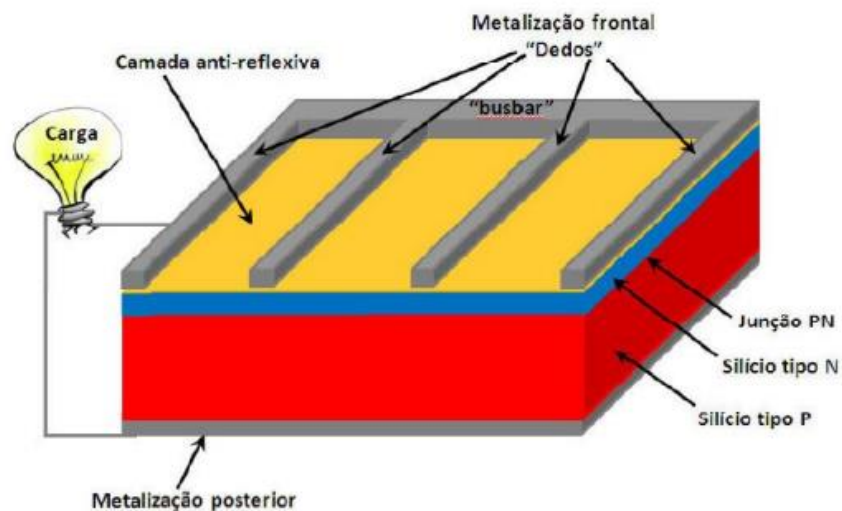


Fonte: CRESESB (2006)

2.2 Células fotovoltaicas

Caracteriza-se energia solar fotovoltaica como a conversão direta de energia da radiação solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico, cuja ocorrência se dá em substâncias semicondutoras que formam uma célula fotovoltaica. Uma célula fotovoltaica é construída por silício, onde se forma uma junção p-n, similar a de um diodo semiconductor (GASPARIN, 2009). A célula fotovoltaica e o seu funcionamento é representado na Figura 4.

Figura 4 – Representação de uma célula fotovoltaica de silício



Fonte: Bühler (2011)

Embora existam diversas tecnologias de produção de células fotovoltaicas, as mais encontradas no mercado são a do silício monocristalino, silício policristalino e do filme fino de silício. A principal matéria prima na fabricação de células é o silício, por ser um material barato, abundante e com tecnologia de fabricação bem desenvolvida (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

2.2.1 Silício monocristalino

Este tipo de célula é de primeira geração, com rendimento de 16 % (podendo alcançar 23% em laboratório). Seu processo de fabricação é caro devido a técnicas complexas de produção e por utilizar grande quantidade de energia no processo (REIS, 2017). A Figura 5 mostra um exemplo de célula de silício monocristalino.

Figura 5 – Célula fotovoltaica de silício monocristalino

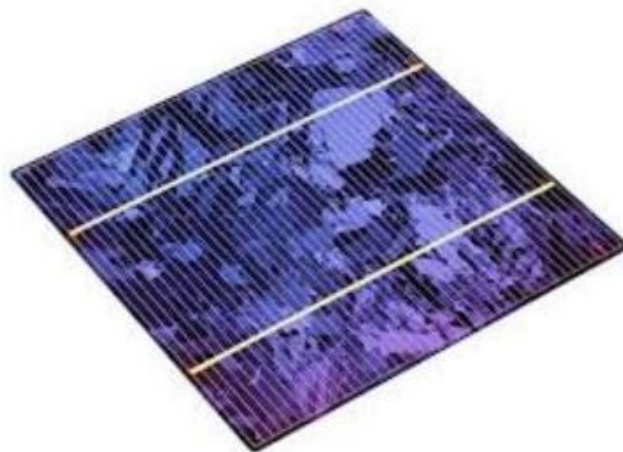


Fonte: Souza (2019)

2.2.2 Silício policristalino

As células policristalinas têm eficiência variante de 12 % a 21 %, e são fabricadas a partir de reciclagem de componentes eletrônicos descartados, denominados “restos de silício”, que são refundidos para obtenção de composição cristalina compacta. A fundição cria um composto homogêneo que posteriormente é resfriado com o intuito de gerar cristalização, e este processo ocorre dentro de um cadinho. Este políssico apresenta geralmente qualidade inferior (PLANAS, 2018). Um exemplo de célula desse tipo é mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Célula fotovoltaica de silício policristalino



Fonte: Souza (2019)

2.2.3 Filme fino de silício

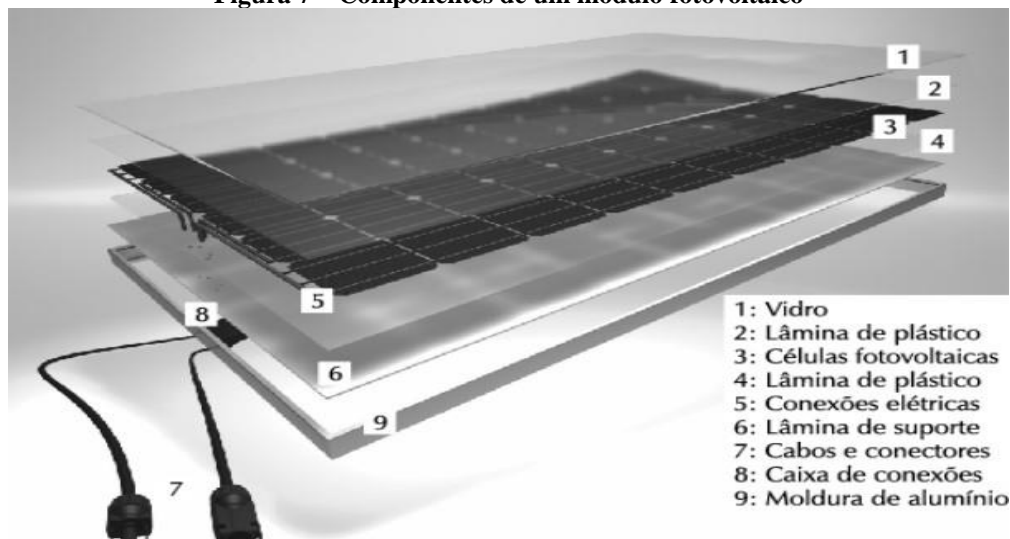
As células de filme fino são formadas por materiais como: silício amorfo (a-Si); silício microcristalino; telureto de cádmio (CdTe); cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS), células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV), entre outros. A tecnologia desse tipo de célula confere ao material flexibilidade, estética atraente por ser homogênea além de temperatura e

sombreamento exercerem menos influência sobre ele (ECOÁ, 2020). Apesar disso, possui eficiência bem inferior se comparado com os modelos cristalinos, que é de 8 a 10 % (REIS, 2017).

2.3 Módulos fotovoltaicos

Módulos, placas ou painéis são dispositivos produzidos para captação e transformação de energia solar em eletricidade ou fonte de calor (COGERA ENERGIA, 2018). É constituído de silício e revestido de vidro, com quadro de alumínio. Ainda há uma segunda camada de vidro na parte de baixo, para proteção contra impactos e condições climáticas. Um módulo possui vida útil de cerca de 25 anos (PISON PROJETOS, 2021). Os componentes necessários em um módulo fotovoltaico estão representados na Figura 7.

Figura 7 – Componentes de um módulo fotovoltaico

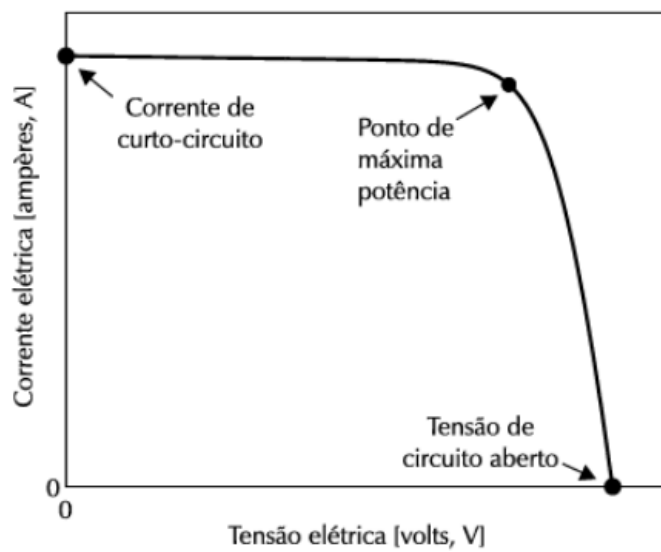


Fonte: Villalva e Gazoli (2012)

2.4 Inversores

Os inversores são dispositivos que convertem tensão e corrente contínuas em alternadas, que alimentam os equipamentos domésticos, motores, dentre outros. Além das funções de controle da corrente de saída, controle da tensão de entrada e monitoramento de corrente de fuga, há ainda o recurso de busca de máxima extração de energia do sistema fotovoltaico, denominado de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT – Maximum Power Point Tracking). O MPPT estabelece o valor de tensão utilizada em certo momento, de modo que essa variável multiplicada pela corrente atinja e forneça o maior valor de potência instantânea (VILLALVA, 2019). O comportamento da curva característica I-V de um módulo fotovoltaico é exposto na Figura 8.

Figura 8 – Curva característica de um módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva e Gazoli (2012)

3 METODOLOGIA

3.1 Definição geral

O trabalho consiste no levantamento de dados do setor elétrico e solar locais e análise do gasto de energia elétrica e, com base nisso, elaborar o planejamento da usina fotovoltaica adequada para o caso. Os dados coletados são irradiação solar local baseada em coordenadas geográficas, preço da unidade de eletricidade da distribuidora local (COELBA) e o consumo mensal da unidade consumidora durante um ano.

Após isso há o dimensionamento do sistema, desde o cálculo da potência necessária e de seus materiais, bem como seu custo para a implantação na própria localidade, mais exatamente em sua cobertura. Na etapa seguinte faz-se a análise econômico-financeira para avaliar a viabilidade do projeto. Os métodos de análise são *payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

3.2 Análise do consumidor

O imóvel é uma unidade consumidora (UC) do grupo B, já que sua tensão é inferior à 2,3 kV e, segundo a Resolução Normativa n.º 414/2010 da ANEEL, fazem parte do grupo em questão UCs atendidas em rede aérea, quando a carga instalada for igual ou inferior a 75 kW. Já o subgrupo é o B3, por se tratar de um consumidor comercial. Na Figura 9 é mostrado o histórico de consumo de um período de 12 meses da UC entre os anos de 2019 e 2020.

Figura 9 – Histórico de consumo da UC

Período	Data Inicial	Data Final	Faturado (kWh)	Reativo Fat. (kVARh)	Data Vcto	Valor
06/2020	29/05/2020	26/06/2020	3468.00	0	28/07/2020	3.043,73
05/2020	29/04/2020	28/05/2020	3723.00	0	29/06/2020	3.235,52
04/2020	27/03/2020	28/04/2020	4123.00	0	28/05/2020	3.563,95
03/2020	28/02/2020	26/03/2020	3778.00	0	28/04/2020	3.247,63
02/2020	29/01/2020	27/02/2020	4154.00	0	30/03/2020	3.534,52
01/2020	31/12/2019	28/01/2020	3946.00	0	28/02/2020	3.472,44
12/2019	29/11/2019	30/12/2019	4469.00	0	28/01/2020	3.783,88
11/2019	30/10/2019	28/11/2019	4050.00	0	30/12/2019	3.748,60
10/2019	27/09/2019	29/10/2019	4117.00	0	28/11/2019	3.804,57
09/2019	28/08/2019	26/09/2019	3336.00	0	28/10/2019	3.078,60
08/2019	30/07/2019	27/08/2019	2935.00	0	30/09/2019	2.607,55
07/2019	28/06/2019	29/07/2019	2908.00	0	28/08/2019	2.639,22

Fonte: Adaptado de COELBA (2020)

3.3 Obtenção da irradiação média mensal da localidade

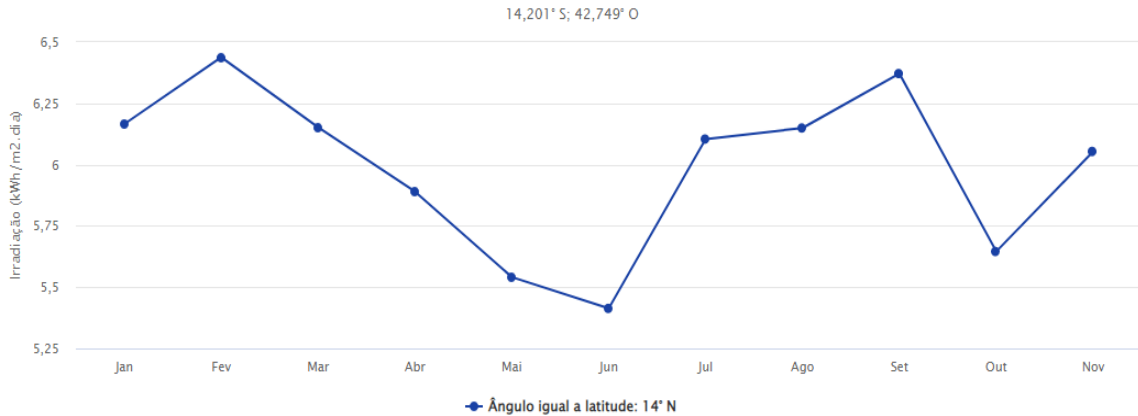
Para a elaboração do estudo de dimensionamento é necessário obter os valores mensais da irradiação média do local onde se planeja implantar a usina fotovoltaica. Estes dados foram obtidos do CRESESB através do programa SunData, baseado pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição. Na Figura 10 é mostrado o panorama da irradiação solar diária média mensal via coordenadas geográficas no plano inclinado.

Figura 10 – Irradiação solar diária média mensal em Guanambi-BA

Estação: Guanambi
 Município: Guanambi, BA - BRASIL
 Latitude: 14,201° S
 Longitude: 42,749° O
 Distância do ponto de ref. (14,225° S; 42,781389° O): 4,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,67	6,71	6,10	5,51	4,92	4,67	4,93	5,56	5,96	6,54	6,03	6,62	5,85	2,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	14° N	6,17	6,44	6,15	5,89	5,54	5,41	5,66	6,10	6,15	6,37	5,65	6,05	5,97	1,02
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	13° N	6,21	6,47	6,16	5,87	5,50	5,37	5,61	6,07	6,14	6,39	5,68	6,10	5,97	1,10
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	17° N	6,03	6,34	6,13	5,94	5,64	5,54	5,78	6,18	6,15	6,30	5,53	5,90	5,96	,81

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Guanambi–Guanambi, BA–BRASIL



Fonte: CRESESB (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo da potência necessária

A primeira parte do planejamento para a implantação do projeto consiste no dimensionamento das placas e do inversor necessários para o consumidor. Em seguida deve ser estabelecido a área mais adequada para a instalação da usina fotovoltaica e o posicionamento angular dos módulos para obtenção do melhor aproveitamento do potencial solarimétrico local.

O inversor deve ser escolhido a partir de certos fatores, sendo eles a potência e corrente da usina a ser instalada; capacidade máxima de potência do inversor; faixa de tensão de operação de MPPT; e capacidade máxima de corrente por string (organização de módulos em série).

Os cálculos iniciais do projeto constituem-se na energia produzida em cada módulo e na quantidade total de módulos suficientes para abastecer a demanda da unidade consumidora. A partir do dimensionamento, serão definidos os materiais mais adequados para a implantação do sistema fotovoltaico. A Equação (1) compreende-se na energia produzida em cada módulo.

$$E_m = I_d A_m \eta_m d \quad (1)$$

E_m é a energia mensal produzida por módulo [kWh/mês];

I_d é a insolação diária [kWh/m².dia];

A_m é a área da superfície do módulo [m²];

η_m é a eficiência do módulo;

d é o número de dias por mês.

Logo, para o mês de janeiro por exemplo, a quantidade de energia produzida por módulo é a seguinte:

$$E_m = 6,17 * 1,94 * 0,17 * 31 = 63,08 \text{ kWh}$$

O Quadro 1 mostra os resultados de energia produzida em cada mês do ano por módulo.

Quadro 1 – Energia mensal produzida por módulo

Mês	Dias	I_d (kWh/m ² .dia)	E_m (kWh/mês)
-----	------	---------------------------------	-----------------

Janeiro	31	6,17	63,08
Fevereiro	28	6,44	59,46
Março	31	6,15	62,87
Abril	30	5,89	58,27
Maio	31	5,54	56,64
Junho	30	5,41	53,52
Julho	31	5,66	57,87
Agosto	31	6,10	62,36
Setembro	30	6,15	60,85
Outubro	31	6,37	65,12
Novembro	30	5,65	55,90
Dezembro	31	6,05	61,85
Soma			717,79
Média (E_{mm})			59,81

Fonte: Autoria própria (2022)

Já a Equação (2) se refere à quantidade de placas necessário para atender ao projeto.

$$Q_m = \frac{C_{mm}}{E_{mm}} * 1,25 \quad (2)$$

C_{mm} é o consumo mensal médio de energia do local a ser instalado o projeto;

E_{mm} é a energia média mensal produzida por módulo;

Q_m é a quantidade total de módulos necessários.

A média mensal de consumo de energia da UC, resultante da soma dos valores faturados da Figura 9 dividida por 12, é de 3.750,58 kWh. Esse resultado deve, a fim de minimizar perdas, ser multiplicado por uma constante, que consiste em prejuízos nos módulos por sujeira e poluição, de 2 % a 4 %; perdas ôhmicas nos inversores, geralmente entre 4 % e 6 %; circuitos elétricos e diodos de bloqueio, de 2 % a 5 %; indisponibilidade e descasamento (processo em que as células de menor fotocorrente limita a eficiência global do módulo fotovoltaico), entre 1 % e 3 %; e também perdas por sombreamento que, somadas às outras, são equivalentes a 25 % , em referência à EPE (2012 apud NOGUEIRA, 2016).

Logo:

$$Q_m = \frac{3.750,58}{59,81} * 1,25 \cong 78 \text{ módulos}$$

A Equação (3) representa a potência instalada do sistema.

$$P_{total} = Q_m P_m \quad (3)$$

P_{total} é a potência total do sistema fotovoltaico;

P_m é a potência de pico de cada módulo.

Logo:

$$P_{total} = 78 * 330 = 25.740 \text{ W}$$

Já para determinar a potência mínima do inversor (P_{inv}), divide-se o valor da potência instalada pela constante de perdas (explicitadas acima), como evidenciado na Equação (4).

$$P_{inv} = \frac{P_{total}}{1,25} \quad (4)$$

Assim:

$$P_{inv} = \frac{25.740}{1,25} = 20.592 \text{ W}$$

O inversor escolhido para o sistema, descrito a seguir no item 4.2, possui capacidade de 22 kW, e a potência total dos módulos é de 25,74 kW, um sobredimensionamento de 117 %. O fato de a potência mínima do inversor ser menor ao da potência produzida pelos módulos, diferença conhecida como oversizing, não significa que há desperdício de energia produzida. Isso se deve às perdas causadas por condições construtivas dos equipamentos e ambientais, e dessa forma, os módulos dificilmente atuam em sua capacidade máxima de eficiência. A opção por inversor de potência menor do que dos módulos resulta em economia financeira no custo do projeto sem comprometer a produção média estimada de energia solar, e neste caso o limite de oversizing adotado é de 120 % (PEREIRA, 2016).

4.2 Materiais escolhidos do sistema fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos escolhidos para o projeto são da Astronergy, marca bem consolidada no mercado e com preços competitivos. O modelo do módulo é mostrado na

Figura 11.

Figura 11 – Módulo CHSM6612P-330



Fonte: Astronergy (2019)

Alguns detalhes do equipamento são descritos no Quadro 2 a seguir, e os demais estão presentes no Anexo A.

Quadro 2 – Especificações do módulo CHSM6612P-330

Fabricante	Astronergy
Modelo	CHSM6612P-330
Potência de pico	330 W
Dimensões (comprimento x largura x altura)	1954 x 990 x 40 mm
Tipo de célula	Policristalino
Eficiência	17,1 %
Peso	21,8 kg
Composição	Vidro / EVA / Filme plástico (branco)

Fonte: Adaptado de Astronergy (2019)

Já o inversor utilizado é da marca Chint e possui disponibilidade nas lojas da região. O modelo do inversor é mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Inversor CPS SCA22KTL-T/EU

Fonte: Chint (2020)

Detalhes parciais do inversor são expostos no Quadro 3 a seguir, e os demais estão presentes no Anexo B.

Quadro 3 – Especificações do inversor CPS SCA22KTL-T/EU

Fabricante	Chint
Modelo	CPS SCA22KTL-T/EU
Potência nominal (AC)	22 kW
Dimensões (largura x altura x profundidade)	555 x 446 x 270,5 mm
Tensão nominal	380 V, 400 V
Eficiência máxima	98,3 %
Peso	35 kg

Fonte: Adaptado de Chint (2020)

4.3 Análise financeira

4.3.1 Tarifa e preço de energia

A unidade de energia cobrada no mês de maio/2022 pela concessionária local de energia, bem como a composição do preço final incluídos os impostos para o grupo consumidor específico do projeto, estão descritos no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Tarifa e preço final de energia

Vigência: 22/04/2022 a 21/04/2023

Tarifa (R\$/kWh)	Impostos		Preço total (R\$/kWh)
	ICMS	PIS/COFINS	
0,74949	21,3%	5,7%	1,02669863

Fonte: COELBA (2022)

4.3.2 Previsão financeira de geração

Analisados o dimensionamento do sistema fotovoltaico e do preço da energia distribuída, é possível determinar, no Quadro 5 a seguir, as gerações mensais em kWh e em R\$, obtidas pela implantação do sistema no primeiro ano.

Quadro 5 – Geração mensal de energia

Mês	Gerado (kWh)	Gerado (R\$)
Janeiro	4.920,24	5.051,60
Fevereiro	4.637,88	4.761,71
Março	4.903,86	5.034,79
Abril	4.545,06	4.666,41
Mai	4.417,92	4.535,87
Junho	4.174,56	4.286,02
Julho	4.513,86	4.634,37
Agosto	4.864,08	4.993,94
Setembro	4.746,30	4.873,02
Outubro	5.079,36	5.214,97
Novembro	4.360,20	4.476,61
Dezembro	4.824,30	4.953,10
Total	55.987,62	57.482,41
Média	4.665,63	4.790,20

Fonte: Autoria própria (2022)

No primeiro ano a energia total gerada em kWh foi de 55.987,62, valor 24,40 % superior ao total consumido no mesmo período que foi de 45.007 kWh, quantidade obtida pela somatória dos valores mensais faturados presentes na Figura 9. A geração anual foi de R\$ 57.482,41, enquanto o consumo foi de R\$ 46.208,62 (calculado a partir do preço atual de energia). A previsão de arrecadação ao longo de 25 anos, que é o período de vida útil dos módulos fotovoltaicos, levando-se em conta o aumento linear anual de 10 % da tarifa de energia, a redução da eficiência dos módulos em 2,5 % a partir do primeiro ano e de 0,7 % nos anos subsequentes, até atingir aproximadamente 80 % de sua capacidade (previsto no datasheet do equipamento no Anexo A), é mostrada no Quadro 6 e detalhada no Anexo C.

Quadro 6 – Previsão de geração acumulada

Ano	Geração acumulada (R\$)
1	57.482,41
2	119.132,30

3	186.460,30
4	259.985,54
5	340.274,18
6	427.943,65
7	523.667,24
8	628.179,06
9	742.279,54
10	866.841,28
11	1.002.815,53
12	1.151.239,18
13	1.313.242,36
14	1.490.056,75
15	1.683.024,55
16	1.893.608,30
17	2.123.401,52
18	2.374.140,25
19	2.647.715,68
20	2.946.187,75
21	3.271.800,03
22	3.626.995,86
23	4.014.435,81
24	4.390.217,09
25	4.800.052,12

Fonte: Autoria própria (2022)

4.3.3 Custo do projeto

O levantamento dos equipamentos e de seus preços foi feito pela empresa Megga Solar, situada na avenida Barão do Rio Branco, 1702, Guanambi-BA. Os valores foram corrigidos pela inflação oficial IPCA acumulada do período do início de produção do projeto (junho/2020) até o último dado consolidado de inflação (abril/2022), que é de 20,17 %.

O custo global do sistema fotovoltaico é de R\$ 126.372,94, e é detalhado no Quadro 7 a seguir.

Quadro 7 – Custo total do sistema fotovoltaico

Descrição	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Preço global (R\$)
Módulo Astronergy CHSM6612P/HV-330 W	78	698,27	54.465,06
Inversor Chint CPS SCA22KTL-T/EU 22 kW	1	13.469,32	13.469,32
Estrutura, conectores e materiais elétricos	1	8.897,33	8.897,33

Frete, comissão e instalação	1	49.541,23	49.541,23
Total			126.372,94

Fonte: Adaptado de Megga Solar (2021)

4.4 Indicadores econômicos

Estabelecido o custo total da usina solar a ser construída, os modelos econômicos propostos para a estudo de viabilidade econômica constituem-se na Taxa Interna de Retorno, Valor Presente Líquido e payback.

4.4.1 Valor Presente Líquido - VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) é a soma de todos os valores de um fluxo de caixa na data inicial do investimento (SOUZA; CLEMENTE, 2004, p. 77). Projetos considerados satisfatórios devem possuir VPL maior ou igual a zero. A taxa de desconto, ou Taxa Mínima de Atratividade (TMA), é o percentual mais baixo de aplicação de capital que um investidor concorde para financiar o projeto (MOTTA *et al.*, 2009). A TMA adotada foi de 10 %, valor próximo ao da taxa Selic atual, de 13,25 %. O cálculo do VPL é representado pela Equação (5).

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_o \quad (5)$$

FC é o fluxo de caixa;

I_o é o investimento inicial;

t é o período de tempo;

T é o tempo total;

r é a taxa de desconto.

4.4.2 Taxa Interna de Retorno - TIR

A taxa de juros que torna o valor presente líquido de um fluxo de caixa igual a zero, chama-se Taxa Interna de Retorno (TIR). É um índice que mostra a rentabilidade de um investimento em determinado período temporal (MOTTA; CÂLOBA, 2002).

O critério para que certo projeto seja economicamente viável é de que seja preciso que a TIR seja igual ou superior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), e então o projeto pode ser aceito. Caso a TIR seja menor que a TMA o projeto deve ser rejeitado, já que não há

panorama do retorno do investimento (REBELATTO, 2004). A TIR é descrita pela Equação (6).

$$TIR = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_o = 0 \quad (6)$$

4.4.3 Payback

Segundo Heysel e Filion (2014), payback define-se na medida do tempo que um projeto recupere seu capital investido, de preferência com retorno breve. ROSS, WESTERFIELD, JORDAN (2000, p. 218) definem payback como “período exigido para que um investimento gere fluxos de caixa suficientes para recuperar o custo inicial”. O método, ainda segundo eles, significa uma medida de ponto de equilíbrio e ainda uma ferramenta mais focada de caráter contábil do que econômico-financeira por não considerar o valor monetário ao longo do tempo.

A disposição dos dados de fluxos de caixa e VPL, ao longo de 25 anos do início do investimento ao fim da vida útil dos equipamentos, estão demonstrados no Quadro 8 abaixo.

Quadro 8 – Fluxo de caixa e VPL

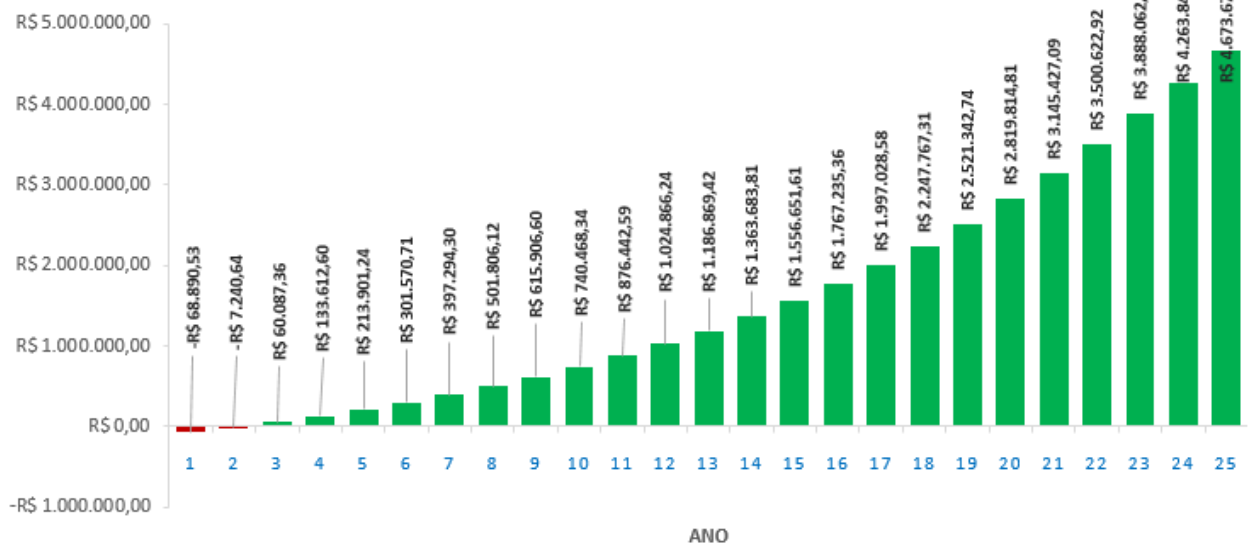
Ano	Receita (R\$)	Investimento (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)	Fluxo de caixa descontado (R\$)	VPL (R\$)
0	0	-126.372,94	-126.372,94	-126.372,94	-126.372,94	-126.372,94
1	57.482,41	0	57.482,41	-68.890,53	52.256,74	-74.116,20
2	61.649,89	0	61.649,89	-7.240,64	50.950,32	-23.165,88
3	67.328,00	0	67.328,00	60.087,36	50.584,52	27.418,64
4	73.525,24	0	73.525,24	133.612,60	50.218,73	77.637,37
5	80.288,64	0	80.288,64	213.901,24	49.852,93	127.490,30
6	87.669,47	0	87.669,47	301.570,71	49.487,13	176.977,43
7	95.723,58	0	95.723,58	397.294,30	49.121,33	226.098,76
8	104.511,82	0	104.511,82	501.806,12	48.755,54	274.854,30
9	114.100,48	0	114.100,48	615.906,60	48.389,74	323.244,04
10	124.561,74	0	124.561,74	740.468,34	48.023,94	371.267,98
11	135.974,25	0	135.974,25	876.442,59	47.658,15	418.926,13
12	148.423,65	0	148.423,65	1.024.866,24	47.292,35	466.218,48
13	162.003,18	0	162.003,18	1.186.869,42	46.926,55	513.145,03
14	176.814,39	0	176.814,39	1.363.683,81	46.560,75	559.705,78

15	192.967,80	0	192.967,80	1.556.651,61	46.194,96	605.900,74
16	210.583,75	0	210.583,75	1.767.235,36	45.829,16	651.729,90
17	229.793,22	0	229.793,22	1.997.028,58	45.463,36	697.193,26
18	250.738,74	0	250.738,74	2.247.767,31	45.097,57	742.290,83
19	273.575,43	0	273.575,43	2.521.342,74	44.731,77	787.022,60
20	298.472,07	0	298.472,07	2.819.814,81	44.365,97	831.388,57
21	325.612,29	0	325.612,29	3.145.427,09	44.000,17	875.388,74
22	355.195,83	0	355.195,83	3.500.622,92	43.634,38	919.023,12
23	387.439,95	0	387.439,95	3.888.062,87	43.268,58	962.291,70
24	375.781,28	0	375.781,28	4.263.844,15	38.151,42	1.000.443,12
25	409.835,03	0	409.835,03	4.673.679,18	37.826,13	1.038.269,25

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao se analisar a Figura 13 abaixo, que expõe o fluxo de caixa acumulado da usina fotovoltaica, o tempo de retorno do investimento (payback) ocorre entre o 2º e 3º ano após o investimento, quando há o fluxo de caixa acumulado nulo na transição entre valores positivos e negativos de fluxo.

Figura 13 – Fluxo de caixa acumulado



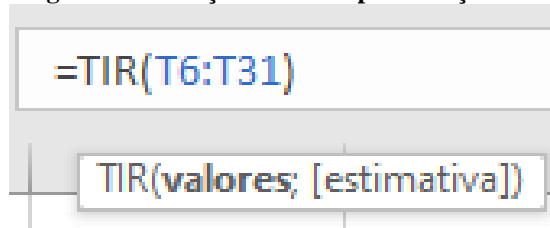
Fonte: Autoria própria (2022)

O VPL do projeto, como demonstrado no Quadro 8, ao longo dos 25 anos de operação é de R\$ 1.038.269,25 considerando taxa mínima de atratividade de 10 %.

Já a taxa interna de retorno pode ser obtida por planilha de software através de ferramenta TIR, em que se deve selecionar os valores da coluna do fluxo de caixa desde o investimento inicial (R\$ -126.372,94) até o do 25º ano (R\$ 409.835,03), que resulta em 54,10

%. Logo, essa é a taxa interna de retorno do projeto. A Figura 14 mostra como foi realizada a seleção dos dados utilizados na função TIR.

Figura 14 – Seleção de dados para função TIR



Fonte: Autoria própria (2022)

5 CONCLUSÃO

A geração, 24,40 % superior ao consumo no primeiro ano de funcionamento do sistema, denota o máximo rendimento teórico dos equipamentos, o que na prática pode não ocorrer dentro desse patamar por diversos fatores, sejam climáticos ou de fabricação dos produtos. Caso o consumidor constate sobra de energia, ele pode aumentar seu consumo ao longo do tempo para explorar sua geração excedente.

A partir dos resultados, evidencia-se que o projeto de implantação da usina fotovoltaica possui viabilidade financeira, além de produzir lucro em relação ao investimento inicial, uma vez que o valor presente líquido atingiu o montante de R\$ 1.038.269,25 considerando TMA de 10 % ao ano, patamar bem superior ao investimento inicial de R\$ 126.372,94.

Com relação à taxa interna de retorno, o valor de 54,10 % do projeto, bem superior ao mínimo exigido nesse caso, que é de 10 %, evidencia que a usina propicia um retorno vantajoso compativamente a outros investimentos de baixo risco, como poupança e títulos de renda fixa atrelados à taxa Selic.

O período de retorno do investimento, o payback, entre 2 e 3 anos após o investimento inicial do sistema, também foi outro modelo econômico considerado satisfatório pois é um prazo curto especialmente se comparado à vida útil dos equipamentos, em torno de 25 anos. Custo inicial de instalação, irradiação solar da região, tarifa local de energia e qualidade dos materiais utilizados são alguns dos principais fatores que influenciam na viabilidade de uma usina solar fotovoltaica.

A cidade de Guanambi, situada no sudoeste da Bahia, possui índice de irradiação solar diária média mensal de 6 kWh/m².dia, mostrado na Figura 10. Esse patamar é um dos mais altos do país, como pode ser visto na Figura 2, e evidencia um potencial fotovoltaico atraente para este tipo de atividade econômica, pois quanto maior este dado solarimétrico, melhor será a relação custo benefício do investimento feito pelo consumidor que opte por esta fonte de energia.

O aumento constante de tarifas de energia das distribuidoras e da preocupação com o meio ambiente e da transição energética para uma matriz mais limpa e diversificada contribuem de forma considerável a expansão dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento de energias renováveis como a solar fotovoltaica, caso deste estudo. E este processo tende a baratear no futuro a utilização desse tipo de alternativa.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Geração distribuída solar fotovoltaica**. Rio de Janeiro: Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE, 2016.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução normativa nº 482/2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- ARAÚJO, E. **Expansão na matriz elétrica foi de cerca de 200 MW em abril**. 2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/expansao-na-matriz-eletrica-foi-de-cerca-de-200-mw-em-abril/>>. Acesso em: 19 mai. 2022.
- ARAÚJO, T. I. M. D. **Análise da viabilidade técnico-econômica da implantação de geração solar fotovoltaica associada ao retrofit de iluminação no Centro de Tecnologia da UFRN**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40616/2/gera%C3%A7%C3%A3o-solar-retrofit-Araujo-Monografia.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2022.
- ASTRONERGY. **AstroNova CHSM6612P 310W~330W**. 2019. Disponível em: <https://loja.l8energy.com/wp-content/uploads/2019/03/AstroNova_CHSM6612P_40mm-Frame_20190226.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2022.
- BESSO, R. **Sistema solar fotovoltaico conectado à rede: estudo de caso no centro de tecnologia da UFRJ**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021004.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2022.
- BLUE SOL. **Crescimento da energia solar no Brasil de 2012 a 2019 e como investir no setor**. [20-1?]. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/crescimento-da-energia-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 14 mai. 2022.
- BÜHLER, A. J. **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós-processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30213/000778668.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 mai. 2022.
- CABRAL, I. D. S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. Energia solar – análise comparativa entre Brasil e Alemanha. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. 4., 2013, Salvador. **Anais eletrônicos** [...]. Bauru: IBEAS, 2013. p. 1–10. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-009.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- CHINT. **Inversor String Chint Power CPS SCA17~22KTL-T/EU**. 2020. Disponível em: <https://teksolar.ind.br/wp-content/uploads/2021/08/Datasheet-CHINT-CPS-SCA-17-a-22KTL-T-EU_compressed.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2022.
- COELBA. **Consulta de histórico de consumo da unidade consumidora**. 2020.

COELBA. **Tarifas Grupo B.** 2022. Disponível em: <<https://servicos.neoenergiacoelba.com.br/residencial-rural/Pages/Baixa%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-b.aspx>>. Acesso em: 13 mai. 2022.

COGERA ENERGIA. **O que é um painel solar.** 2018. Disponível em: <<https://cogera.com.br/o-que-e-um-painel-solar/>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). **Base de dados de radiação solar incidente (irradiação solar).** 2022. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 07 mai. 2022.

CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). **Energia solar: princípios e aplicações.** CRESESB, p. 28, 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022.

EOCA. **Painéis monocristalinos e policristalinos: diferenças, vantagens, desvantagens e o básico do que você precisa saber!.** 2020. Disponível em: <<https://www.ecoenergias.com.br/paineis-fotovoltaicos-monocristalinos-policristalinos/>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2021: ano base 2020.** Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2022.

GASPARIN, F. P. **Desenvolvimento de um traçador de curvas características de módulos fotovoltaicos.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15729/000689840.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

HEYSEL, C.S.; FILION, Y.R. Estimating the payback period of in-line micro turbines with analytical probabilistic models. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 70, p. 815-822, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814000915/pdf?md5=f5f40de38c5e10b71f9fe82e7cf65e59&pid=1-s2.0-S1877705814000915-main.pdf>>. Acesso em 20 mai. 2022.

LIMA, M. T. D. S. L. *et al.* Sobre a situação energética brasileira: de 1970 a 2030. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 6-16, 2015. ISSN: 0100-8307. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547642003.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2022.

MACHADO, N. **Mundo deve adicionar 59 GW de geração distribuída fotovoltaica em 2022.** 2022. Disponível em: <<https://epbr.com.br/mundo-deve-adicionar-59-gw-de-geracao-distribuida-fotovoltaica-em-2022/>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

MEGGA SOLAR. **Orçamento.** [recebimento]. Recebimento presencial obtido em: 06 jan. 2021.

MOTTA, R. D. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

MOTTA, R. D. R. *et al.* **Engenharia econômica e finanças**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. E-book. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/e1ncxv1>>. Acesso em: 18 mai. 2022.

NASCIMENTO, C. A. D. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) - Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2022.

NOGUEIRA, P. C. **Estudo de viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia do Rio de Janeiro: um estudo de caso**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017756.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2022.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. E-book. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319305620_Atlas_Brasileiro_de_Energia_Solar_-_2_Edicao#read>. Acesso em: 07 mai. 2022.

PEREIRA, J. D. S. G. **Projeto de micro e minigeradores fotovoltaicos conectados à rede atendendo às normas ABNT e CELPE**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

PISON PROJETOS. **Módulo fotovoltaico: o que é e quais são as vantagens?**. 2021. Disponível em: <<https://pisonprojetos.com.br/sem-categoria/modulo-fotovoltaico-o-que-e-e-quais-sao-as-vantagens/>>. Acesso em: 16 mai. 2022.

PLANAS, O. **O que é silício policristalino?**. 2018. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/painel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/silicio/silicio-policristalino>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

REBELATTO, D. A. D. N. (Org.). **Projeto de investimento: com estudo de caso completo na área de serviços**. Barueri: Manole, 2004.

REIS, P. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares**. 2017. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>>. Acesso em: 17 mai. 2022.

RODRIGUES, A. **Aneel reajusta valor da bandeira tarifária vermelha 2**. 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-06/aneel-reajusta-valor-da-bandeira-tarifaria-vermelha-2>>. Acesso em: 12 mai. 2022.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. **Princípios de administração financeira**. Tradução: Andrea Maria Accioly Fonseca Minardi; Revisão Técnica: Antonio Zoratto Sanvicente. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000. E-book. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/nc5ecs0>>. Acesso em: 17 mai. 2022.

SILVESTRE, M. E. D. Código de 1934: água para o Brasil industrial. **Revista geo-paisagem**, Niterói, ano 7, n. 13, jan./jun. 2008. ISSN: 1677-650X. Disponível em: <<http://www.feth.ggf.br/%C3%81gua.htm>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SOUZA, J. P. D. **Silício mono ou policristalino: quem vence o duelo?**. 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/silicio-mono-ou-policristalino-quem-vence-o-duelo/>>. Acesso em: 12 mai. 2022.

SROUR, S. **A reforma do estado e a crise no setor de energia elétrica: uma visão crítica do caso brasileiro**. 2005. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3354/Dissertacao_Sandra.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2022.

VILLALVA, M. **Funções e requisitos técnicos dos inversores fotovoltaicos**. 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/funcoes-e-requisitos-tecnicos-dos-inversores-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 14 mai. 2022.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. E-book. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/cvx0eev>>. Acesso em: 03 mai. 2022.

ZILLES, R. *et al.* **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. E-book. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/nx50snv>>. Acesso em: 13 mai. 2022.

ANEXO A - Datasheet do módulo fotovoltaico utilizado

AstroNova™

Profitable for Decades



310W~330W

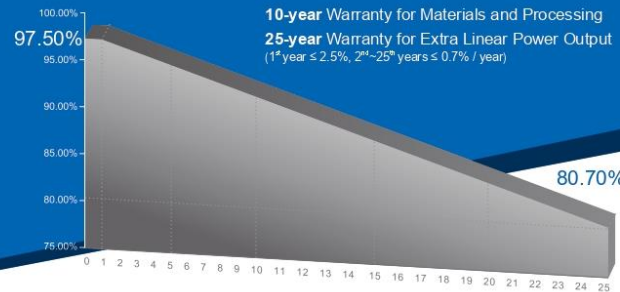
5BB-Polycrystalline PV Module

CHSM6612P Series

CHSM6612P/HV Series

CHSM6612P max system voltage 1000V standard
CHSM6612P/HV max system voltage 1500V standard

Tier 1 Bloomberg	No.1 PHOTON	Reinsurance 3rd party	DNV GL 2018 TOP Performance
----------------------------	-----------------------	--------------------------	---------------------------------------



COMPREHENSIVE CERTIFICATES



First solar company which passed the TUV Nord IEC/TS 62941 certification audit.

KEY FEATURES

- +5W OUTPUT POSITIVE TOLERANCE**
Guaranteed 0~+5W positive tolerance ensures power output reliability.
- INNOVATIONAL 5-BUSBAR CELLS**
Reduces the cell series resistance and internal stress, decreases the risk of micro-crack and improves the module output.
- Anti PID RESISTANCE**
Excellent PID resistance at 96 hours (@85°C /85%) test, and also can be improved to meet higher standards for the particularly harsh environment.
- EXCELLENT MECHANICAL LOAD CAPABILITY**
Certified to withstand: snow load (6000 Pa) and wind load (3600 Pa).
- HIGHER RELIABILITY AND DURABILITY**
Effectively deals with harsh environments, such as sand, salt mist and ammonia resistance.
- PASSED HAIL TEST**
Certified to hail resistance: ice ball size (d=45mm) and ice ball velocity (v=30.7m/s).
- EXCELLENT LOW-LIGHT PERFORMANCE**
With the deep textured ARC glass and cell surface texturing process, achieve the excellent performance at the haze, cloudy days and other low light conditions.

For Global Market



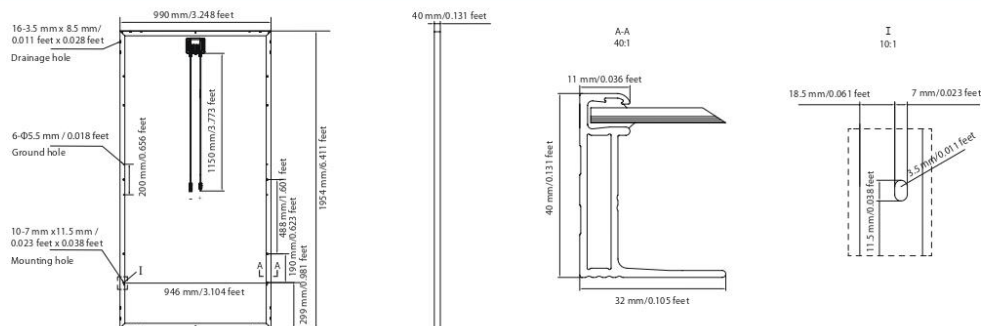
ELECTRICAL SPECIFICATIONS					
STC rated output (P _{mpp})*	310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp
Rated voltage (V _{mpp}) at STC	36.91 V	36.99 V	37.02 V	37.11 V	37.15 V
Rated current (I _{mpp}) at STC	8.40 A	8.53 A	8.65 A	8.77 A	8.89 A
Open circuit voltage (V _{oc}) at STC	45.15 V	45.30 V	45.45 V	45.67 V	45.86 V
Short circuit current (I _{sc}) at STC	8.92 A	9.04 A	9.25 A	9.48 A	9.52 A
Module efficiency	16.0%	16.3%	16.5%	16.8%	17.1%
Rated output (P _{mpp}) at NOCT	216.5 Wp	220.0 Wp	223.5 Wp	226.9 Wp	230.4 Wp
Rated voltage (V _{mpp}) at NOCT	33.71 V	33.74 V	33.80 V	33.86 V	33.92 V
Rated current (I _{mpp}) at NOCT	6.42 A	6.52 A	6.61 A	6.70 A	6.79 A
Open circuit voltage (V _{oc}) at NOCT	41.43 V	41.57 V	41.70 V	41.91 V	42.08 V
Short circuit current (I _{sc}) at NOCT	6.90 A	6.99 A	7.15 A	7.33 A	7.37 A
Temperature coefficient (P _{mpp})	- 0.408%/°C				
Temperature coefficient (I _{sc})	+0.050%/°C				
Temperature coefficient (V _{oc})	- 0.311%/°C				
Normal operating cell temperature (NOCT)	46±2°C				
Maximum system voltage (IEC/UL)	1000V _{DC} or 1500V _{DC}				
Number of diodes	3				
Junction box IP rating	IP 67				
Maximum series fuse rating	15 A				

* Measurement tolerance +/- 3%
 STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Outer dimensions (L x W x H)	1954 x 990 x 40 mm 76.93 x 38.98 x 1.57 in
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Module composition	Glass / EVA / Backsheet (white)
Front glass thickness	3.2 mm / 0.13 in
① Cable length (IEC/UL)	1150 mm / 45.28 in
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
② Maximum mechanical test load	6000 Pa
Fire performance (IEC/UL)	Class C (IEC) or Type 1 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

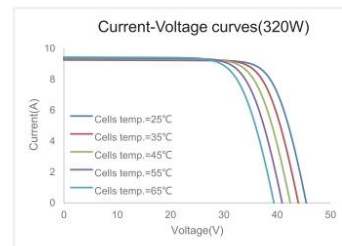
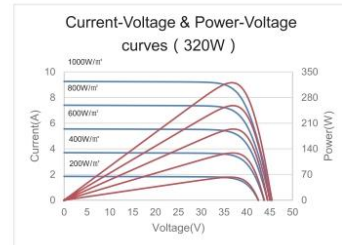
① Option: 900(+)/600(-) mm for defined projects in advance.
 ② Refer to Astronergy Crystalline Silicon PV Module Installation Manual or contact technical department.
 Maximum Mechanical Test Load=1.5×Maximum Mechanical Design Load.

MODULE DIMENSION DETAILS



© Chint Solar (Zhejiang) Co., Ltd. Reserves the right of final interpretation. please contact our company to use the latest version for contract.

CURVE



PACKING SPECIFICATIONS

① Weight (module only)	21.8 kg / 48.06 lbs
② Packing unit	27 pcs / box
Weight of packing unit (for 40'HQ container)	634 kg / 1398 lbs
Number of modules per 40'HQ container	648 pcs

① Tolerance +/- 1.0kg
 ② Subject to sales contract

ANEXO B - Datasheet do inversor utilizado

Inverter-Brazil/Europe

CPS SCA17~22KTL-T/EU

Inversor String Chint Power
High Return of the Whole Life Cycle

Inverter



Baixo Investimento

Os inversores trifásicos da série string não são apenas produtos diversificados que fornecem como opção comutação em corrente contínua (DC), string box DC integrada, proteção contra surtos classe II.

Proteção opcional módulo PID e comunicação GPRS / Wi-Fi / RS485, que podem atender aos requisitos de diferentes clientes assim como suportar 10% de sobrecarga e dessa maneira diminuindo eficientemente o investimento inicial do sistema.

Grandes Vantagens

Os inversores trifásicos da série string podem fornecer 98,6% de eficiência máxima, 98,2% de eficiência europeia, 99,5% de eficiência MPPT garantindo uma completa vida útil ao inversor.

Garantia de Manutenção

Os inversores trifásicos da série string podem fornecer uma garantia padrão de 5 anos, com opção estendida para 10~25 anos e plataforma de operação excelente garantindo uma completa vida útil ao inversor.

Modelo	CPS SCA17KTL-T/EU	CPS SCA20KTL-T/EU	CPS SCA22KTL-T/EU
Dados de entrada (corrente continua) (DC)			
Potência Máxima	18 KW	21 KW	23 KW
Tensão Máxima		1000 VDC	
Faixa de tensão MPPT (carga plena)		480 ~ 800 VDC	
Faixa de tensão MPPT		180 ~ 950 VDC	
Tensão Nominal		620 VDC	
Tensão de arranque		250 VDC	
Tensão Mínima		160 VDC	
Corrente Mínima		2 * 25A	
Máximo nº de conjuntos de conexões		2 / 2 + 2	
Número de MPPT		2	
Comutadora		Opcional	
Dados de saída (corrente alternada) (AC)			
Potência Nominal	17 KW	20 KW	22 KW
Potência Máxima	18.7 KVA	22 KVA	24.2 KVA
Corrente Máxima	28.3 A	33.5 A	35 A
Tensão Nominal / faixa		380 V, 400 V / 277 ~ 520 V	
Frequência Nominal / da rede*		50 Hz, 60 Hz / 45~55 Hz, 55~65 Hz	
Fator de potência (cosφ)		± 0.8 (ajustável)	
Corrente THD (distorção harmônica total)		< 3%	
Conexão da rede		3W + N + PE	
Eficiência			
Eficiência Máxima	98.3%	98.3%	98.3%
Eficiência Européia	98.0%	98.0%	98.0%
Eficiência MPPT		> 99.5%	
Proteção			
Sobrecorrente (DC)		Integrado	
Corrente de curto circuito (AC)		Integrado	
Reversão de polaridade (DC)		Integrado	
Proteção contra surtos		Classe II (DC), Classe II (AC)	
Monitoramento de isolamento (DC)		Integrado	
Corrente de fuga		Integrado	
Anti-ilhamento		Integrado	
Interface			
Conexão (AC)		Conexão por encaixe	
Conexão (DC)		MC4 / H4	
Display LCD / LED		LED+ APP (Bluetooth)	
Língua		Inglês	
Comunicação		RS485 (standard) / Wi-Fi & GPRS (Opcional)	
Dados Gerais			
Conceito do inversor		Sem transformador	
Faixa de temperatura operacional		-25°C ~ 60°C	
Método Resfriamento		Convenção Natural	
Umidade		0 ~ 100%, sem condensação	
Altitude		4000 mts.	
Ruído		< 30 dBA	
Grau de proteção		IP65	
Dimensões (W*H*D) [mm]		555 * 446 * 270.5	
Peso [kg]		35	
Garantia [anos]		5 (Standard) / 10 (Opcional)	
Certificações		IEC62109-1/2, IEC61000-6-1/2/3/4, CQC NB/T 32004, IEC61727, IEC62116, EC 60068, IEC61683	

* "Faixa de tensão de saída" e "Faixa de frequência de saída" podem variar de acordo com os códigos de rede específicos.

ANEXO C - Projeção de rendimento e geração

Ano	Investimento (R\$)	Custos e despesas (R\$)	Rendimento anual dos módulos (%)	Geração (kWh/ano)	Acumulado (kWh)	Preço (R\$/kWh)	Reajuste (%)	Geração (R\$/ano)	Geração média (R\$/mês)	Geração acumulada (R\$)
0	-126.372,94									
1		0,00	100,0	55.987,62	55.987,62	1,03	10,00	57.482,41	4.790,20	57.482,41
2		0,00	97,5	54.587,93	110.575,55	1,13	10,00	61.649,89	5.137,49	119.132,30
3		0,00	96,8	54.196,02	164.771,57	1,24	10,00	67.328,00	5.610,67	186.460,30
4		0,00	96,1	53.804,10	218.575,67	1,37	10,00	73.625,24	6.127,10	259.985,54
5		0,00	95,4	53.412,19	271.987,86	1,50	10,00	80.288,64	6.690,72	340.274,18
6		0,00	94,7	53.020,28	325.008,13	1,65	10,00	87.669,47	7.305,79	427.943,65
7		0,00	94,0	52.628,36	377.636,50	1,82	10,00	95.723,58	7.976,97	523.667,24
8		0,00	93,3	52.236,45	429.872,95	2,00	10,00	104.511,82	8.709,32	628.179,06
9		0,00	92,6	51.844,54	481.717,48	2,20	10,00	114.100,48	9.508,37	742.279,54
10		0,00	91,9	51.452,62	533.170,11	2,42	10,00	124.561,74	10.380,15	866.841,28
11		0,00	91,2	51.060,71	584.230,81	2,66	10,00	135.974,25	11.331,19	1.002.815,53
12		0,00	90,5	50.668,80	634.899,61	2,93	10,00	148.423,65	12.368,64	1.151.239,18
13		0,00	89,8	50.276,88	685.176,49	3,22	10,00	162.003,18	13.500,27	1.313.242,36
14		0,00	89,1	49.884,97	735.061,46	3,54	10,00	176.814,39	14.734,53	1.490.056,75
15		0,00	88,4	49.493,06	784.554,52	3,90	10,00	192.967,80	16.080,65	1.683.024,55
16		0,00	87,7	49.101,14	833.655,66	4,29	10,00	210.583,75	17.548,65	1.893.608,30
17		0,00	87,0	48.709,23	882.364,89	4,72	10,00	229.793,22	19.149,43	2.123.401,52
18		0,00	86,3	48.317,32	930.682,21	5,19	10,00	250.738,74	20.894,89	2.374.140,25
19		0,00	85,6	47.925,40	978.607,61	5,71	10,00	273.575,43	22.797,95	2.647.715,68
20		0,00	84,9	47.533,49	1.026.141,10	6,28	10,00	298.472,07	24.872,67	2.946.187,75
21		0,00	84,2	47.141,58	1.073.282,68	6,91	10,00	325.612,29	27.134,36	3.271.800,03
22		0,00	83,5	46.749,66	1.120.032,34	7,60	10,00	355.195,83	29.599,65	3.626.995,86
23		0,00	82,8	46.357,75	1.166.390,09	8,36	10,00	387.439,95	32.286,66	4.014.435,81
24		0,00	82,1	45.965,84	1.212.355,92	8,18	10,00	375.781,28	31.315,11	4.390.217,09
25		0,00	81,4	45.573,92	1.257.929,85	8,99	10,00	409.835,03	34.152,92	4.800.052,12