



UNILAB

Universidade da Integração Internacional
da Lusofonia Afro-Brasileira

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

LUÃ THEO DO CARMO LIMA

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA
USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE DA FAZENDA
EXPERIMENTAL PIROÁS**

REDENÇÃO

2021

LUÃ THEO DO CARMO LIMA

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA USINA
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE DA FAZENDA EXPERIMENTAL PIROÁS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

REDENÇÃO

2021

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Lima, Luã Theo do Carmo.

L732d

Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica flutuante no açude da fazenda experimental Piroás / Luã Theo do Carmo Lima. - Redenção, 2021.
93f: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro.

1. Energia - Produção. 2. fotovoltaica. 3. Energias renováveis. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 621.47

LUÃ THEO DO CARMO LIMA

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA USINA FOTVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE DA FAZENDA EXPERIMENTAL PIROÁS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: 13/04/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Lúcia Maria Carvalho Sousa Cordeiro (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. Vandilberto Pereira Pinto
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.

Aos meus pais, Paula e Teógenes.

À minha esposa, Vanessa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me capacitado em sua infinita Graça e misericórdia durante todos os anos vividos na Unilab.

Aos meu pais, Teogenes e Paula, por terem sido extremamente importantes para minha formação e caráter. Em especial a minha mãe, que nunca mediu esforços para me ajudar em todos os momentos e sempre esteve presente em todos os momentos.

A minha amada esposa, Vanessa, por ter contribuído de forma direta e indireta para o êxito deste trabalho, sendo importantíssima em todos os momentos de dificuldade.

Agradeço a Prof^a. Dr^a. Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro pela orientação e apoio que tanto contribuiu para realização deste trabalho.

A todos os meus amigos de dentro e fora do ciclo acadêmico, pois com eles tive a oportunidade de viver momentos incríveis.

Agradeço ao Prof. Dr. Prof. Dr. Gustavo Alves de Lima Henn e Prof. Dr. Vandilberto Pereira Pinto por terem aceitado o convite para participar da Banca Examinadora deste Trabalho de Conclusão de Curso.

A todos os professores que tive o privilégio de conviver durante todos esses anos. A todos que direta ou indiretamente contribuíram para concretização deste trabalho.

Por fim, agradeço a F2B que gentilmente respondeu a solicitação de orçamento, sendo muito importante para o bom andamento deste trabalho.

“O que adquire entendimento ama sua alma, o que conserva a inteligência achará o bem (Provérbios 19:8).”

RESUMO

Dentre os principais desafios atuais da humanidade, se encontra a necessidade de gerar cada vez mais energia sem comprometer a integridade do meio ambiente em que vive. Para solucionar este problema, faz-se necessário o uso de fontes de energias renováveis. Dentre as fontes de energia renovável, as usinas fotovoltaicas vêm apresentando um grande crescimento e potencial para continuar a crescer em todo mundo e não será diferente no Brasil, inclusive com usinas instaladas em lâminas d'águas. Portanto, neste trabalho foi realizado um dimensionamento e estudo de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica flutuante no açude da fazenda experimental Piroás da Unilab. O sistema foi dimensionado a partir das contas de energia da fazenda e do campus, em que a usina seria responsável por gerar energia suficiente para suprir o consumo médio mensal de ambos, que somados é de 44.721 kWh, com as tarifas diferentes em cada instalação. Feito a estimativa dos custos para implantação da usina e das receitas obtidas com a economia nas contas de energia, foram realizados cinco métodos de análises de investimentos: o VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno), *payback* simples, *payback* descontado e índice de Lucratividade (IL). O resultado final da análise de viabilidade econômica do projeto apontou para um status de viabilidade com um retorno de investimento entorno de 6 anos e 6 meses de operação da usina, resultando em um ganho estimado em 25 anos de R\$ 3.072.359,17.

Palavras-chave: Energias renováveis. Usina fotovoltaica flutuante. Análise de viabilidade.

Dimensionamento

ABSTRACT

Among the main current challenges facing humanity, there is the need to generate more and more energy without compromising the integrity of the environment in which it lives. To solve this problem, it is necessary to use renewable energy sources. Among the sources of renewable energy, photovoltaic plants increase great growth and the potential to continue to grow worldwide and it will be no different in Brazil, including plants installed in water depths. Therefore, in this work a dimensioning and study of the economic feasibility of a floating photovoltaic plant in the reservoir of the experimental farm Piroás of Unilab was carried out. The system was dimensioned based on the farm and campus energy bills, in which the plant would be responsible for generating enough energy to supply the average monthly consumption of both, which together is 44,721 kWh, with different tariffs at each site. After estimating the costs for implementing the plant and the revenues executed with the savings in the energy bills, five methods of investment analysis were carried out: the NPV (Net Present Value), an IRR (Internal Rate of Return), simple payback, relative return and Profitability Index (IL). The final result of the economic feasibility analysis of the project pointed to a state of viability with a return on investment around 6 years and 6 months of operation of the plant, losing an estimated 25-year gain of R \$ 3,072,359.17.

Keywords: Renewable energy. Floating photovoltaic plant. Sizing. Viability analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pirâmide Energética.....	24
Figura 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2019.....	25
Figura 3 – Participação das fontes na capacidade instalada.....	26
Figura 4 – Custo dos painéis fotovoltaicos ao longo dos anos	27
Figura 5 – Evolução da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.....	28
Figura 6 – Número de conexões realizadas da geração distribuída fotovoltaica.....	29
Figura 7 – Total diário de irradiação direta normal e da irradiação no plano inclinado na latitude.....	30
Figura 8 – Mapa de irradiação solar direta normal diária.....	31
Figura 9 – Mapa de irradiação solar diária no plano inclinado.....	32
Figura 10 – Projeção da potência instalada de geração fotovoltaica no Brasil.....	33
Figura 11 – Arranjo típico de um sistema fotovoltaico flutuante.....	35
Figura 12 – Capacidade Instalada de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes no mundo.....	36
Figura 13 – Influência da Temperatura ambiente na tensão do módulo.....	40
Figura 14 – Açude da Fazenda Experimental Piroás.....	48
Figura 15 – Trecho da fatura da fazenda que mostra o consumo médio de energia elétrica de 2019.....	50
Figura 16 – Resultados obtidos para fazenda com a planilha de dimensionamento.....	51
Figura 17 – Trecho da fatura de 2019 do campus que mostra o consumo de energia em hora ponta e fora ponta.....	52
Figura 18 – Resultados obtidos para o campus com a planilha.....	53
Figura 19 – Layout da configuração dos módulos.....	54
Figura 20 – Porcentagem de cada um dos custos em relação ao custo total do projeto.....	61
Figura 21 – Consumo (kWh) e tarifa da fatura em fevereiro de 2021.....	64
Figura 22 – Seis últimos reajustes feitos pela Enel nas tarifas de energia.....	65

Figura 23 – Print da fatura de energia do campus da Liberdade (02/2021)..... 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização e área da Fazenda Experimental Piroás.....	47
Tabela 2 – Localização do Reservatório para Implantação da Usina Flutuante.....	48
Tabela 3 – Quantidade e potência dos inversores e subestação obtidos após seus respectivos dimensionamentos.....	55
Tabela 4 – Divisão da quantidade de módulos por String em cada inversor.....	56
Tabela 5 – Características e custo dos módulos Fotovoltaicos.....	57
Tabela 6 – Características e custo dos inversores fotovoltaicos e da subestação.....	58
Tabela 7 – Custo por Wp e Custo total do sistema flutuante, excluso mão de obra, módulos fotovoltaicos e inversores.....	59
Tabela 8 – Custo Total para Implantação da Usina.....	60
Tabela 9 – Produção anual de energia que será injetada na rede elétrica pela usina fotovoltaica flutuante.....	63
Tabela 10 – Aumento anual da tarifa usada na fazenda, ao longo dos 25 anos de projeto	66
Tabela 11 – Receita anual através da economia gerada na conta de energia da fazenda...	67
Tabela 12 – Aumento anual das Tarifas de HP e FP usadas no Campus, aos longo dos 25 anos de projeto.....	69
Tabela 13 – Receitas obtidas com a economia de energia na hora ponta no campus da Liberdade.....	71
Tabela 14 – Receitas obtidas com a economia de energia na fora ponta no campus da Liberdade.....	72
Tabela 15 – Receita total obtida com o projeto em seus 25 anos de vida útil.....	73
Tabela 16 – Economia anual total e valores de receitas ao longo do tempo.....	74
Tabela 17 – Resultados dos métodos de análise de investimento do projeto.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABGD	Associação Brasileira de Geração Distribuída
BEN	Balanco Energético Nacional
(BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento)
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CNAE	Conselho Nacional de Águas e Energia
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
FEP	Fazenda Experimental Piroás
FP	Fora Ponta
F2B	Fotovoltaica Flutuante Brasil
FFE	Fundo Federal da Eletrificação
GD	Geração distribuída
HP	Hora Ponta
IUEE	Imposto Único de Energia Elétrica
IL	Índice de Lucratividade
MPPT	Maximum Power Point Tracker
MAE	Mercado Atacadista de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PA	Práticas Agrícolas
PEPE	Programa de Estimulo às Privatizações Estaduais
PPC	Projeto Pedagógico do Curso
RN	Resolução Normativa
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade

UNILAB Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-
Brasileira

UFVS Usinas Fotovoltaicas em Solo

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
R\$	Real
η	Rendimento em relação a temperatura
E_p	Energia produzida pelo sistema
kWh;	QuiloWatts hora
MWh	MegaWatts hora
kWh/m ²	QuiloWatts hora por metro quadrado
A_m	Área total dos módulos
G_p	Insolação global
T_o	Temperatura de referência
°C	Graus Celsius
T_m	Temperatura média do módulo
β	Coefficiente de potência em relação a temperatura
<i>VPL</i>	Valor presente líquido
<i>FCT</i>	Fluxo de caixa no t-ésimo período
<i>FC_o</i>	Investimento inicial
<i>r</i>	Custo do capital
<i>N_p</i>	Número de painéis
<i>C_{mm}</i>	Consumo médio mensal
<i>C_{md}</i>	Consumo médio diário
<i>T_{min}</i>	Taxa mínima de manutenção
η	Eficiência do módulo
<i>P_p</i>	Potência do módulo
<i>P_{inst}</i>	Potência instalada
<i>I</i>	Irradiação
<i>G_{fp}</i>	Energia necessária na for a ponta
<i>G_{usina}</i>	Geração annual da usina
<i>C_{mhp}</i>	Consumo médio da hora ponta
<i>C_{mhp}</i>	Consumo médio da for a ponta

Ghp Energia necessária na hora ponta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	21
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	21
1.2	JUSTIFICATIVA	22
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	Breve histórico do setor elétrico brasileiro	23
2.2	Panorama atual da energia no Brasil	25
2.3	Energia Solar	26
2.4	Panorama Nacional de Energia Solar	27
2.4.1	<i>Potencial Nacional de Energia Solar Fotovoltaica</i>	30
2.5	Características de Operação dos Sistemas Fotovoltaicos	33
2.6	Tecnologia dos Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes	34
2.6.1	<i>Vantagens e desafios de sistemas flutuantes</i>	36
2.6.2	<i>Descrição dos componentes e características técnicas de UFVFs</i>	38
2.7	Os impactos na eficiência energética do processo de geração de eletricidade em UFVFs..	39
3.	MÉTODOS DE AVALIAÇÕES ECONÔMICAS DE INVESTIMENTOS	42
3.1	Método do Valor Presente Líquido (VPL)	42
3.2	Método do Índice de Lucratividade (IL)	43
3.3	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)	43
3.4	Método do payback descontado	45
4.	DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA USINA	47
4.1	Sítio de instalação	47
4.2	Dimensionamento da quantidade de módulos	49
4.3	Dimensionamento dos inversores e subestação	54
4.4	Configuração das <i>strings</i> dos inversores	55
4.5	Previsão de custos e despesas	56
4.5.1	<i>Módulos Fotovoltaicos</i>	56
4.5.2	<i>Inversores e subestação</i>	57
4.5.3	<i>Custo dos Cabos e Estrutura Flutuante</i>	58
4.5.4	<i>Custo Total do Investimento</i>	59
4.6	Projeção de receitas	62
4.6.1	<i>Geração Anual ao Longo da Vida Útil do Projeto</i>	62
4.6.2	<i>Reajuste anual da tarifa nas faturas da fazenda</i>	64
4.6.3	<i>Receitas com o abatimento do consumo de energia na fazenda</i>	66
4.6.4	<i>Reajuste anual da tarifa nas faturas do Campus da Liberdade</i>	67

4.6.5 <i>Receitas com o abatimento do consumo de energia no campus da Liberdade.</i>	69
4.6.6 <i>Receita total obtida ao longo dos 25 anos</i>	72
4.7 <i>Análise de viabilidade econômica da usina</i>	73
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
5.1 <i>Conclusões</i>	77
5.2 <i>Recomendações para trabalhos futuros</i>	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE I – Mapa de localização do Reservatório da Fazenda Piroás.	84
ANEXOS	85
ANEXO I – <i>Proposta de orçamento da F2B</i>	85
ANEXO II – <i>Datasheet do Módulo fotovoltaico da Risen</i>	91
ANEXO III – <i>Datasheet do inversor de 60 kWp da Huawei</i>	93

1 INTRODUÇÃO

Em toda a sua história, o homem sempre se deparou com muitas adversidades, mas encontrou soluções para a maior parte delas e aprendeu a utilizar os recursos naturais em prol de seu desenvolvimento e sobrevivência. Ao longo dos séculos, obteve um salto tecnológico gigantesco, saindo da era da pedra lascada para explorar o sistema solar e o cosmos. É ponto pacífico que a evolução e o progresso trazem consigo grandes conquistas, porém, implica em maiores demandas em todos os aspectos que constituem uma sociedade avançada, visto que requer uma maior capacidade de produção de alimentos, roupas, automóveis, dispositivos de comunicação etc. Sendo a energia, a força motriz capaz de tornar viável a produção dos itens essenciais para o homem moderno, conclui-se que quanto maior o desenvolvimento da espécie humana, maior a necessidade de gerar energia (GOLDEMBERG; LUCON, 2006).

Apesar de haver um esforço mundial em optar por fontes renováveis, o mundo ainda tem como fonte energética mais utilizada, para a produção de energia elétrica, matéria prima proveniente de fósseis e de recursos não renováveis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. Dependendo de forma exacerbada destas fontes de energia, além de prejudicar o meio ambiente com a emissão de gases poluentes que causam efeito estufa, com destaque para o dióxido de carbono, também preocupa para a escassez destas fontes primárias em médio e longo prazo (FREITAS; DATHEIN, 2013).

Se produzir energia é algo imprescindível para dar continuidade ao desenvolvimento da sociedade, por outro lado, a humanidade precisa encontrar meios que proporcionem o aumento da sustentabilidade no processo de geração de sua energia, sendo este um dos principais desafios do século XXI. Portanto, a utilização de fontes de energias renováveis se torna a chave para gerar energia e nos garantir um progresso de forma sustentável (FREITAS; DATHEIN, 2013).

Antes de abordar o assunto sobre energias renováveis, é preciso entender sobre os recursos naturais disponíveis que servem como fontes para geração de energia limpa. Segundo Senhoras, Moreira e Vitti (2018), todo recurso natural pode ser definido de forma geral, como sendo um bem oriundo da natureza e que o homem pode utilizar para satisfazer

suas necessidades, sendo classificado como recurso natural renovável ou não renovável em função da sua capacidade de esgotamento.

Os recursos não renováveis, podem ser entendidos como aqueles que uma vez sendo utilizados não podem ser substituídos, portanto, são recursos esgotáveis. Um exemplo bastante conhecido é o combustível fóssil (CRUZ, 2020). Os recursos naturais renováveis, são obviamente o oposto, pois são recursos que não se esgotam, passando por um processo natural de renovação em curto espaço de tempo, como por exemplo a energia solar, o ar, a água e os vegetais (BARBOSA, 2020).

Segundo Barros (2007), ter acesso e dominar os recursos naturais renováveis capazes de servir como fonte de energia, será indispensável para todas as nações que almejam uma economia forte para o futuro, pois a partir da queda na produção de petróleo, a acessibilidade de outras fontes de energia será extremamente decisiva para a economia em nível global. Portanto, as energias renováveis tenderão a assumir cada vez mais, um papel muito relevante dentro do cenário econômico global, uma vez que se torna necessário buscar alternativas para produção de energia com opções não poluentes e que não esgotem.

Para Scholten e Bosman (2013), energia renovável é uma energia derivada de processos naturais que são ou podem ser constantemente reabastecidos e incluem energia solar, eólica, biomassa, geotérmica, hidrelétrica, energia maremotriz e biocombustíveis. Enquanto que para Bjork et al (2011), o termo Energia renovável refere-se a energia gerada de recursos naturais em níveis sustentáveis que são oriundos de fontes de energia não-fósseis. Estas fontes são reabastecidas de forma natural em um ritmo que poder ser igual, ou até mesmo superior à sua utilização (GREENPEACE, 2013).

Segundo Barbosa (2015), a maior parte da energia renovável produzida no mundo é oriunda de hidrelétricas, gerando em torno de 16,5% de toda a eletricidade mundial, ou seja, quase 85% da eletricidade renovável global vem de forças hídricas. Sendo esta, uma energia renovável de bastante confiabilidade e durabilidade, alto nível de eficiência, baixos custos de operação e manutenção, além de possuir uma boa capacidade para o “armazenamento” (HANCOCK e SOVACOO, 2014, p. 3).

Apesar da importância do potencial hídrico do Brasil para produção de energia elétrica, em geração concentrada a partir de uma fonte renovável, foi publicado no ano de

2012 a primeira Resolução Normativa (RN) nº 482 que regulamentava o processo de Geração distribuída (GD) no Brasil, que permitia ao consumidor comum a geração de energia elétrica a partir de um sistema de compensação. Atualmente essa resolução já sofreu atualizações em relação a 2012, com a introdução de novas modalidades estabelecidas pela RN nº 687/2015. Dentre as formas de GD que são abordadas dentro da RN nº 687, segundo a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD), entre os meses de julho e agosto de 2017, destaca-se a geração residencial com 79% das instalações de GD no Brasil (BELISKI, 2017).

Entre os tipos de energias renováveis utilizadas para microgeração e minigeração distribuída, o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica vem se mostrando cada vez mais viável ao longo dos anos. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a instalação de módulos fotovoltaicos para a geração de energia elétrica em residências, comércios e indústrias triplicou no Brasil em 2019, em relação ao ano anterior. Em 2019 foram 95,3 mil instalações, enquanto em 2018 o número era de 30 mil. No total funcionam no país cerca de 145,3 mil usinas fotovoltaicas que geram energia no modelo de GD (SOLAR, 2020).

Na matriz elétrica brasileira, destaca-se o setor residencial que corresponde a 21,4% do consumo de energia elétrica, ou seja, 132,9 TWh. Observa-se também que a energia hídrica segue forte como a principal fonte energética brasileira, gerando 421,7 TWh, o que equivale a aproximadamente 68,1%, enquanto que a energia solar fotovoltaica ainda se encontra em fase de crescimento. Tal quadro tenderá a se alterar nos 8 próximos anos a partir da inserção de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída e usinas fotovoltaicas de geração centralizada (BEN, 2017).

Sobre os sistemas fotovoltaicos, é sabido que o seu processo de funcionamento quando conectados à rede elétrica, é realizado basicamente com a utilização de painéis solares, feitos de semicondutores que captam a luz do sol que incide sobre os módulos, por meio do efeito fotovoltaico, gerando energia elétrica em corrente contínua (CC) que é convertida em corrente alternada (CA) através de um inversor, depois de convertida a energia é direcionada diretamente a rede da concessionária. No Brasil, esta energia que vai para a rede, é convertida em créditos para abater a conta de energia do consumidor. O excedente

gerado durante o processo se torna créditos que podem ser utilizados em até 60 meses (SOLAR, 2020).

Mesmo com a crescente dos sistemas fotovoltaicos no mundo, esse processo de conversão energética precisa evoluir em alguns aspectos. Dentre eles, o fato de que sua baixa eficiência de conversão energética exige grandes áreas de ocupação para implantação de usinas com geração significativas. Desta forma, o alto valor de terreno implica diretamente no aumento do custo desses projetos, além de inviabilizar grandes extensões de terras que poderiam ser utilizadas para outros eventuais usos (HOSENUZZAMAN et al., 2013).

Portanto, chega-se ao tema central deste trabalho, que é estudar a viabilidade de aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em um reservatório, trazendo as vantagens de sistemas fotovoltaicos convencionais, além de promover diminuição da evaporação devido a cobertura do espelho d'água. Esse tipo de tecnologia é muito recente no mercado de energia, porém países como Japão e China já estão adotando. Diversos estudos apontam também, que este tipo de aplicação sobre reservatórios apresentou resultados de maior eficiência na geração quando comparados à sistemas terrestres (SACRAMENTO et al., 2015).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 *Objetivo geral*

Realizar o dimensionamento e desenvolver um estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico flutuante, no açude da Fazenda Experimental Piroás (FEP) da UNILAB para suprir a demanda de energia da fazenda e do campus da Liberdade.

1.1.2 *Objetivos específicos*

Levantar os dados de consumo energético (kWh), tanto da fazenda como do campus; dimensionar o sistema fotovoltaico; fazer o levantamento dos custos necessários para o investimento; realizar o estudo de viabilidade econômica utilizando os métodos: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), Payback Simples, Payback Descontado e Índice de Lucratividade (IL).

1.2 JUSTIFICATIVA

As usinas fotovoltaicas flutuantes (UFVFs) ainda são raras e possuem bom potencial para evoluir na área de pesquisa, para que este tipo de projeto se torne cada vez mais acessível financeiramente e consequentemente seja mais viável. Portanto, além da possibilidade de se fazer um investimento econômico através da economia de energia, a implantação da usina, além de ser um investimento inovador, também poderia servir para estudos sobre esse tipo de sistema, ajudando assim a comunidade acadêmica da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) a ter um contato maior com esse tipo de projeto, que tende nos próximos anos vir a ser cada vez mais comum.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Breve histórico do setor elétrico brasileiro

O Sistema Interligado Nacional (SIN) tem sua capacidade instalada composta, sobretudo, por usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas mais diversas regiões do país. Recentemente, o aumento da geração de energia através das usinas eólicas, em especial nas regiões Nordeste e Sul, provocou um considerável crescimento, salientando a importância dessa geração para o atendimento da demanda. Por sua vez, as usinas térmicas, que em sua maioria estão presentes próximas aos principais centros de carga, desempenham papel estratégico indispensável, pois contribuem para a segurança do SIN. Essas usinas são despachadas em função das condições hidrológicas vigentes, permitindo a gestão dos estoques de água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas, para assegurar o atendimento futuro. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor (ONS, 2021).

Dessa forma, o abastecimento da energia elétrica é oriundo de uma gama diversificada de fontes, que podem ou não serem de grupos renováveis. Por esse motivo, é dado ao ONS a responsabilidade de coordenar e acionar as diversas fontes da matriz de acordo com a demanda instantânea. (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016).

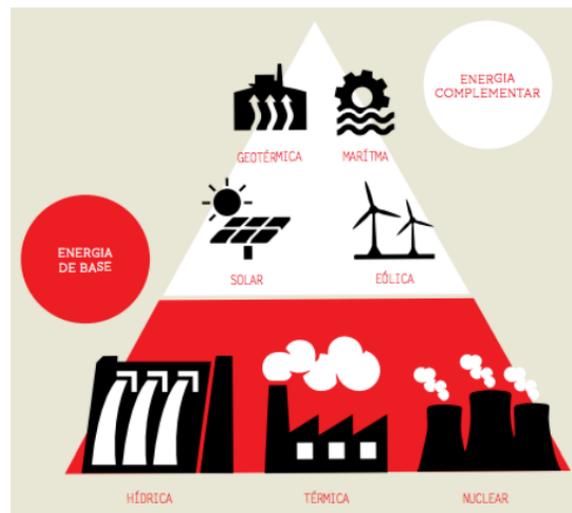
Quanto às fontes, as mesmas podem ser classificadas em fontes de base ou complementares. As fontes de base fornecem energia para a chamada demanda base do sistema. Estas possibilitam a criação de estoques para os recursos utilizados para geração de energia elétrica, e consistem basicamente das fontes hídrica, térmica e nuclear. No Brasil, considera-se que usinas de base funcionam praticamente 100% do tempo, com interrupções somente para manutenção, operando em regime constante (PRS e LEWE, 2016; WEITZEL et al., 2006).

Em relação às fontes complementares, essas dependem totalmente da disponibilidade instantânea do recurso. Devido a sua variabilidade, não é seguro ter as fontes de energia complementares como a base dos sistemas de geração, no entanto, sua presença é de imprescindível para o setor elétrico brasileiro, pois além de terem capacidade de suprir a

demanda de pico, contribuem também para a economia de recursos estocáveis utilizados para geração elétrica de demais fontes (PRS e LEWE, 2016).

Visando um maior esclarecimento, a figura 3 mostra uma ilustração com exemplos de fontes de energia complementares e de base de forma didática.

Figura 1 – Pirâmide Energética



Fonte: PRS e LEWE (2016).

Apesar da Figura 1 mostrar as fontes de geração térmica e hídrica como energia de base, isso não é obrigatório. As usinas térmicas também funcionam como complementação caso seu combustível seja muito dispendioso, sendo colocada em operação apenas em situações de falta na oferta do sistema. Da mesma forma, usinas hidrelétricas a fio d'água, também não funcionam para suprir a demanda de base, mas complementando-a (PRS e LEWE, 2016).

Aquelas que não são controladas pelo ONS são chamadas de fontes não despacháveis, portanto a energia elétrica gerada é diretamente injetada na rede. Portanto, para manter a frequência do sistema elétrico adequada é necessário que as fontes despacháveis sejam ajustadas em tempo real em função das variações das fontes não despacháveis, mantendo sempre um equilíbrio entre oferta e demanda. Já as fontes despacháveis podem ser acionadas imediatamente de acordo com a necessidade, ou seja, utilizam de recursos que funcionam como reserva para geração elétrica através da necessidade (FERREIRA et al., 2016).

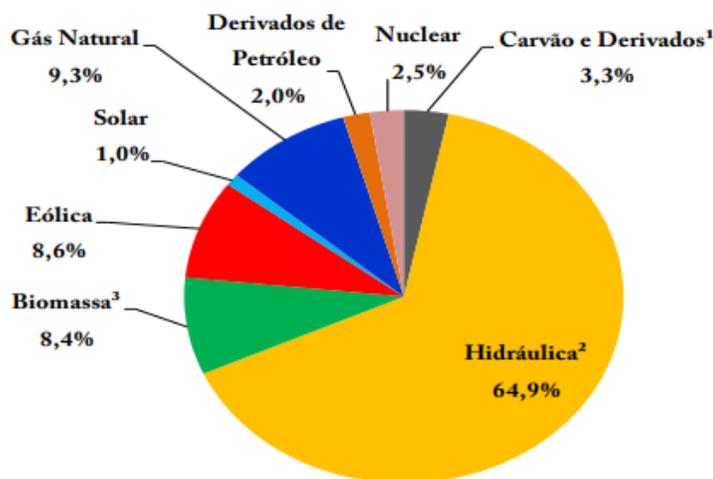
2.2 Panorama atual da energia no Brasil

Segundo os dados disponíveis no Banco de Informações de Geração ANEEL (2019), no Brasil existem 9202 empreendimentos voltados para geração de energia elétrica, que juntos totalizam 176,496GW de potência instalada (acesso em 24 de fevereiro de 2021). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2020, que tem como base o ano de 2019, a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 626,3 TWh em 2019, que por sua vez significa um resultado 4,1% superior ao ano de 2018 (EPE, 2020).

As centrais elétricas de serviço público, dominaram o cenário com uma relevante participação de 83,7% da geração total. A principal fonte de produção de energia elétrica no Brasil continua sendo a geração hídrica, crescendo em torno de 2,3% na comparação com o ano anterior. Outra importante informação dada pelo BEN 2020 é que a geração elétrica a partir das fontes não renováveis representou 17,7% do total nacional, contra 17,6% em 2018, mostrando um pequeno aumento de 0,1% (EPE, 2020).

Para ilustrar melhor o cenário da geração de energia elétrica no Brasil, a figura 2 apresenta a estrutura da oferta interna no Brasil no ano de 2019.

Figura 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2019



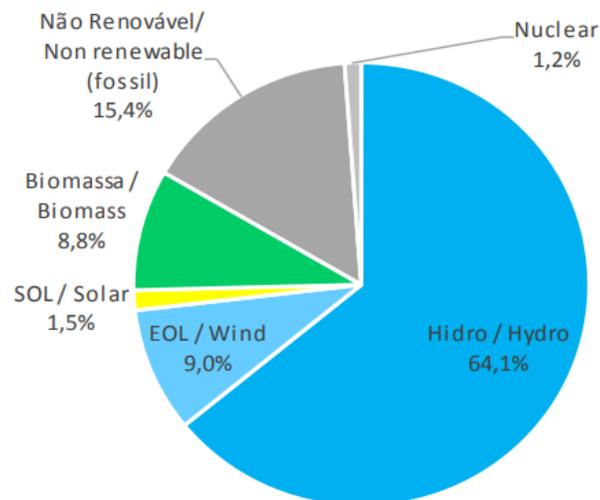
Fonte: Balanço Energético Nacional 2020 | ano base 2019.

A partir do gráfico acima podemos observar que o Brasil possui uma matriz elétrica com grande predominância de fontes renováveis, sendo a fonte hídrica a que contém

maior fatia dentre essas fontes renováveis, com 64,9% da oferta interna. As fontes renováveis representam 83,0% da oferta interna de eletricidade no Brasil, sendo resultado da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável.

Em 2019, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 170.118 MW, tendo um acréscimo de 7.278 MW. Dentre as fontes de energia renováveis, destaque para a evolução da potência instalada da solar fotovoltaica que atingiu 2.473 MW em 2019 contra 1.798 MW em 2018. A figura 3 mostra em porcentagem, a participação de cada uma das fontes dentro da capacidade instalada em 2019.

Figura 3 - Participação das fontes na capacidade instalada



Fonte: Balanço Energético Nacional 2020 | ano base 2019.

2.3 Energia Solar

É estimado que cheguem à superfície terrestre aproximadamente 885 milhões de TWh/ano de energia oriunda do Sol (IEA,2014), representando mais de 8.000 vezes o consumo final total de energia mundial no ano 2013 (IEA PVPs, 2015). Além disso, diferente de outras fontes como eólica e hidrelétrica, ciclos de longo prazo são desprezíveis para geração, de forma a diminuir incertezas quanto à disponibilidade energética.

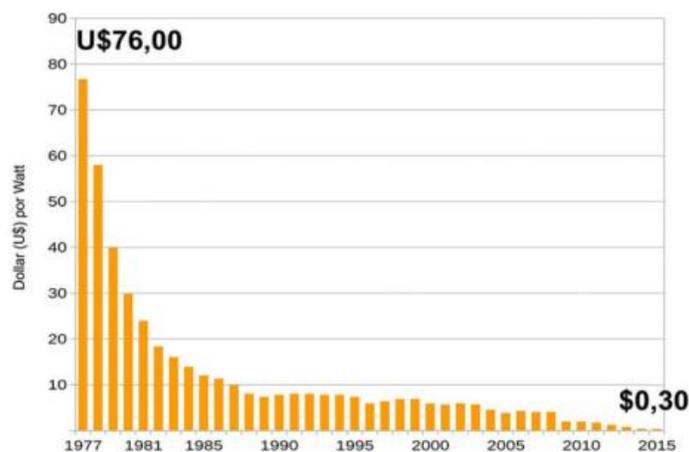
A radiação solar global é basicamente constituída de radiações direta e difusa, além de uma parcela de radiação que é refletida pela superfície terrestre. A difusa é a parcela dispersada por elementos que estão em suspensão na atmosfera, enquanto que a radiação direta consiste na parcela que incide diretamente no solo. Portanto, em dias claros, prevalece a irradiação direta ao passo que em dias nublados prevalece a irradiação difusa (TOLMASQUIM, 2016).

As células fotovoltaicas são semicondutores que convertem esta irradiação solar em energia elétrica. A eficiência do módulo fotovoltaico (células fotovoltaicas) decresce à medida em que a temperatura do mesmo aumenta (RAHMAN et al., 2015). Outro ponto interessante é que os painéis fotovoltaicos têm considerável durabilidade e o aproveitamento energético é realizado tanto pela irradiação direta quanto pela difusa.

2.4 Panorama Nacional de Energia Solar

Dentro do mercado energético internacional a energia solar fotovoltaica tem crescido por ser uma fonte limpa, de enorme disponibilidade e por ser mais previsível em comparação às demais fontes renováveis e sobretudo, pela queda dos preços contínua dos painéis fotovoltaicos. Desde a década de 70, o preço de painéis fotovoltaicos despencou de U\$ 76/W, para U\$ 0,30/W, em 2015 (PORTAL SOLAR, 2017). A figura 4 mostra a queda de preço citada anteriormente.

Figura 4 – Custo dos painéis fotovoltaicos ao longo dos anos



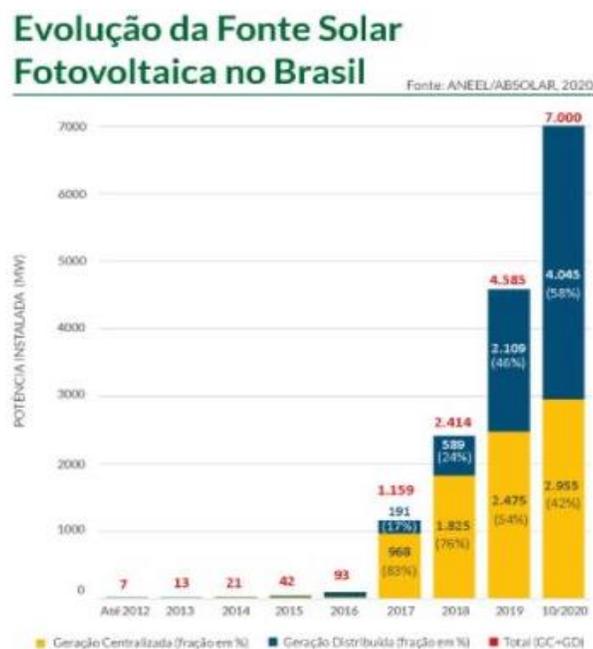
Fonte: Portal solar (2017).

Existem benefícios em utilizar a energia solar para geração de energia elétrica (ABSOLAR, 2019), tais como: a capacidade de gerar energia sem necessidade de emitir

gases poluentes, além de proporcionar avanços no quesito de geração de empregos, que segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), foram mais de 86 mil novos empregos em 2020, contribuindo para o aumento das arrecadações e investimentos mesmo em um ano assolado pela crise econômica devida a pandemia de Covid-19.

A energia solar no Brasil vem crescendo significativamente desde 2017 por conta de suas vantagens que oferecem aos consumidores de energia elétrica. A tecnologia fotovoltaica vem crescendo mais rápido no Brasil dentro da GD. Como mostram os dados abaixo da ABSOLAR, são mais de 4 GW de solar distribuída contra cerca de 3 GW gerados em grandes usinas no país.

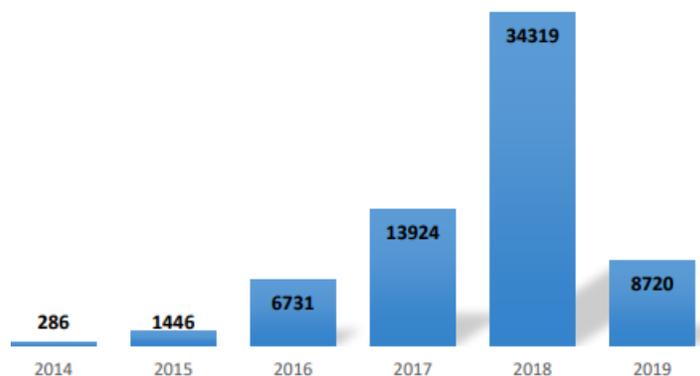
Figura 5 – Evolução da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2020).

Ao final de 2017 o Brasil possuía 1,1 GW de capacidade instalada de solar fotovoltaica (ABSOLAR, 2018), estando entre os 10 países com maior potência instalada naquele ano. O gráfico de barras da figura a seguir, aponta o crescimento do número de conexões realizadas da fonte solar fotovoltaica no Brasil de 2014 a março de 2019:

Figura 6 - Número de conexões realizadas da geração distribuída fotovoltaica

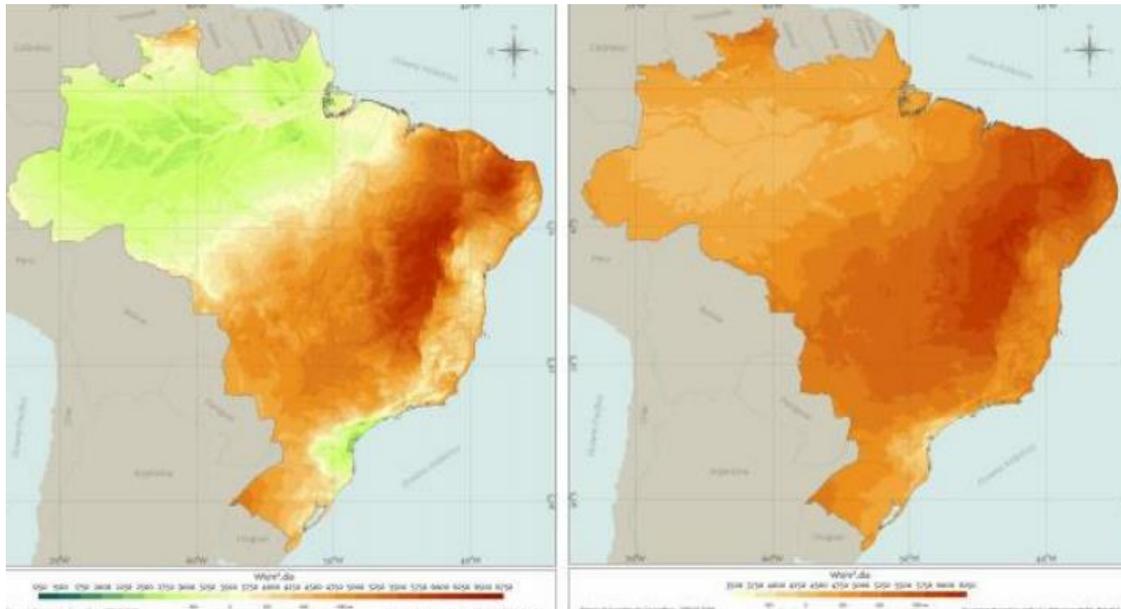


Fonte: ANEEL (2019).

O Brasil está localizado próximo à linha do Equador e possui uma incidência verticalizada dos raios solares, o que por sua vez privilegia o país com um grande potencial de aproveitamento dos raios solares ao longo do ano (AHLERT,2017), fato que pode ser observado no Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al, 2016). Apesar do crescimento da exploração do potencial brasileiro, é nítido que ainda há muito a ser explorado. Sobretudo quando observamos que as localidades brasileiras com os menores índices de insolação (1500 kWh/m²) possuem potencial fotovoltaico superior ao potencial de países como a Alemanha com médias anuais entre 900 a 1250 kWh (WIRTH, 2018). Tal situação somada às reservas de quartzo, que poderiam ser destinadas a produção de silício, matéria prima de células fotovoltaicas, (NASCIMENTO, 2017) são fatores que podem contribuir para o desenvolvimento energético brasileiro.

A Figura 7, representa a média de irradiação solar direta e difusa, respectivamente, ilustrando as melhores áreas para aplicação desta fonte de energia (EPE, 2016a).

Figura 7 – Total diário da irradiação direta normal e da irradiação no plano inclinado na latitude



Fonte: Pereira et al. (2016).

Observa-se na figura 7 que as áreas mais escuras indicam as regiões com maiores índices de irradiação solar normal e no plano inclinado, enquanto que as regiões com coloração mais claras expõem os piores índices.

2.4.1 Potencial Nacional de Energia Solar Fotovoltaica

A energia fotovoltaica no Brasil teve seu início a partir da década de 1950, em que foram desenvolvidas as primeiras pesquisas em células de silício cristalino e filmes finos. Este processo se intensificou a partir da década de 1970, através da acentuada expansão de grupos de pesquisa focados neste assunto. A partir de 1990 os sistemas fotovoltaicos passaram a fazer parte das opções viáveis para o abastecimento elétrico de regiões isoladas. Os sistemas conectados à rede tiveram suas primeiras instalações ao final dos anos 90, principalmente em universidades e centros de pesquisa (PINHO, GALDINO, 2014), entretanto, apenas no ano de 2012 a geração fotovoltaica foi regulamentada pela ANEEL por meio da RN n° 482/2012, responsável por estabelecer as condições gerais para o acesso de

micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e o sistema de compensação de energia elétrica. (EPE, 2015).

Os mapas elaborados pela EPE representam a média anual da irradiação solar direta (Figura 8) e difusa (Figura 9), que permite identificar as áreas com maiores potenciais energéticos para aplicação dos sistemas fotovoltaicos. Um dado importante é que em todo o território nacional os valores de irradiação global ultrapassam os valores de muitos países que pertencem à União Europeia, onde esta fonte é muito utilizada e amplamente incentivada. Atrás apenas da China, a Alemanha possuía ao final de 2016 41 GW de potência instalada fotovoltaica, que representou no mesmo ano 7,4% do consumo da rede elétrica (WIRTH, 2017).

Figura 8 – Mapa de irradiação solar direta normal diária



Fonte: Tolmasquim (2016).

Figura 9 – Mapa de irradiação solar diária no plano inclinado

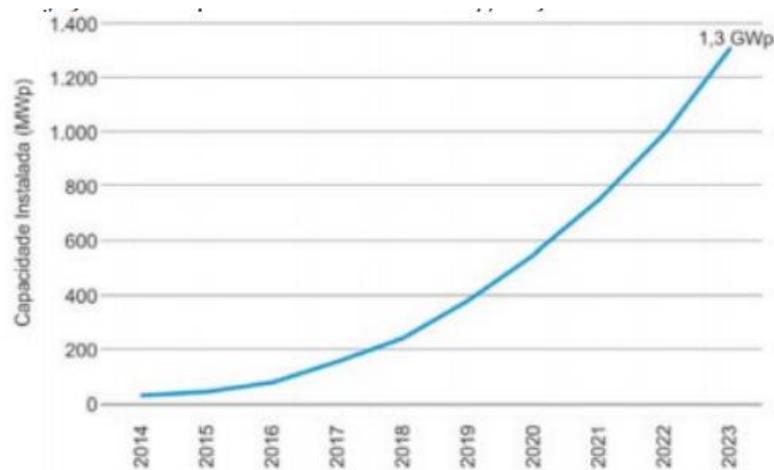


Fonte: Tolmasquim (2016).

O Brasil possui um território com grande capacidade para aproveitamento da energia solar, de modo que as pesquisas atuais são em sua maioria voltadas para os sistemas fotovoltaicos. Quanto à integração da geração fotovoltaica à rede de transmissão, é necessário considerar que é preciso haver um equilíbrio entre oferta e demanda no sistema, sendo este um grande desafio quando fontes de energia de geração intermitente tomam proporções significativas da matriz elétrica (EPE, 2015). Para equacionar este problema aparece o estímulo à geração fotovoltaica distribuída, de forma que as variações instantâneas resultantes de sombreamento não ocorram simultaneamente entre os diversos sistemas fotovoltaicos distribuídos pelo território nacional, não possuindo assim grande impacto.

No gráfico da figura a seguir, é possível ver a ascensão e projeções para geração de energia solar distribuída no Brasil. Esse aumento contribuirá para expansão do setor, aumentando os ganhos de escala de produção e diminuição dos custos relativos a tecnologia.

Figura 10 – Projeção da potência instalada de geração fotovoltaica no Brasil



Fonte: EPE (2014).

2.5 Características de Operação dos Sistemas Fotovoltaicos

Energia solar fotovoltaica compreende o processo de obtenção de energia elétrica através da conversão direta da luz em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico. A célula fotovoltaica é constituída de material semicondutor (PINHO; GALDINO, 2014). Logo a eficiência deste sistema está sujeita a grandes alterações, com uma variabilidade de geração aproximadamente dez vezes maior que a geração eólica, em intervalos de trinta minutos (TOLMASQUIM, 2016).

Em dias com muitas nuvens, estima-se que a variação de potência pode ficar entre $\pm 70\%$ e apesar dos sistemas elétricos serem capazes de lidar com flutuações naturais, esta grande incerteza da oferta a curto-prazo representa um desafio para a operação do sistema elétrico (TOLMASQUIM, 2016).

Sendo assim, fica claro que as oscilações na geração fotovoltaica são o principal obstáculo para inserção em larga escala da microgeração solar na rede de distribuição de baixa tensão. Conectar os micros geradores no sistema de distribuição, acarreta uma diminuição do carregamento dos circuitos da rede, porém, quando inseridos em larga escala, modificam as características naturais da rede tornando-a exportadora de energia e exigindo um maior controle da tensão, além de resultar um aumento das correntes de curto circuito, reduzindo a vida útil e aumentando os custos com os equipamentos de proteção. (TOMALSQUIM, 2016).

Quando o sistema fotovoltaico é conectado à rede elétrica, a corrente contínua produzida pelos módulos deve ser convertida em corrente alternada por inversores. Além deste equipamento, usinas fotovoltaicas contêm módulos fotovoltaicos, conectores, cabos, estruturas e componentes elétricos.

A instalação e manutenção destes sistemas é considerada simples. O tipo de instalação determina o tipo de resfriamento dos módulos impactando na eficiência do sistema (GIZ; SENAI, 2018). A vida útil dos módulos é aproximadamente de 25 anos enquanto a dos inversores fica entre 5 a 10 anos, os quais devem ser trocados ao longo da vida útil do sistema a fim de manter o rendimento próximo as condições ideais. (PINHO; GALDINO, 2014).

Em relação à geração de energia fotovoltaica destaca-se o uso e ocupação do solo. Devido à baixa densidade energética dos módulos, são necessárias grandes áreas para alcançar uma geração significativa.

2.6 Tecnologia dos Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes

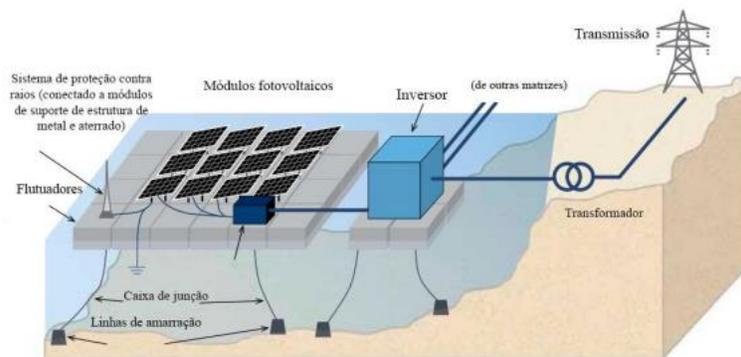
Ainda com um número tímido de projetos em operação ao redor do mundo, os módulos fotovoltaicos flutuantes fazem parte de um novo conceito relacionado a aplicação de geração solar. A instalação desses sistemas pode ser feita em reservatórios, lagos, lagoas, barragens, canais, oceanos, entre outros, o que acaba por evitar a implantação desses módulos em terra que poderia ser aproveitável para outros fins.

A primeira usina flutuante fotovoltaica de grande potência instalada foi implantada no ano de 2007 sobre uma barragem utilizada para irrigação de uma fazenda, em uma vinícola na região de Napa Valley nos Estados Unidos. A usina surgiu para abastecer toda a demanda de eletricidade da vinícola sem que fosse utilizado grande espaço de terra cultivável. Atualmente, o sistema é constituído de 1.000 módulos flutuantes que totalizam uma potência instalada de 175 kW (STRANGUETO, 2016; PRINSLOO, LOMBARD, 2015).

Um dado interessante é que desde o primeiro projeto (2007) até 2014, somente 3 usinas flutuantes tinham sido construídas, entretanto, nos três anos seguintes, este número subiu para 70 sistemas ao redor do mundo (MINAMINO, 2016).

De forma geral o arranjo de um sistema fotovoltaico flutuante, mostrado na figura 11, é semelhante ao sistema instalado em terra, de forma que os módulos e os inversores podem ser montados em uma plataforma flutuante. A corrente contínua, gerada pelos módulos é transmitida pelos cabos CC e convertida em corrente alternada pelos inversores, em pequenas plantas flutuantes. O inversor pode ser alocado em terra, desde que esteja a uma curta distância da matriz para evitar grandes custos com cabeamento CC. A plataforma, ancoragem e ancoradouro também compõem estes sistemas (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS,2018).

Figura 11 – Arranjo típico de um sistema fotovoltaico flutuante.



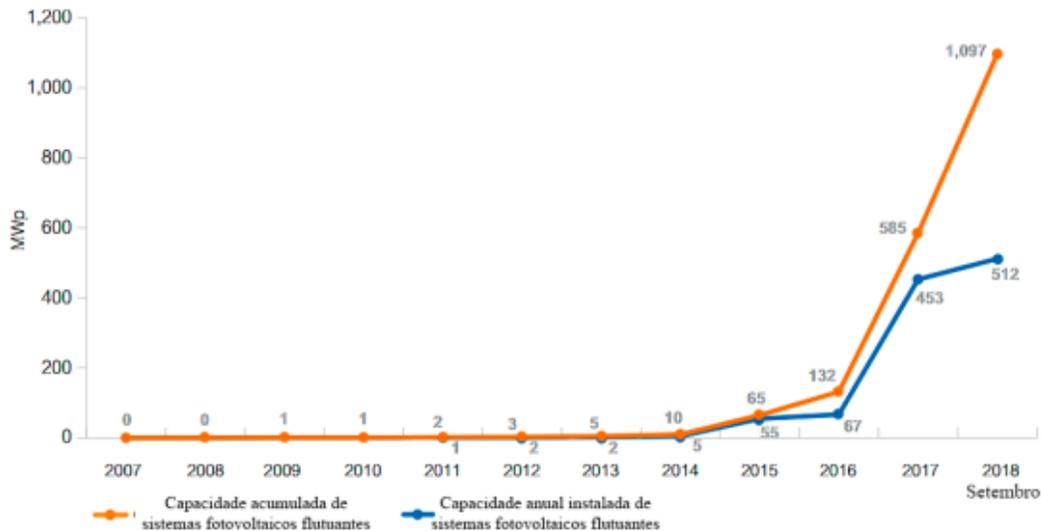
Fonte: Group, Esmap e Seris (2018, com adaptações).

Os módulos são comumente instalados com angulação fixa onde os flutuantes empregados são do tipo puros, pontão ou então combinados com treliças de metal. A determinação da localização da plataforma flutuante depende da viabilidade de instalação do sistema de ancoragem e amarração, sabendo que o projeto se relaciona com alguns fatores como tipo de flutuação, oscilações no nível da água e profundidade do reservatório (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS,2018).

O continente Asiático é que contém a grande maioria destes projetos, porém, a Europa tem crescido com projetos investidos nessa área, que são incentivados pelos benefícios socioeconômicos e ambientais (MESBAHI, 2018). Em 2018, a capacidade instalada acumulada por sistemas flutuantes, alcançou a marca de 1,1 GWp, sendo este mesmo número atingido pelos sistemas fotovoltaicos terrestres em 2000 (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS,2018). Cerca 3 décadas depois da primeira instalação solar residencial

(RICHARDSON, 2018). O gráfico da figura 12 apresenta a capacidade global instalada nessa modalidade.

Figura 12 – Capacidade Instalada de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes no mundo



Fonte: Seris (2018, com adaptações).

A figura 12 demonstra que os sistemas fotovoltaicos flutuantes possuem potencial para expandir-se com a mesma proporção que os sistemas fotovoltaicos terrestres, na medida que o custo da implantação desses sistemas venha a diminuir (GROUP; ESMAP; SERIS,2018).

2.6.1 Vantagens e desafios de sistemas flutuantes

Podemos citar algumas vantagens das Usinas fotovoltaicas flutuantes quando comparadas as usinas fotovoltaicas convencionais instaladas em solo. A seguir, são organizadas em tópicos algumas dessas vantagens:

- Mais eficiente no processo de geração das UFVFs em relação às plantas convencionais devido ao efeito de resfriamento dos módulos pela proximidade com a água;
- Reduzem a evaporação da água do reservatório;
- Diminuem a disputa com outras atividades por terra (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016);

- Evitam o crescimento de algas devido ao sombreamento que causam na água (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016);
- Não necessita de preparação do solo como a limpeza do terreno (CAZZANIGA et al., 2017);

Dentre as vantagens citadas acima, destaca-se o fato de que esse tipo de instalação não compete área de terra que pode ser usada para cultivo, construções, agricultura, dentre outras (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

O fato de os sistemas flutuantes ainda serem recentes faz com que ainda sejam necessários desenvolvimentos no setor. Portanto, há aspectos negativos neste tipo de instalação para serem sanados. Pode-se citar as seguintes ressalvas:

- A proximidade dos módulos com a água exige que os mesmos suportem elevados níveis de umidade (FERRER–GISBERT et al., 2013);
- Projetar a estrutura para que se mantenha flutuando e seja resistente é considerado o grande desafio a ser superado na implantação de UFVFs. Os flutuadores devem ser capazes de suportar condições ambientais adversas (SAHU; YADAV E SUDHAKAR, 2016).
- Necessidade de envolvimento de organizações públicas no planejamento em estágios iniciais, a fim de garantir cumprimento da legislação ambiental e aceitação pública. (TSOUTSOS; FRANTZESKAKI; GEKAS, 2005).
- Quando comparados a instalações em terra ou telhados, possuem um maior custo com investimento inicial e manutenção (SAHU; YADAV E SUDHAKAR, 2016);
- Uma infraestrutura adequada deve ser construída para o transporte de energia à terra de maneira segura (SAHU; YADAV E SUDHAKAR, 2016);
- A instalação não pode ser feita em locais, como oceanos, que devido às marés causariam constantemente alteração da posição dos módulos (KUMAR; SHRIVASTAVA; UNTAWALE, 2015).
- Pode haver perda de eficiência e diminuição da vida útil dos módulos devido a fissuras/microfissuras causadas por vibrações.

2.6.2 Descrição dos componentes e características técnicas de UFVFs

Basicamente, uma UFVF é constituída por uma estrutura de flutuadores, um sistema de ancoragem, sistema de geração com módulos fotovoltaicos e inversores, além de uma estrutura de cabeamento para transportar a energia/corrente gerada para a subestação em terra (CHOI, 2014).

Como foi resumido por Lopes (2020), os componentes podem ser divididos da seguinte forma, junto com suas respectivas descrições:

- A plataforma flutuante (também chamada de píer) permite que o sistema de geração flutue e fique estável sobre a lâmina d'água. Os 27 flutuantes possuem resistência à tração, a UV e à corrosão, além de não necessitarem de manutenção.
- A estrutura de suporte de painel fotovoltaico: precisa ter a capacidade de suportar o peso dos módulos e disseminar as forças produzidas pelo vento entre os píeres e daí para o sistema de ancoragem no perímetro.
- As cordas ou cabos náuticos de poliéster e nylon são usados para amarrar a estrutura de módulos pela parte mais externa às bordas ou ao fundo do reservatório.
- O sistema de ancoragem rígida, tem a função de ancorar a plataforma flutuante distribuindo de forma horizontal as forças para as bordas ou para o fundo do reservatório.

Sobre as características contidas na constituição de uma UFVF, destaca a necessidade das seis características descritas a seguir (ROSA-CLOT; TINA, 2018):

- Segurança: O sistema deve ter proteções contra choques elétricos que permita aos operadores de manutenção circular pela planta;
- Simplicidade: os flutuadores precisam ser independentes de guindastes e equipamentos complexos para a sua movimentação.
- Flexibilidade: A estrutura precisa ser projetada para conter sistemas de resfriamento, rastreamento e se necessário, espelhos refletores;
- Modularidade: os componentes flutuantes, geradores e elétricos devem ser modulares e permitir o acoplamento em terra próximo ao corpo d'água;

- Robustez: Projetos instalados em grandes reservatórios, precisam ser capazes de resistir ao impacto das ondas e cargas de vento;
- Tamanho ideal: os flutuadores devem ter dimensões que otimizem o seu transporte e a montagem na água.

2.7 Os impactos na eficiência energética do processo de geração de eletricidade em UFVFs

Devido ao fato de serem instaladas sobre uma massa de água, as UFVFs realizam maior troca de calor em comparação com as usinas fotovoltaicas sobre o solo ou telhados, o que ocasiona em uma diminuição da temperatura operacional dos módulos e, conseqüentemente, aumenta a eficiência geral do processo de geração de energia no sistema.

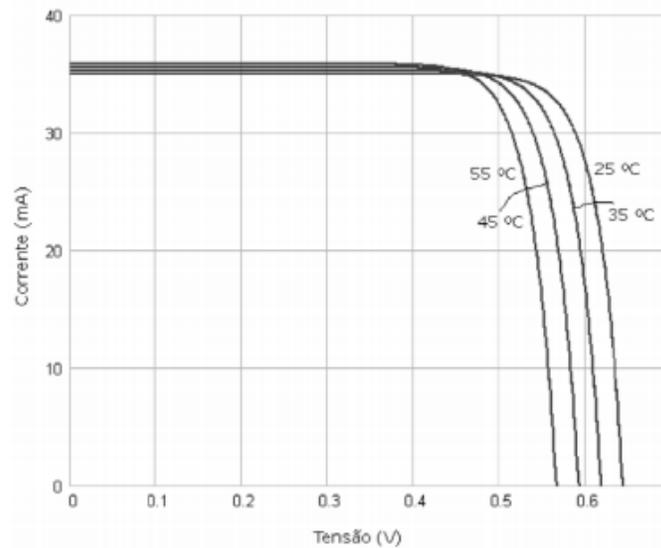
É sabido que a temperatura é uma variável que possui uma influência direta no desempenho de geração elétrica dos módulos fotovoltaicos. Com o aumento da temperatura, ocorre a redução da tensão e, conseqüentemente, a potência gerada diminui. Isso ocorre porque o resultado da potência elétrica é uma proporção da tensão e da corrente, portanto, uma tensão menor implica em uma menor geração de energia. A eficiência dos módulos em função da temperatura de operação é fornecida pela literatura e pode ser dada pela Equação 1 (KIMBER, et al,2007):

$$\eta = \left(\frac{E_p}{A_m \times G_p} \right) \times [1 + \beta(T_o - T_m)] \quad (1)$$

Em que η é o rendimento em relação à temperatura, E_p é a energia produzida pelo sistema em corrente alternada em kWh; A_m é a área total dos módulos fotovoltaicos; G_p é a insolação global no plano inclinado (kWh/m²); T_o é temperatura de referência de teste (STC), em °C; T_m é a média de temperatura no módulo em °C; e β coeficiente de potência em relação à temperatura (%).

A figura 13 expõe, através do gráfico, a influência da temperatura ambiente na tensão gerada pelo módulo.

Figura 13 – Influência da Temperatura ambiente na tensão do módulo



Fonte: Honsberg e Bowden, (1999, com adaptações).

Com base nessa relação entre a temperatura ambiente e a potência gerada pelo sistema fotovoltaico, diversos estudos foram feitos com o objetivo de observar o aumento da eficiência de UFVF quando comparadas a usinas fotovoltaicas em solo (UFVS). Yadav et al. (2017) mostraram em seu estudo que houve um acréscimo de 2,2% na potência de saída do sistema fotovoltaico flutuante em comparação com o sistema fotovoltaico sobre a terra para medições realizadas durante um mês, em Bhopal na Índia (YADAV; GUPTA; SUDHAKAR, 2016a).

Em Grech et al., 2016, foi feita uma análise experimental em um sistema flutuante localizado no Mar de Malta, em que foram feitas medições durante um mês. O resultado das medições mostrou que a produção elétrica média de dois módulos fotovoltaicos instalados no mar foi 11% maior do que o da UFVS (GRECH et al., 2016).

No trabalho realizado por Choi et al. (2013), foram feitas comparações de dados de UFVS e UFVF que operam em condições parecidas na Coreia do Sul. Como resultado, constataram um aumento de 11% na eficiência do sistema fotovoltaico flutuante em relação ao sistema instalado em solo com inclinação fixa (CHOI; LEE; KIM, 2013).

Já a pesquisa realizada na China que comparou a eficiência de sistemas fotovoltaicos sobre o solo e sistemas flutuantes mostrou que a diferença de temperatura de

operação de 3,5 °C, proporcionou um incremento de 1,58% de eficiência de geração elétrica do sistema flutuante sobre o terrestre (LIU, et al., 2017).

Por fim, Azmi et al. (2013), testaram e compararam a eficiência de painéis fotovoltaicos instalados sobre o solo e outros em estruturas flutuantes. O resultado indicou também uma relação entre a intensidade da radiação solar e a eficiência na geração. De acordo com o experimento, há o incremento de eficiência do sistema solar flutuante em relação ao sistema convencional sobre o solo de 3,79%, 2,82% e 14,58% para as radiações de 417Wm^{-2} , 667Wm^{-2} e 834Wm^{-2} , respectivamente (AZMI et al., 2013).

3. MÉTODOS DE AVALIAÇÕES ECONÔMICAS DE INVESTIMENTOS

Neste tópico serão abordados os conceitos teóricos e os principais métodos que são utilizados para análise dos mais diversos tipos de investimentos. Os métodos clássicos utilizados para classificação de projetos de investimento são:

- Valor Presente Líquido (VPL);
- Índice de Lucratividade (IL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- *Payback* Simples e Descontado.

3.1 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido, reconhecido pela sigla VPL, é considerado um dos principais métodos de avaliação de investimentos por se tratar de um método que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, além do volume de investimento em valores absolutos.

Para Puccini (2000, p. 134), “O Valor Presente Líquido de um fluxo de caixa é igual ao valor presente de suas parcelas futuras (que são descontadas a uma determinada taxa de desconto), somado algebricamente com a grandeza colocada no ponto zero”. Em que essa grandeza colocada no ponto zero, nada mais é do que o investimento inicial.

Segundo Assaf Neto (2005, p319), “A medida do Valor Presente Líquido é obtida pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, previstos para cada período no horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento”. Este método também é conhecido como NPV que significa – Net Present Value.

Já Gitman (2001, p.302) define o método como sendo:

“uma técnica de orçamento de capital sofisticada, encontrada ao se subtrair o investimento inicial de um projeto de valor presente de seus fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo de capital da empresa”.

Portanto, segundo Lopes (2020), o VPL pode ser calculado através da seguinte expressão matemática:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (2)$$

Onde,

VPL = Valor presente líquido

FCt = fluxo de caixa no t-ésimo período

FC_0 = Investimento inicial

r = custo do capital

Para critério de decisão ao utilizar o método do VPL, se o valor encontrado for maior que zero, o investimento é considerável viável e pode ser executado, caso contrário, o projeto deve ser rejeitado pelo investidor.

3.2 Método do Índice de Lucratividade (IL)

O método do Índice de Lucratividade (IL) consiste em certificar o valor do VPL comparado ao montante investido no projeto, ou seja, definir o “valor presente líquido por unidade de investimento”. Desta forma, o IL objetiva solucionar a deficiência do VPL em projetos com investimentos diferentes, mas com prazos equivalentes.

Em outras palavras, o IL indica quanto o projeto oferece de reembolso para cada unidade monetária investida. De acordo com Lopes (2020), o seu valor pode ser determinado a partir da expressão:

$$IL = \frac{PV \text{ dos benefícios líquidos de caixa}}{PV \text{ dos desembolsos de caixa}} \quad (3)$$

Portanto, se o valor for maior que zero o investimento deve ser feito. Caso o valor seja igual a zero, significa que existe remuneração para o investidor, porém, com uma baixa taxa de atratividade. Por fim, se o IL for menor do que zero o projeto deve ser rejeitado.

3.3 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Hoji (2006), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de juros implícita numa série de pagamentos e recebimentos, que desconta um valor futuro ou aplica

o fator de juros sobre um valor presente, dependendo de cada situação, para trazer ou levar cada valor do fluxo de caixa para uma data focal.

Na maioria das vezes, a data de início da operação – momento zero – é adotada como sendo a data focal de comparação dos fluxos de caixa (NETO, 2006). Logo, para se anularem, o somatório das saídas deve ser igual à soma das entradas, em valor da data focal (HOJI, 2006).

Segundo Neto (2006), normalmente, o fluxo de caixa no momento zero (fluxo de caixa inicial) é representado pelo valor do investimento, ou empréstimo ou financiamento; os demais fluxos de caixa indicam os valores das receitas ou prestações devidas.

Novamente Hoji (2006), traz o conceito de que a TIR é utilizada para calcular a taxa de “i” quando existem diversos pagamento e recebimentos, ou em casos que as parcelas de pagamento ou recebimentos não são uniformes.

Já Gitman (2010, p.371) traz a seguinte definição sobre a taxa interna de retorno:

[...] a mais usada das técnicas sofisticadas de orçamento de capital, embora seja consideravelmente mais difícil de calcular à mão do que o VPL. A taxa interna de retorno (TIR) consiste na taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento seja igual a \$0. É a taxa de retorno anual composta que a empresa obterá, se investir no projeto e receber entradas de caixas previstas. Matematicamente, a TIR é o valor de r na equação 5 que faz com que o VPL seja igual a zero.

O método da TIR pode ser utilizado resolvendo a seguinte equação (LOPES,2020):

$$FC_o = \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+TIR)^t} \quad (4)$$

Onde,

FC_o = Investimento inicial

FCt = fluxo de caixa no t-ésimo período

TIR = Valor da taxa interna

Desta forma, o critério utilizado para decidir se deve ou não fazer o investimento é avaliar o valor da TIR. Se TIR for maior que o Custo de Capital, o investimento deve ser feito, caso contrário, o projeto deve ser rejeitado. Desta forma, estes métodos garantem que os investimentos sejam remunerados, pelo menos, em uma taxa mínima de atratividade.

Quanto à utilização da TIR para avaliações de investimento, Lapponi (2007) destaca algumas vantagens: a) a TIR considera o fluxo de caixa completo do projeto e o valor do capital no tempo; b) informa se o projeto cria ou destrói valor; c) é uma taxa de juro, uma medida relativa, em vez de uma medida absoluta, como VPL.

Kassai (2005, p.70) salienta que alguns cuidados devem ser tomados quanto a interpretação da TIR:

1. No cálculo da TIR de um investimento há o pressuposto de que todos os valores caminham no tempo pela própria TIR, ou seja, os fluxos de caixa negativos ou investimentos seriam financiados pela TIR e os fluxos de caixa positivos ou lucros também seriam reinvestidos pela TIR. Neste caso, quando a TIR apurada é muito diferente das taxas de mercado, sua interpretação não é verdadeira;
2. Quando um projeto é representado por um fluxo de caixa não convencional, ou seja, em que há várias inversões de sinais entre fluxos de caixa positivos e negativos, as seguintes situações podem ocorrer: pode apresentar uma ou mais TIR positivas e/ou negativas. O projeto pode ter, simultaneamente, taxas positivas e negativas; pode apresentar uma única TIR, igual a um projeto classificado como convencional; ou ainda, inexistir solução.

3.4 Método do *payback* descontado

Utiliza-se o método do *payback* descontado para se determinar o tempo de recuperação do investimento, ou seja, a quantidade de períodos necessários para que o projeto renda capital suficiente para pagar sua implantação.

Segundo Bruni (2008), a principal vantagem em utilizar o *payback* descontado é porque trata-se de uma técnica capaz de considerar o valor do dinheiro no tempo, enquanto que sua principal desvantagem é o fato de não considerar todos os fluxos de caixa do projeto e não mede a rentabilidade do investimento. O *payback* descontado pode ser calculado através da seguinte equação:

$$VP = \frac{VF}{(1+K)^n} \quad (5)$$

Em que,

- VP = investimento inicial;
- VF = fluxo de caixa no t-ésimo período;
- K = custo do capital.
- n = número de períodos

Através da equação 5 é possível determinar o momento em que o investimento é retornado ao investidor.

4. DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA USINA

Neste capítulo foi mostrado e descrito o local de instalação da usina flutuante, assim como o processo de dimensionamento do sistema fotovoltaico. Foi dimensionado quantidade/potência dos módulos, inversores, cabeamento e subestação. Por fim, será feito o levantamento de custos, receitas e um estudo de viabilidade econômica da implantação da usina.

4.1 Sítio de instalação

A usina será instalada no açude que se encontra na Fazenda Experimental Piroás(FEP), que pertence a UNILAB. Segundo o relatório anual da FEP (2019), a fazenda foi adquirida em 08 de agosto de 2012. Localiza-se à 17 km do Campus da Liberdade, na localidade de Piroás, distrito de Barra Nova.

Dentre os principais objetivos da FEP, destaca-se o de proporcionar a realização das aulas de Práticas Agrícolas (PA) II e III, disciplinas inseridas no Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Agronomia na qual permite o contato/vivência dos discentes do curso de Agronomia com o meio rural para aprendizagem “in loco”. Outros objetivos, de igual relevância são: desenvolvimento de projetos e pesquisas científicas; capacitações/treinamentos e exercer a extensão rural localmente, aproximando a assistência técnica à comunidade e lhes permitindo a aplicação de técnicas rurais para um bom desenvolvimento econômico-social.

Os dados de localização e a área da fazenda onde se encontra o reservatório que foi escolhido para a instalação do projeto abordado neste estudo, podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1 – Localização e área da Fazenda Experimental Piroás

ENDEREÇO	PV Piroás, s/n - Zona Rural – Redenção - CE
LATITUDE	4° 9'19.39''S
LONGITUDE	38° 47'41.48''O
ÁREA	28,2 Ha

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Já o reservatório, trata-se do açude que se encontra na Fazenda. A tabela 2 traz alguns dados de localização e área do açude. O mapa de localização está no Apêndice I.

Tabela 2 – Localização do Reservatório para Implantação da Usina Flutuante

ENDEREÇO	PV Piroás, s/n - Zona Rural – Redenção - CE
LATITUDE	4° 9'20.67"S
LONGITUDE	38°47'34.32"O
ÁREA	12735,74m ²

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na figura 14 pode ser visto uma imagem do reservatório retirado do Google Earth.

Figura 14 – Açude da Fazenda Experimental Piroás



Fonte: Google Earth (2021, com adaptações).

Com base na imagem retirada do Google Earth, usou-se o Software AutoCad para o cálculo da área do reservatório, tendo como resultados aproximadamente 12735,74m². Os critérios utilizados para a escolha do sítio de instalação da usina solar flutuante foram:

- Ausência de um sistema flutuante no local;

- Área suficiente para instalação da Potência necessária;
- Possibilidade de utilizar uma área da fazenda para geração de energia sem competir com área de terra fértil para outros fins;
- Reservatório com relativa facilidade de acesso para os alunos estudarem a usina;
- Reservatório localizado em uma região com alto índice de radiação solar;
- Reservatório localizado em região do semiárido cearense.

4.2 Dimensionamento da quantidade de módulos

Para determinar a potência necessária para abater ao máximo a conta de energia da fazenda e do campus da Liberdade foi necessário analisar a fatura da conta de energia de 2019 dos dois locais. Foi escolhida as faturas de 2019 por se tratar de um ano com valores de consumo semelhantes aos anos sem pandemia. Feito isto, o processo de dimensionamento da potência dos módulos segue as seguintes etapas:

- I. Identificar nas faturas o consumo médio mensal (kWh/mês) de ambos os locais;
- II. Identificar nas faturas a taxa mínima de manutenção de ambos os locais;
- III. Obter os dados de irradiação (kWh/m²) no local de instalação da usina;
- IV. Identificar a eficiência do módulo;
- V. Definir a potência unitária do módulo fotovoltaico;
- VI. Colocar esses dados na planilha de dimensionamento;
- VII. Somar o resultado do dimensionamento dos dois locais.

A figura a seguir, mostra um corte do trecho da fatura de 2019 que interessa para obtenção da informação do consumo médio da fazenda. Na figura pode ser visto o histórico de consumo dos últimos 12 meses da fazenda entre os meses de julho de 2018 e junho de 2019, assim como a média de consumo mensal.

Figura 15 – Trecho da fatura da fazenda que mostra o consumo médio de energia elétrica de 2019



Fonte: Fatura de energia fornecida pela UNILAB (2019, com adaptações).

Avaliando a fatura da conta de energia elétrica da fazenda foi possível observar que o consumo médio mensal é de 1317 kWh/mês. Na fatura também foi observado que o tipo de ligação no local é trifásico, logo, a taxa mínima de manutenção a ser considerada é de 100 kWh/mês.

Para sabermos os índices das taxas de irradiação do local da usina, fez-se uso dos dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). Entrando no site, informamos os valores de coordenadas do açude, em seguida a plataforma nos mostrou os índices de irradiação média do local como sendo aproximadamente 5,5 kWh/m².

Em seguida, para ter a eficiência de operação do módulo primeiro foi escolhida a marca do módulo e sua potência unitária. Após ser escolhido o módulo de 445W da Risen, viu-se em seu datasheet que sua potência média relativa é de 98%. O datasheet do módulo se encontra no apêndice deste trabalho.

Feito isto, preenchemos a planilha de dimensionamento com todas as informações que foram citadas acima, e como pode ser visto na figura 16 serão necessários 17 módulos de 445W para uma geração total de 7,565 kWp que é a necessária para suprir a demanda energética da fazenda.

A planilha de dimensionamento utilizada calcula o Número de Painéis e Geração Total (kWp) através das equações 6, 7 e 8. A equações e descrição de cada variável são mostradas a seguir.

$$Cmd = \frac{Cmm - Tmin}{30} \quad (6)$$

$$Np = \frac{\frac{100 \times Cmd}{I}}{\frac{\eta \times Pp}{100}} \quad (7)$$

$$Pinst = Np \times Pp \quad (8)$$

Onde,

- Np = Número de painéis;
- Cmm = Consumo médio mensal (kWh/mês);
- Cmd = Consumo médio diário (kWh/dia);
- $Tmin$ = Taxa de manutenção concessionária (kWh/mês);
- η = Eficiência do módulo fotovoltaico;
- Pp = Potência do módulo fotovoltaico (W);
- $Pinst$ = Potência instalada (kWp).
- I = Irradiação

Figura 16 – Resultados obtidos para fazenda com a planilha de dimensionamento.

DIMENSIONAMENTO POR CONSUMO HISTÓRICO	
Premissas de Projeto	
Consumo Médio Mensal (kWh/mês)	1317
Taxa de Manutenção Concessionaria (kwh)	100
Irradiação (kwh/m2)	5,5
Rendimento Painéis (%)	98
Potência dos Painéis (W)	445
Sistema Fotovoltaico Dimensionado	
Consumo Médio Diário (kWh)	40,56666667
Demanda prevista (kW)	7,376
Numero de Painéis	17
Geração Total (kWp)	7,565

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Da mesma forma que foi feito o dimensionamento para a fazenda, também foi feito para chegar na potência necessária para conter os gastos com consumo no campus da Liberdade. Na avaliação da fatura de energia do Liberdade, é necessário atentar para o fato de que se trata de um consumidor do grupo A, portanto, neste caso é pago um valor fixo de demanda contratada mais os valores variáveis com base no consumo em hora ponta e fora ponta. Desta forma, vamos nos atentar apenas para o consumo em hora ponta e fora ponta, pois é a parte da fatura que pode ser abatida através do sistema compensação de créditos obtidos com a geração da usina. A figura 17 mostra o trecho onde pode ser visto o consumo em hora ponta e fora ponta do Campus da Liberdade.

Figura 17 – Trecho da fatura de 2019 do campus que mostra o consumo de energia em hora ponta e fora ponta

HISTÓRICO DE CONSUMO (ÚLTIMOS 13 MESES)				
PERÍODO (MÊS/ANO)	DEMANDA (kW)		CONSUMO (kW)	
	HORA PONTA	FORA PONTA	HORA PONTA	F ORA PONTA
JAN 2019	87.00	163.00	2624.00	28834.00
DEZ 2018	107.00	184.00	4524.00	40304.00
NOV 2018	100.29	190.51	4047.00	40828.00
OUT 2018	100.30	183.79	4859.00	42522.00
SET 2018	112.22	194.38	4933.00	41070.00
AGO 2018	96.94	181.10	5136.00	44843.00
JUL 2018	95.93	171.53	3654.00	32597.00
JUN 2018	101.64	168.34	3853.00	36295.00
MAI 2018	99.79	174.72	4545.00	40728.00
ABR 2018	118.44	192.86	4342.00	38699.00
MAR 2018	130.37	207.48	5702.00	43564.00
FEV 2018	112.05	186.82	3951.00	35460.00
JAN 2018	79.32	151.37	3899.00	42446.00

Fonte: Fatura de energia fornecida pela UNILAB (2019, com adaptações).

Depois do cálculo da média do consumo mensal utilizando a equação 9 a partir fatura, obteve-se que a média é 43404 kWh/mês. Os demais valores serão os mesmos definidos para dimensionamento da fazenda. O resultado pode ser visto na Figura 18.

$$C_{mm} = \frac{(Chp+Cfp)1+\dots+(Chp+Cfp)12}{12} \quad (9)$$

Na equação 9 o denominador é a soma de consumo mensal em hora ponta e fora ponta de todos os últimos 12 meses presentes na fatura de energia. Conforme o resultado

obtido com a planilha de dimensionamento, é possível ver que será necessária uma quantidade de módulos e uma geração total muito maior quando comparado com o que será necessário para abater as contas de energia da fazenda. Para o Campus serão necessários 602 módulos de 445W para uma geração total de 267,89 kWp que é a necessária para abater a conta de energia referente ao consumo mensal do campus.

Por fim, para chegarmos ao resultado final devemos somar a quantidade de módulos obtidas no dimensionamento da fazenda e do campus. Portanto, serão necessários um total de 619 módulos fotovoltaicos, que juntos serão responsáveis por uma geração total de 275,455 kWp, e está é a geração total necessária para livrar a universidade dos custos mensais com consumo de energia no campus da liberdade e na fazenda.

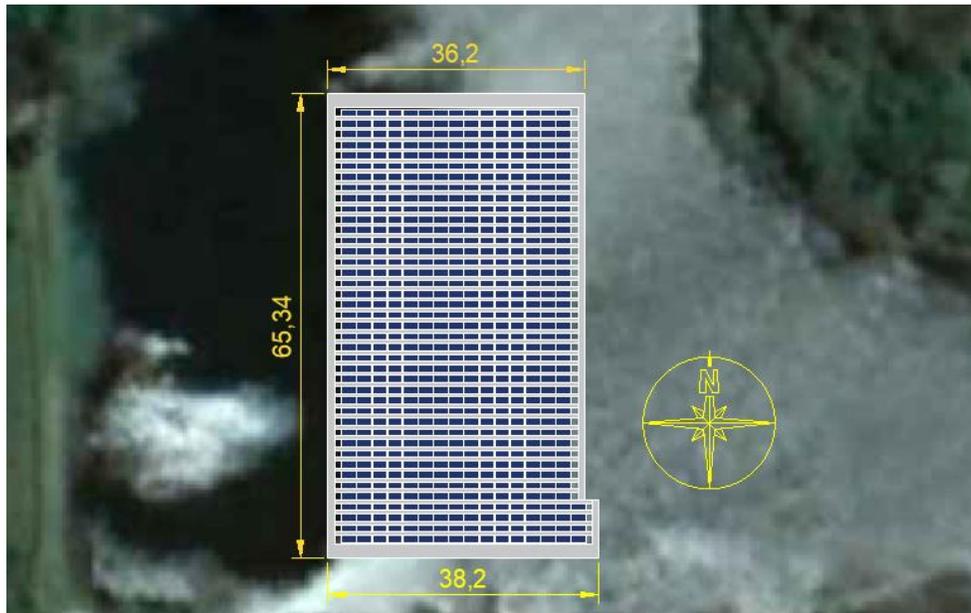
Figura 18 – Resultados obtidos para o campus com a planilha

DIMENSIONAMENTO POR CONSUMO HISTÓRICO - (consultar Fatura	
Premissas de Projeto	
Consumo Médio Mensal (kWh/mês)	43404,5
Taxa de Manutenção Concessionaria (kwh)	100
Irradiação (kwh/m2)	5,5
Rendimento Painéis (%)	98
Potência dos Painéis (W)	445
Sistema Fotovoltaico Dimensionado	
Consumo Médio Diário (kWh)	1443,483333
Demanda prevista (kW)	262,452
Numero de Painéis	602
Geração Total (kWp)	267,89

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Após o dimensionamento foi possível descobrir a quantidade a potência nominal necessária em módulos, e conseqüentemente, determinou-se o total de painéis. De posse de tal informações, foi possível projetar/desenhar no AutoCad o layout da configuração dos módulos da usina sobre o açude. O resultado obtido pode ser visualizado na figura 19.

Figura 19 - Layout da configuração dos módulos



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

4.3 Dimensionamento dos inversores e subestação

Para converter a energia em corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada, é necessário utilizar os inversores fotovoltaicos, portanto, também faz parte do dimensionamento de um sistema fotovoltaico dimensionar a quantidade e potência deste dispositivo elétrico.

Uma vez obtida a potência total de geração dos módulos é possível determinar a potência em inversores necessária para o projeto. Considerando a potência de 275,455 kWp e um fator de sobrecarga de 1,3 dos inversores, chegou-se à conclusão em utilizar 4 inversores de 60 kWp, da marca Huawei, que juntos totalizam uma potência instalada CA de 240 kWp.

Sabendo que a potência instalada da usina é superior a 75kW, vemos que será necessária uma subestação própria para fazer a conexão da energia gerada pelo sistema fotovoltaico e a rede elétrica da concessionária. Como a potência CA total (dos inversores) é 240 kWp, a subestação escolhida deve ser escolhida dentre as opções do mercado a subestação com potência imediatamente superior. Portanto, será necessária uma subestação de 300 kVA para fazer a conexão da usina com a rede elétrica.

A tabela 3 ilustra o resumo da quantidade e potência dos inversores e da subestação que foram obtidos após o dimensionamento de ambos.

Tabela 3 – Quantidade e potência dos inversores e subestação obtidos após seus respectivos dimensionamentos

ITEM	MARCA	POTÊNCIA UNIT.	UNIDADES	POTÊNCIA TOTAL
Inversores	HUAWEI	60 kWp	4	240 kWp
Subestação	-	300 kVA	1	300 kVA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

4.4 Configuração das *strings* dos inversores

Uma parte muito relevante do projeto de um sistema fotovoltaico é determinar os arranjos dos módulos que serão conectados às *strings* dos inversores. Para o correto dimensionamento das *strings* devem ser levados em consideração alguns aspectos:

- Tensão máxima de saída dos módulos fotovoltaicos (Tensão de circuito aberto);
- Tensão de entrada máxima e mínima do inversor por *Maximum Power Point Tracker* (MPPT);
- As *strings* de um mesmo MPPT precisam ter a mesma quantidade de módulos e os módulos precisam ter a mesma orientação;

Estes aspectos são importantes para determinar a quantidade máxima de módulos por *string* afim de que não haja problemas de sobrecarga ao inversor, assim como determinar a tensão mínima (Start) necessária para o inversor operar. A quantidade de módulos por *string* de uma mesma MPPT precisam ser iguais e as inclinações precisam ser a mesma, para evitar que uma *string* gere menos energia do que a outra, o que implicaria a MPPT limitar a geração à menor potência entre os 2 arranjos.

Desta forma, analisando os *datasheets* dos inversores e dos módulos (Anexos II e III) que serão utilizados, viu-se que a tensão de circuito aberto (V_{co}) do módulo é de 52,72V, enquanto que a tensão máxima de entrada por MPPT do inversor é de 1100V. Desse

modo a divisão dos módulos por *Strings* em cada um dos inversores foi feita conforme mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Divisão da quantidade de módulos por *String* em cada inversor

MPPTS	STRINGS	QUANT. DE MÓDULOS NO INVERSOR 1	QUANT. DE MÓDULOS NO INVERSOR 2	QUANT. DE MÓDULOS NO INVERSOR 3	QUANT. DE MÓDULOS NO INVERSOR 4	TOTAL
MPPT 1	STRING 1	15	15	15	16	61
	STRING 2	15	15	15	16	61
MPPT 2	STRING 3	15	15	15	16	61
	STRING 4	15	15	15	16	61
MPPT 3	STRING 5	15	15	15	15	60
	STRING 6	15	15	15	-	45
MPPT 4	STRING 7	15	15	15	-	45
	STRING 8	15	15	15	-	45
MPTT 5	STRING 9	15	15	15	-	45
	STRING 10	15	15	15	-	45
MPTT 6	STRING 11	15	15	15	-	45
	STRING 12	15	15	15	-	45
	TOTAL	180	180	180	79	619

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Sabendo que a conexão entre os módulos para formação dos arranjos fotovoltaicos será feita com os módulos em série, e com base nas divisões que podem ser vistas na tabela acima, na tensão máxima de saída dos painéis (52,72V) e na tensão máxima de entrada dos inversores (1100V), quando somamos a tensão de cada um dos módulos da série, tem-se que para as strings com 16 e 15 módulos a tensão máxima fornecida aos inversores é 843,52V e 790,8V, respectivamente. Ambas as tensões não estão acima do nível suportável pelo o inversor, portanto, não haverá risco de sobrecarga.

4.5 Previsão de custos e despesas

4.5.1 Módulos Fotovoltaicos

Depois de uma pesquisa de mercado, chegou-se à conclusão de que a marca dos módulos seria da Risen, tendo em vista que a mesma atendia os requisitos de bom custo benefício, além de ter uma ótima avaliação no mercado, sendo uma das melhores fabricantes e demonstrando grande qualidade de funcionamento. Após algumas análises viu-se que o valor médio unitário do módulo de 445W da Risen é de R\$ 1.022,07. Devida ao grande volume de módulos que seriam comprados neste projeto, o ideal seria comprar diretamente

da fabricante e negociar uma boa taxa de desconto no preço unitário do módulo, além de evitar o custo devido o lucro do revendedor. Entretanto, como não foi obtido nenhuma resposta das fabricantes até o fim deste trabalho, para efeito de simplificação, será considerado o preço unitário de R\$ 1.022,07.

Desta forma, considerando que o preço do frete dos módulos já está inserido no preço unitário de venda, a tabela a seguir mostra algumas características e o preço total que será investido em módulos para a usina.

Tabela 5 – Características e custo dos módulos Fotovoltaicos

ITEM	MARCA	POTÊNCIA UNIT. (W)	UNIDADES	POTÊNCIA TOTAL (kW)	PREÇO UNIT. (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
Módulos	Risen	445	619	275,455	1.022,07	632.661,33

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Observando a tabela é possível ver que será necessário um considerável investimento de R\$ 632.661,33 para aquisição dos 619 módulos de 445W da Risen. O alto valor já era esperado, tendo em vista que se trata da parte de projetos fotovoltaicos que geralmente requer o maior custo da instalação.

4.5.2 Inversores e subestação

Analisando o preço médio do mercado e fazendo um balanço na relação entre custo e benefício, optou-se pelos inversores da marca huawei que custam cerca de R\$ 32.254,32. Assim como os módulos, foi considerado que o preço do frete também está embutido no valor do inversor.

Após uma pesquisa de mercado, foi possível certificar que o preço atual de subestação de 300 kVA custa entorno de R\$ 75.000,00. A tabela a seguir, mostra algumas características e valor total do investimento necessário para aquisição dos inversores e da subestação que serão utilizados no projeto.

Tabela 6 – Características e custo dos inversores fotovoltaicos e da subestação

ITEM	MARCA	POTÊNCIA UNIT.	UNIDADES	POTÊNCIA TOTAL	PREÇO UNIT. (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
Inversores	HUAWEI	60 kWp	4	240 kWp	32.253,32	129.013,28
Subestação	-	300 kVA	1	300 kVA	75.000,00	75.000,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Com base nos valores apresentados na tabela 6, é possível ver que será necessário investir R\$ 204.013,28 para aquisição dos 4 inversores de 60 kWp e da subestação de 300 kVA. Apesar de se tratar de um montante relevante, é um custo consideravelmente menor do que o necessário para a compra dos módulos fotovoltaicos.

4.5.3 Custo dos Cabos e Estrutura Flutuante

Para levantamento do orçamento de cabeamento e estrutura de fixação dos módulos não se pode levar em consideração os valores que são praticados em sistemas convencionais em solo ou telhados, pois a usina em questão neste trabalho trata-se de um projeto mais complexo e que requer um tipo de estrutura totalmente diferente.

Desta forma, realizou-se uma cotação junto a uma grande empresa do setor que é especialista neste tipo de equipamentos e estruturas. A empresa com a qual se entrou em contato para solicitação de orçamento foi a Fotovoltaica Flutuante Brasil (F2B). Optou-se pela F2B por se tratar de uma empresa brasileira especializada em usinas flutuantes e possuir parcerias com grandes empresas como a Francesa Ciel & Terre International, que é responsável pela fabricação e distribuição dos flutuadores Hydrelío que serão utilizados neste projeto. Quando foi feito o contato com a empresa já era sabido a potência almejada para a usina, portanto, foi feito o pedido de orçamento para uma usina de 275,455kWp com 619 módulos da Risen de 445Wp e 4 inversores da huawei de 60kWp.

A empresa solicitou um checklist de informações necessárias para elaboração do orçamento. O checklist foi enviado e como resposta a empresa disponibilizou uma proposta com o layout e os custos do Wp (R\$/Wp) para os equipamentos que compõem uma usina flutuante. O custo (R\$/Wp) proposto pela F2B (Anexos I) para os equipamentos e instalações

típicas de um sistema flutuante, excluído a mão de obra, módulos e inversores são mostradas na tabela 7.

Tabela 7 – Custo por Wp e Custo total do sistema flutuante, excluído mão de obra, módulos fotovoltaicos e inversores

CLASSIFICAÇÃO	ESTRUTURAÇÃO CAPEX (275,45 kWp)	R\$/Wp	R\$ TOTAL
EPC/F2B	Flutuadores + Sistema de Fixação dos módulos(inclui ICMS/PIS/COFINS)	1,68	R\$ 462.764,40
	Logística e frete (Redenção-CE)	0,35	R\$ 96.409,25
EPC (MO + Serviços)	Instalação Mecânica + elétrica da ilha e Miscelâneas	0,63	R\$ 173.536,65
EPC/F2B ANCORAGEM	Âncoras e Cabos	0,16	R\$ 44.072,80
	Instalação		
	Barras de Difusão (F2B)	0,04	R\$ 11.018,20
EPC EQUIPAMENTOS	Cabos CC + demais equipamentos elétricos	0,26	R\$ 71.618,30
	TOTAL	3,12	R\$ 859.419,60

Fonte: Proposta da F2B (2021, com adaptações).

A partir da tabela é possível ver que se deve considerar uma taxa de R\$ 1,68/Wp, ou seja, um custo total de R\$ 462.764,40 para aquisição dos flutuadores mais o sistema de fixação dos módulos, enquanto que a logística e frete para Redenção possuem uma taxa de R\$ 0,35/Wp, totalizando R\$ 96.409,25 para deslocamento dos equipamentos. Toda a instalação mecânica e elétrica da ilha possui um custo de R\$ 0,63/Wp, ou seja, R\$ 173.536,65. Já a parte de ancoragem que engloba os custos de âncoras, cabos, instalação e barras de difusão custam R\$ 55.091,00, tendo uma taxa de R\$ 0,20/Wp. Por fim, ver-se que o capital necessário para compra dos cabos CC e demais equipamentos elétricos é em torno dos R\$ 71.618,30. Desta forma, o custo total de um sistema flutuante calculado pela F2B, excluindo o que deve ser gasto com módulos, inversores, subestação e mão de obra, é de R\$ 3,12/Wp, totalizando um investimento de R\$ 859.419,60.

4.5.4 Custo Total do Investimento

Como a F2B deixou claro em sua proposta que não consideraram, apenas, os custos com subestação e conexão com a rede elétrica, iremos considerar que os custos com mão de obra, Manutenção e Operação (O&M) estavam embutidos no orçamento proposto.

Desta forma, foi feito um resumo de todos os custos para implementação do projeto, que pode ser visto na tabela 8.

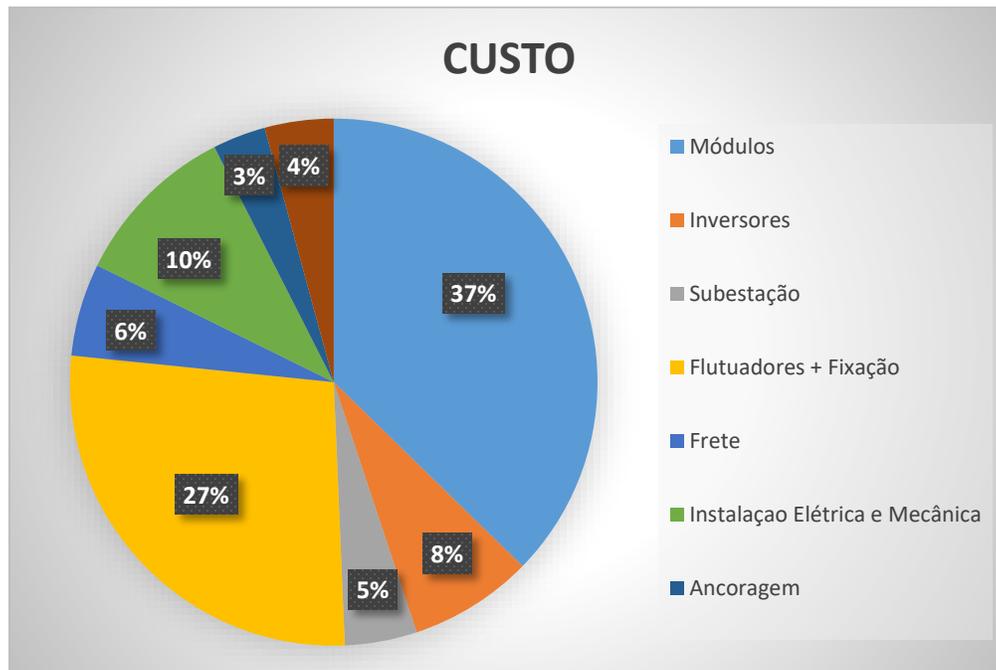
Tabela 8 – Custo Total para Implantação da Usina

ITEM	CUSTO
Módulos	R\$ 632.661,33
Inversores	R\$ 129.013,28
Subestação	R\$ 75.000,00
Flutuadores + Fixação	R\$ 462.764,40
Frete	R\$ 96.409,25
Instalação Elétrica e Mecânica	R\$ 173.536,65
Ancoragem	R\$ 55.091,00
Cabos CC + demais equipamentos	R\$ 71.618,30
TOTAL	R\$ 1.696.094,21

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Portanto, com base nos valores apresentados na tabela 9, vemos que o custo total do investimento seria um montante de R\$ 1.696.094,21. Logo, o custo total do Wp gerado pelo sistema será igual a R\$ 6,16/Wp. Além disso, a partir da tabela foi possível gerar um gráfico no excel que mostra a porcentagem de cada um dos custos em relação ao custo total. O resultado pode ser visto na figura 20.

Figura 20 – Porcentagem de cada um dos custos em relação ao custo total do projeto



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Analisando o gráfico, é possível ver claramente que os custos com módulos e o sistema flutuante representam a maior parte do investimento. Os módulos correspondem a 37%, enquanto que o sistema flutuante mais fixação correspondem a 27%, portanto, a soma dos dois representa 64% de todo o montante necessário para viabilizar a implantação, operação e manutenção do projeto da usina que está sendo avaliado.

Algo interessante a ser comentado em relação ao gráfico, é comparar o percentual do sistema flutuante e fixação dos módulos com o percentual do custo das estruturas de sustentação e fixação dos módulos de usinas em solo ou telhado. Para isso, levaremos em consideração os dados fornecidos pelo Governo dos EUA em seu relatório sobre custos associados a instalação de sistemas fotovoltaicos (CHUNG et al., 2015). De acordo com o relatório, o custo com estrutura de fixação para usinas fotovoltaicas convencionais é igual a U\$ 0,18/W de um total de U\$ 1,64, ou seja, corresponde a aproximadamente 11% do custo total. Por tanto, vemos que em usinas flutuantes essa proporção é quase 2,5 vezes maior, o que justifica o porquê sistemas flutuantes são mais caros do que os convencionais

4.6 Projeção de receitas

Agora que já temos posse do levantamento dos principais custos contidos dentro do projeto que está sendo avaliado neste trabalho, serão feitos cálculos para possibilitar uma projeção das receitas obtidas devida a geração de energia por parte da usina flutuante. A receita da UNILAB que será adquirida com esse projeto não será devida a venda da energia gerada, mas sim, em gerar a própria energia e eliminar uma parte considerável das contas que precisam ser pagas a concessionária. Ou seja, será feito um sistema de compensação pelos créditos gerados com a Enel a partir da energia injetada pela UFVF na rede elétrica.

4.6.1 Geração Anual ao Longo da Vida Útil do Projeto

Para descobrir o valor dessa receita primeiro é preciso determinar a geração anual ao longo da vida útil do projeto, que iremos considerar 25 anos, pois é o tempo que as fabricantes garantem que os módulos funcionem sem danificações que impeçam a geração de energia.

O cálculo que mostrará a geração anual é feito através do produto entre o valor da geração máxima instantânea da usina (kWp), a média da quantidade de horas diárias que a usina irá gerar energia com valores de pico, ou seja, terá geração máxima de energia, sendo essa média de horas diárias exatamente igual ao valor da irradiação que foi apresentada na equação 10, a quantidade de dias no mês (30 dias) e a quantidade de meses no ano (12 meses). A equação a seguir mostra a equação que foi descrita acima para o primeiro ano de geração, quando os módulos estão com sua eficiência de operação intacta.

$$Ga = P_{inst} \times I \times 360 \text{ (kWh)} \quad (10)$$

Portanto, considerando os valores da Potência instalada da usina (275,455 kWp) e quantidade de horas médias diárias (5,5h) em que a usina trabalha em potência de pico, a geração total de energia durante o primeiro ano de operação da usina é 545,4 MWh.

Entretanto, não se pode considerar esse valor como sendo fixo durante os 25 anos de vida útil do projeto, uma vez que devido o processo natural de degradação pelo qual os módulos fotovoltaicos passam durante os anos, a eficiência dos mesmos diminui com o tempo e, conseqüentemente, diminui a geração anual de energia produzida pela usina.

Desta forma, precisamos determinar qual a taxa anual de perdas de eficiência pelas quais os módulos passam ao longo do tempo. Segundo Sampaio e Santos (2016), os módulos fotovoltaicos sofrem com diminuição de sua eficiência e desempenho em suas células fotovoltaicos, ao longo de sua vida útil, com um decaimento médio anual em torno de 0,8% na geração de energia, e ao final de sua vida útil apresenta uma eficiência de 80,8%. Dessa forma, tendo como base a estimativa de geração de energia para o primeiro ano, que foi calculada a cima, calculou-se a geração com depreciação de energia para os demais anos até o 25º ano, usando um decréscimo percentual de 0,8% da energia gerada no ano anterior.

O resultado dos cálculos para geração anual durante toda a vida útil do projeto pode ser visto na tabela 9.

Tabela 9 – Produção anual de energia que será injetada na rede elétrica pela usina fotovoltaica flutuante.

ANO	EFICIÊNCIA ANUAL DOS MÓDULOS	GERAÇÃO ANUAL (MWh)
1	98%	545,40
2	97,2%	541,04
3	96,4%	536,71
4	95,7%	532,41
5	94,9%	528,16
6	94,1%	523,93
7	93,4%	519,74
8	92,6%	515,58
9	91,9%	511,46
10	91,2%	507,36
11	90,4%	503,31
12	89,7%	499,28
13	89,0%	495,29
14	88,3%	491,32
15	87,6%	487,39
16	86,9%	483,49
17	86,2%	479,63
18	85,5%	475,79
19	84,8%	471,98
20	84,1%	468,21
21	83,5%	464,46
22	82,8%	460,74
23	82,1%	457,06
24	81,5%	453,40
25	80,8%	449,77

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Avaliando a tabela 9 podemos perceber claramente a diminuição da geração anual ao longo do tempo devido a diminuição da eficiência dos módulos, de modo que no 25º ano a usina gera em torno de 17,53% a menos do que conseguiu gerar no primeiro ano da usina. Também é possível obter a geração total da usina durante a vida útil do projeto somando a geração dos 25 anos, o que totaliza aproximadamente 12,40 GWh de energia injetada na rede durante este período.

4.6.2 Reajuste anual da tarifa nas faturas da fazenda

O próximo passo em busca das receitas que serão geradas com a usina, é avaliar as tarifas de energia da fatura do Campus da Liberdade e da fazenda, determinar um valor de reajuste anual em cada uma das tarifas e assim obter os resultados dos valores de cada tarifa durante os 25 anos que a usina irá operar.

Primeiro vamos atentar para a conta de energia da fazenda relacionada ao ano de 2021. É verdade que para o dimensionamento do sistema foram utilizadas as faturas de energia de 2019, pois se tratava de um ano sem pandemia e teríamos o histórico de consumo de energia mais próximo do que a universidade irá ter durante os anos de funcionamento da usina, porém, para análise das tarifas é mais conveniente utilizar as contas de energia mais recentes, pois possuem os valores mais recentes do custo do kWh.

A figura a seguir, mostra um print do trecho da conta de energia do mês de fevereiro de 2021, que indica um consumo de 1310 kWh que gera um valor a ser pago de R\$ 1.027,92, portanto, fazendo a relação valor a ser pago pelo consumo (R\$/kWh) chegamos a um valor atual da tarifa de R\$ 0,78467/kWh.

Figura 21 – Consumo (kWh) e tarifa da fatura em fevereiro de 2021

62790-000 Fortaleza - Ca Centro		
VALORES DE FATURAMENTO		
DESCRIÇÃO	TOTAL MEDIDO	VALORES (R\$)
Consumo	1,310	1.027,92

Fonte: Fatura de energia da fazenda (2021, com adaptações).

Assim como a geração anual da usina não é um parâmetro fixo no tempo, as tarifas de energia também não são, tendo em vista que recebem reajustes periodicamente. Portanto, para escolher a taxa de reajuste anual da tarifa de energia que será utilizada nesse trabalho, levaremos em consideração um histórico de reajustes da Enel que foi encontrado em seu site. A figura 22 mostra uma tabela da Enel com o histórico dos últimos 6 reajustes que foram aprovados. A média desse valor servirá como base para estipular o reajuste anual.

Figura 22 – Seis últimos reajustes feitos pela Enel nas tarifas de energia

Resolução Homologatória nº 1.920 de 30/06/2015	Resolução Homologatória nº 2.103 de 28/06/2016	Resolução Homologatória nº 2.263 de 27/06/2017	Resolução Homologatória nº 2.412 de 03/07/2018	Resolução Homologatória nº 2.568 de 02/07/2019	Resolução Homologatória nº 2.719 de 30/06/2020
Revisão Tarifária Periódica 2015	Reajuste Tarifário Anual 2016	Reajuste Tarifário Anual 2017	Reajuste Tarifário Anual 2018	Reajuste Tarifário Anual 2019	Reajuste Tarifário Anual 2020
15,23%	-8,10%	4,48%	15,84%	7,03%	4,23%

Fonte: Portal da Enel (2021, com adaptações).

Observando a figura é possível ver que a média dos últimos 6 anos é de 6,45%, entretanto, este valor é considerado baixo e certamente não demonstra uma boa aproximação da média real, por isso iremos usar um valor 20 % maior, ou seja, o reajuste anual da tarifa considerada para este trabalho será de 7,75%. Este percentual ainda pode ser considerado abaixo do real e conservador, entretanto, é um valor mais próximo da realidade.

De posse dessa informação, gerou-se uma tabela que calcula o valor anual da tarifa com base nesse percentual de reajuste. Basicamente é feito um incremento de 7,75% em relação a tarifa do ano anterior, e assim segue ao longo dos 25 anos. Os resultados são apresentados na tabela 10.

A partir dos valores obtidos através desse método, ver-se que com o reajuste anual de 7,75%, aos finais dos 25 anos a tarifa de energia custará aproximadamente 6 vezes mais do que o seu valor atual.

Tabela 10 – Aumento anual da tarifa usada na fazenda, ao longo dos 25 anos de projeto

ANO	TARIFA COM REAJUSTE DE 7,75% AO ANO (R\$/kWh)
1	0,78467
2	0,84548
3	0,91101
4	0,98161
5	1,05768
6	1,13966
7	1,22798
8	1,32315
9	1,42569
10	1,53618
11	1,65524
12	1,78352
13	1,92174
14	2,07067
15	2,23115
16	2,40407
17	2,59038
18	2,79113
19	3,00745
20	3,24052
21	3,49167
22	3,76227
23	4,05385
24	4,36802
25	4,70654

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

4.6.3 Receitas com o abatimento do consumo de energia na fazenda

Agora que temos as projeções da energia total gerada pela usina, levando em consideração a diminuição na geração devido à perda de eficiência dos módulos, e a projeção do aumento anual das tarifas na fazenda, podemos determinar as receitas obtidas com o abatimento das contas de energia neste local.

Sabendo que para suprir a demanda energética da fazenda são necessários apenas 8,01 kWp, e que a potência total do sistema é de 275,455 kWp, então serão destinados 2,9% da energia gerada pela usina para abater as contas de energia da fazenda. Portanto, fazendo o produto entre 2,9% da energia anual gerada pela usina com a tarifa ajustada, obtemos a receita com a economia de energia na fazenda. A partir deste raciocínio foram feitos os cálculos que geraram os resultados da tabela 11.

Tabela 11 – Receita anual através da economia gerada na conta de energia da fazenda

ANO	EFICIÊNCIA ANUAL DOS MÓDULOS	GERAÇÃO ANUAL DA USINA (MWh)	GERAÇÃO ANUAL P/ FAZENDA (MWh)	TARIFA COM REAJUSTE DE 7,75% AO ANO (R\$/kWh)	RECEITA ANUAL NA FAZENDA (R\$)
1	98%	545,40	15,82	0,78467	R\$ 12.410,81
2	97,2%	541,04	15,69	0,84548	R\$ 13.265,67
3	96,4%	536,71	15,56	0,91101	R\$ 14.179,41
4	95,7%	532,41	15,44	0,98161	R\$ 15.156,09
5	94,9%	528,16	15,32	1,05768	R\$ 16.200,04
6	94,1%	523,93	15,19	1,13966	R\$ 17.315,89
7	93,4%	519,74	15,07	1,22798	R\$ 18.508,61
8	92,6%	515,58	14,95	1,32315	R\$ 19.783,49
9	91,9%	511,46	14,83	1,42569	R\$ 21.146,17
10	91,2%	507,36	14,71	1,53618	R\$ 22.602,72
11	90,4%	503,31	14,60	1,65524	R\$ 24.159,60
12	89,7%	499,28	14,48	1,78352	R\$ 25.823,71
13	89,0%	495,29	14,36	1,92174	R\$ 27.602,45
14	88,3%	491,32	14,25	2,07067	R\$ 29.503,70
15	87,6%	487,39	14,13	2,23115	R\$ 31.535,92
16	86,9%	483,49	14,02	2,40407	R\$ 33.708,11
17	86,2%	479,63	13,91	2,59038	R\$ 36.029,93
18	85,5%	475,79	13,80	2,79113	R\$ 38.511,67
19	84,8%	471,98	13,69	3,00745	R\$ 41.164,35
20	84,1%	468,21	13,58	3,24052	R\$ 43.999,75
21	83,5%	464,46	13,47	3,49167	R\$ 47.030,46
22	82,8%	460,74	13,36	3,76227	R\$ 50.269,92
23	82,1%	457,06	13,25	4,05385	R\$ 53.732,51
24	81,5%	453,40	13,15	4,36802	R\$ 57.433,60
25	80,8%	449,77	13,04	4,70654	R\$ 61.389,63
TOTAL					R\$ 772.464,20

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Avaliando os resultados acima pode-se perceber uma das grandes vantagens da geração autônoma de energia, uma vez que quem gera sua própria energia não precisa se preocupar com o aumento do valor da tarifa, ao contrário, o aumento anual da tarifa melhora a sua receita e conseqüentemente o tempo de retorno do investimento. Ao final dos 25 anos considerados na análise, a economia na conta de energia da fazenda disponibilizará uma receita total de R\$ 772.464,20.

4.6.4 Reajuste anual da tarifa nas faturas do Campus da Liberdade

Da mesma forma como foi feito para obter as receitas obtidas com a economia na conta de energia na Fazenda Experimental Piroás, será feito também para obter as receitas devida a economia na conta de energia do campus da Liberdade. Primeiro será avaliado a fatura de energia do campus. Avaliando a fatura, foi possível obter algumas informações que tornam o procedimento para reajuste anual das tarifas no campus diferente de como foi feito para a fazenda. O campus da Liberdade trata-se de um cliente do grupo e possui modalidade tarifária A4 Horazonal verde.

Essa modalidade possui duas tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda. Ou seja, existem duas tarifas diferentes para o consumo em hora ponta (HP) e fora ponta (FP). O período de FP é entre as 21:00 horas até as 17:59 horas do dia seguinte, enquanto que HP compreende o período entre 18:00 horas e as 20:59 horas do mesmo dia. Portanto, será necessário realizar um reajuste anual em cada uma das duas tarifas. A figura 15 mostra um print da fatura do campus de fevereiro de 2021, onde é possível ver o valor em destaque das tarifas em HP e FP.

Figura 23 – Print da fatura de energia do campus da Liberdade (02/2021)

VALORES DE FATURAMENTO			
DESCRIÇÃO	TOTAL MEDIDO	TARIFA R\$	VALORES R\$
Consumo Fora Ponta	15.048,810	0,41916	6.307,81
Consumo Ponta	1.373,000	2,06717	2.838,22
Demanda Ativa	77,620	23,39938	1.816,26
Demanda Ativa sem ICMS	127,380	17,08188	2.175,89
Retenção De Tributos Federais	0,000	0,00000	787,10-
Adicional Band. Amarela			316,17

Fonte: Fatura de energia fornecida pela UNILAB (2021, com adaptações).

Portanto, na imagem acima é possível ver que a tarifa cobrada pelo consumo em HP é muito maior do que a cobrada em FP. Desta forma, os valores a serem considerados como base para o reajuste anual das tarifas, serão os valores R\$ 0,41916/kWh e R\$ 2,06717/kWh para FP e HP, respectivamente.

Para o reajuste de ambas as tarifas será considerada a mesma taxa de reajuste anual que foi utilizada para a fazenda, que é de 7,75% ao ano. Após aplicar o mesmo cálculo que foi feito para a realizar o reajuste nas tarifas da fazenda, os valores do reajuste das tarifas para o campus da Liberdade podem ser vistos na tabela a seguir.

Tabela 12 – Aumento anual das Tarifas de HP e FP usadas no Campus, ao longo dos 25 anos de projeto

ANO	TARIFA FP COM REAJUSTE DE 7,75% AO ANO (R\$/kWh)	TARIFA HP COM REAJUSTE DE 7,75% AO ANO (R\$/kWh)
1	R\$ 0,41916	R\$ 2,06717
2	R\$ 0,45164	R\$ 2,22738
3	R\$ 0,48665	R\$ 2,40000
4	R\$ 0,52436	R\$ 2,58600
5	R\$ 0,56500	R\$ 2,78641
6	R\$ 0,60879	R\$ 3,00236
7	R\$ 0,65597	R\$ 3,23504
8	R\$ 0,70681	R\$ 3,48576
9	R\$ 0,76158	R\$ 3,75590
10	R\$ 0,82061	R\$ 4,04699
11	R\$ 0,88420	R\$ 4,36063
12	R\$ 0,95273	R\$ 4,69858
13	R\$ 1,02657	R\$ 5,06272
14	R\$ 1,10613	R\$ 5,45508
15	R\$ 1,19185	R\$ 5,87784
16	R\$ 1,28422	R\$ 6,33338
17	R\$ 1,38375	R\$ 6,82421
18	R\$ 1,49099	R\$ 7,35309
19	R\$ 1,60654	R\$ 7,92296
20	R\$ 1,73104	R\$ 8,53698
21	R\$ 1,86520	R\$ 9,19860
22	R\$ 2,00975	R\$ 9,91149
23	R\$ 2,16551	R\$ 10,67963
24	R\$ 2,33334	R\$ 11,50730
25	R\$ 2,51417	R\$ 12,39912

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A partir dos valores obtidos através desse método, ver-se que com o reajuste anual de 7,75%, ao final dos 25 anos a tarifa de energia, tanto em FP como HP, custarão aproximadamente 6 vezes mais do que o seu valor atual.

4.6.5 Receitas com o abatimento do consumo de energia no campus da Liberdade.

Para encontrar as receitas criadas pelos créditos obtidos com a geração da usina, serão consideradas para os cálculos, as tarifas reajustadas, e a geração destinada a suprir o consumo de energia no campus. Lembrando que na modalidade A4 Horasazonal verde, o consumo de energia é dividido em hora ponta e fora ponta, portanto, será necessário determinar a proporção com que a energia destinada ao Liberdade será dividida nos horários de HP e FP.

Para isso, primeiro deve-se saber a quantidade de energia anual gerada que será utilizada para suprir o consumo no prédio da universidade. Sabendo que, do total gerado pela usina 2,9% será usado para fazenda, então a quantidade de energia voltada para o campus corresponde a 97,1% da energia anual produzida pela UFVF. Desta forma, sabemos que esse percentual será dividido para suprir o consumo nos dois períodos.

Para determinar o quanto de energia anual média será utilizada em cada período, será preciso determinar o consumo médio anual na HP e somar com o consumo médio anual em FH, obtendo assim, o consumo médio anual total da universidade. Em seguida, deve-se fazer a relação entre o consumo médio anual na HP e o consumo médio anual total, para determinar a porcentagem da energia que será necessária para a HP. Depois, será feita a mesma relação usando o consumo médio anual na FP, para determinar a proporção da energia necessária para a FP.

Seguindo o raciocínio acima, analisou-se a fatura do ano de 2019 para obter estes valores. Calculando a média anual de consumo na HP e FP através dos valores da fatura, viu-se que o consumo médio mensal em HP e FP são iguais a 4.313 kWh e 39091,54 kWh, respectivamente. Logo, o consumo médio anual total é igual a 43404,54 kWh.

De posse dos valores citados a cima, podemos calcular através das equações abaixo, a energia anual necessária em cada período para suprir o consumo de energia no campus.

$$G_{fp} = 0,971 \times \frac{C_{mfp}}{C_m} \times G_{usina} \quad (11)$$

$$G_{hp} = 0,971 \times \frac{C_{mhp}}{C_m} \times G_{usina} \quad (12)$$

Onde,

G_{hp} = energia necessária na hora ponta;

G_{fp} = energia necessária na fora ponta;

G_{usina} = Geração anual da usina;

C_{mhp} = Consumo médio na hora ponta;

C_{mfp} = Consumo médio na fora ponta;

C_m = Consumo médio total no Liberdade.

Depois de obtidos os valores de G_{fp} e G_{hp} para cada ano de vida útil do projeto, basta multiplicar pela tarifa reajustada correspondente aos períodos de ponta e fora de ponta. Seguindo as equações 11 e 12 foi possível obter as tabelas 13 e 14, que tratam respectivamente, das receitas anuais obtidas com a economia alcançada nos horários de ponta e fora de ponta.

Tabela 13 – Receitas obtidas com a economia de energia na hora ponta no campus da Liberdade

ANO	EFICIÊNCIA ANUAL DOS MÓDULOS	GERAÇÃO ANUAL DA USINA (MWh)	GERAÇÃO ANUAL P/ HP DO CAMPUS (MWh)	TARIFA HP COM REAJUSTE DE 7,75% AO ANO (R\$/kWh)	RECEITA ANUAL NO CAMPUS HP (R\$)
1	98%	545,40	52,64	R\$ 2,06717	R\$ 108.817,05
2	97,2%	541,04	52,22	R\$ 2,22738	R\$ 116.312,37
3	96,4%	536,71	51,80	R\$ 2,40000	R\$ 124.323,96
4	95,7%	532,41	51,39	R\$ 2,58600	R\$ 132.887,40
5	94,9%	528,16	50,98	R\$ 2,78641	R\$ 142.040,68
6	94,1%	523,93	50,57	R\$ 3,00236	R\$ 151.824,44
7	93,4%	519,74	50,16	R\$ 3,23504	R\$ 162.282,11
8	92,6%	515,58	49,76	R\$ 3,48576	R\$ 173.460,10
9	91,9%	511,46	49,36	R\$ 3,75590	R\$ 185.408,03
10	91,2%	507,36	48,97	R\$ 4,04699	R\$ 198.178,94
11	90,4%	503,31	48,58	R\$ 4,36063	R\$ 211.829,51
12	89,7%	499,28	48,19	R\$ 4,69858	R\$ 226.420,32
13	89,0%	495,29	47,80	R\$ 5,06272	R\$ 242.016,15
14	88,3%	491,32	47,42	R\$ 5,45508	R\$ 258.686,23
15	87,6%	487,39	47,04	R\$ 5,87784	R\$ 276.504,53
16	86,9%	483,49	46,67	R\$ 6,33338	R\$ 295.550,17
17	86,2%	479,63	46,29	R\$ 6,82421	R\$ 315.907,66
18	85,5%	475,79	45,92	R\$ 7,35309	R\$ 337.667,38
19	84,8%	471,98	45,55	R\$ 7,92296	R\$ 360.925,91
20	84,1%	468,21	45,19	R\$ 8,53698	R\$ 385.786,49
21	83,5%	464,46	44,83	R\$ 9,19860	R\$ 412.359,46
22	82,8%	460,74	44,47	R\$ 9,91149	R\$ 440.762,78
23	82,1%	457,06	44,11	R\$ 10,67963	R\$ 471.122,52
24	81,5%	453,40	43,76	R\$ 11,50730	R\$ 503.573,44
25	80,8%	449,77	43,41	R\$ 12,39912	R\$ 538.259,58
TOTAL					R\$ 6.772.907,20

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Tabela 14 - Receitas obtidas com a economia de energia na fora ponta no campus da Liberdade

ANO	EFICIÊNCIA ANUAL DOS MÓDULOS	GERAÇÃO ANUAL DA USINA (MWh)	GERAÇÃO ANUAL P/ FP DO CAMPUS (MWh)	TARIFA FP COM REAJUSTE DE 7,75% AO ANO (R\$/kWh)	RECEITA ANUAL NO CAMPUS FP (R\$)
1	98%	545,40	476,94	R\$ 0,41916	R\$ 199.915,35
2	97,2%	541,04	473,13	R\$ 0,45164	R\$ 213.685,52
3	96,4%	536,71	469,34	R\$ 0,48665	R\$ 228.404,18
4	95,7%	532,41	465,59	R\$ 0,52436	R\$ 244.136,66
5	94,9%	528,16	461,86	R\$ 0,56500	R\$ 260.952,79
6	94,1%	523,93	458,17	R\$ 0,60879	R\$ 278.927,22
7	93,4%	519,74	454,50	R\$ 0,65597	R\$ 298.139,72
8	92,6%	515,58	450,87	R\$ 0,70681	R\$ 318.675,59
9	91,9%	511,46	447,26	R\$ 0,76158	R\$ 340.625,96
10	91,2%	507,36	443,68	R\$ 0,82061	R\$ 364.088,28
11	90,4%	503,31	440,13	R\$ 0,88420	R\$ 389.166,68
12	89,7%	499,28	436,61	R\$ 0,95273	R\$ 415.972,48
13	89,0%	495,29	433,12	R\$ 1,02657	R\$ 444.624,66
14	88,3%	491,32	429,65	R\$ 1,10613	R\$ 475.250,41
15	87,6%	487,39	426,22	R\$ 1,19185	R\$ 507.985,66
16	86,9%	483,49	422,81	R\$ 1,28422	R\$ 542.975,71
17	86,2%	479,63	419,42	R\$ 1,38375	R\$ 580.375,88
18	85,5%	475,79	416,07	R\$ 1,49099	R\$ 620.352,17
19	84,8%	471,98	412,74	R\$ 1,60654	R\$ 663.082,03
20	84,1%	468,21	409,44	R\$ 1,73104	R\$ 708.755,12
21	83,5%	464,46	406,16	R\$ 1,86520	R\$ 757.574,17
22	82,8%	460,74	402,91	R\$ 2,00975	R\$ 809.755,88
23	82,1%	457,06	399,69	R\$ 2,16551	R\$ 865.531,86
24	81,5%	453,40	396,49	R\$ 2,33334	R\$ 925.149,70
25	80,8%	449,77	393,32	R\$ 2,51417	R\$ 988.874,01
TOTAL					R\$ 12.442.977,65

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

4.6.6 Receita total obtida ao longo dos 25 anos

Por fim, agora que foram obtidas todas as receitas devidas a implantação do projeto, podemos descobrir a receita total gerada em seus 25 anos. A tabela a seguir, mostra a receita total e cada uma das receitas, divididas em receitas obtidas na fazenda e no campus. Sendo que, no campus as receitas são divididas em receitas obtidas em HP e FP.

Tabela 15 – Receita total obtida com o projeto em seus 25 anos de vida útil

	RECEITAS ACUMULADAS EM 25 ANOS
FAZENDA	R\$ 772.464,20
CAMPUS LIBERDADE FP	R\$ 12.442.977,65
CAMPUS LIBERDADE HP	R\$ 6.772.907,20
TOTAL	R\$ 19.988.349,05

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A partir da tabela 15, vemos que a receita acumulada total que será de R\$ 19.988.349,05. De forma grosseira, considerando o valor total dos custos, que é de R\$ 1.696.094,21, vemos que o retorno do projeto é quase 12 vezes maior que o investimento necessário para implantação, manutenção e operação da usina.

4.7 Análise de viabilidade econômica da usina

Neste tópico, será feita uma análise econômica para avaliar se a execução da usina flutuante conectado à rede elétrica na Fazenda Experimental Piroás é viável. O resultado será obtido a partir da realização de cinco métodos de análises de investimentos afim de atestar se o projeto trará lucro ou prejuízo ao cliente. Logo, utilizou-se os métodos mostrados no capítulo 3 deste trabalho.

Para aplicar os métodos e fazer o estudo de viabilidade econômica da UFVF no açude da Fazenda, foi necessário obter os valores de geração anual, custo total do investimento e receitas obtidas durante os 25 anos do projeto. Todos esses dados foram obtidos nas seções anteriores, para viabilizar esta análise. De posse desses valores será possível determinar se o investimento deve ser feito ou não.

A soma das economias anuais (tabelas 11, 13 e 14) da fazenda e do campus da universidade junto com o valor do investimento inicial, foram suficientes para gerar os resultados das tabelas 16 e 17. Importante ressaltar, que será necessário escolher um valor para a taxa mínima de atratividade do projeto (TMA) para os cálculos dos métodos de análise

financeira. Como essa taxa é decidida pelos investidores, vamos considerar uma taxa bem acima da rentabilidade da poupança e do Tesouro direto. Desta forma, a taxa a TMA considerada para as simulações das tabelas a seguir, será de 11% ao ano.

Tabela 16 – Economia anual total e valores de receitas ao longo do tempo.

ANO	FLUXO DE CAIXA	PAYBACK SIMPLES	VALOR PRESENTE	PAYBACK DESCONTADO
0	-R\$ 1.696.094,21	-R\$ 1.696.094,21	-R\$ 1.696.094,21	-R\$ 1.696.094,21
1	R\$ 321.143,21	-R\$ 1.374.951,00	R\$ 289.318,21	-R\$ 1.406.776,00
2	R\$ 343.263,56	-R\$ 1.031.687,44	R\$ 278.600,41	-R\$ 1.128.175,60
3	R\$ 366.907,55	-R\$ 664.779,89	R\$ 268.279,64	-R\$ 859.895,96
4	R\$ 392.180,15	-R\$ 272.599,74	R\$ 258.341,21	-R\$ 601.554,75
5	R\$ 419.193,51	R\$ 146.593,77	R\$ 248.770,95	-R\$ 352.783,80
6	R\$ 448.067,55	R\$ 594.661,32	R\$ 239.555,21	-R\$ 113.228,59
7	R\$ 478.930,44	R\$ 1.073.591,76	R\$ 230.680,87	R\$ 117.452,28
8	R\$ 511.919,18	R\$ 1.585.510,94	R\$ 222.135,30	R\$ 339.587,58
9	R\$ 547.180,16	R\$ 2.132.691,10	R\$ 213.906,28	R\$ 553.493,86
10	R\$ 584.869,94	R\$ 2.717.561,04	R\$ 205.982,11	R\$ 759.475,97
11	R\$ 625.155,79	R\$ 3.342.716,83	R\$ 198.351,50	R\$ 957.827,47
12	R\$ 668.216,51	R\$ 4.010.933,34	R\$ 191.003,56	R\$ 1.148.831,03
13	R\$ 714.243,26	R\$ 4.725.176,60	R\$ 183.927,82	R\$ 1.332.758,85
14	R\$ 763.440,34	R\$ 5.488.616,94	R\$ 177.114,21	R\$ 1.509.873,06
15	R\$ 816.026,11	R\$ 6.304.643,05	R\$ 170.553,00	R\$ 1.680.426,06
16	R\$ 872.233,99	R\$ 7.176.877,04	R\$ 164.234,86	R\$ 1.844.660,93
17	R\$ 932.313,47	R\$ 8.109.190,51	R\$ 158.150,77	R\$ 2.002.811,70
18	R\$ 996.531,22	R\$ 9.105.721,73	R\$ 152.292,07	R\$ 2.155.103,77
19	R\$ 1.065.172,29	R\$ 10.170.894,02	R\$ 146.650,40	R\$ 2.301.754,17
20	R\$ 1.138.541,36	R\$ 11.309.435,38	R\$ 141.217,73	R\$ 2.442.971,91
21	R\$ 1.216.964,09	R\$ 12.526.399,47	R\$ 135.986,32	R\$ 2.578.958,22
22	R\$ 1.300.788,58	R\$ 13.827.188,05	R\$ 130.948,70	R\$ 2.709.906,92
23	R\$ 1.390.386,89	R\$ 15.217.574,94	R\$ 126.097,70	R\$ 2.836.004,62
24	R\$ 1.486.156,74	R\$ 16.703.731,68	R\$ 121.426,40	R\$ 2.957.431,02
25	R\$ 1.588.523,22	R\$ 18.292.254,90	R\$ 116.928,16	R\$ 3.074.359,17

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A coluna de fluxo de caixa da tabela 16 foi montada com o valor do investimento necessário para o projeto e com a soma das receitas obtidas em cada ano, nos dois consumidores (fazenda e campus), enquanto que o restante das colunas foram obtidas a partir da aplicação dos métodos do *payback* simples e descontado, e o método do valor presente líquido.

A partir da tabela 16, foi possível usar os métodos de análise de investimento para obter os valores que indicarão se a implantação do projeto é ou não viável, ou seja, se deve ou não fazer o investimento neste sistema fotovoltaico flutuante. Considerando uma

taxa mínima de atratividade de 11%, foi possível determinar através da tabela X os valores de VPL, TIR, IL, *payback* simples e descontado. Estas informações podem ser vistas na tabela abaixo.

Tabela 17 – Resultados dos métodos de análise de investimento do projeto

MÉTODO (TMA =11%)	RESULTADO	STATUS
TIR	25%	VIÁVEL
IL	2,81	VIÁVEL
VPL	R\$ 3.074.359,17	VIÁVEL
PAYBACK SIMPLES	4,7	VIÁVEL
PAYBACK DESCONTADO	6,5	VIÁVEL

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Como pode ser visto na tabela 17, todos os métodos que foram utilizados para avaliar se deveria ou não ser feito o investimento, apontam que o projeto é viável e que deveria ser feito. A TIR do projeto é de 25%, um valor mais de duas vezes maior que a TMA escolhida para esta simulação. Considerando que se trata de um investimento de baixo risco, o resultado da TIR mostra que o rendimento gerado por este projeto indica que investir na usina seria muito mais vantajoso do que direcionar o mesmo montante para aplicações com baixo risco, como poupança e tesouro nacional.

O índice de lucratividade tem um valor de 2,81. Como o índice é maior do que 1, o projeto também se mostrou viável através desse método. O índice indica que para cada real investido, tem-se um retorno de R\$ 2,81, uma vez que o IL é dado pela razão entre a soma de todo o fluxo de caixa no valor futuro e o valor do investimento inicial.

O VPL também mostrou um número animador, pois não só deu um número maior do que zero, como mostrou um retorno financeiro na casa dos milhões. Como o VPL é considerado o lucro real do projeto, podemos dizer que se toda a receita dos 25 anos de projeto fossem tragas para o presente, o lucro seria um montante de R\$ 3.072.359,17.

O *payback* simples mostrou um retorno do investimento em 4,7 anos, que equivale a 4 anos 8 meses e 15 dias. Entretanto, o *payback* descontado possui a vantagem de mostrar o tempo de retorno com muita precisão, uma vez que leva em consideração a variação do valor do dinheiro, e assim como os demais, também mostrou um número que permite dizer que o projeto é viável. Apesar do tempo de retorno obtido com o *payback* descontado ser maior do que o tempo de retorno do *payback* simples (o que já era esperado), um tempo de retorno de 6,5 anos (6 anos e 6 meses) é um bom retorno, pois permite ao investidor passar aproximadamente 18 anos e 6 meses desfrutando do lucro.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Neste trabalho, foi apresentado o dimensionamento e estudo de viabilidade econômica para instalação de um sistema fotovoltaico flutuante conectado à rede no açude da Fazenda Experimental Piroás da Unilab. Também e foi feita uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos relacionados aos sistemas fotovoltaicos convencionais e flutuantes conectados à rede.

Para a realização do estudo de viabilidade econômica, foram utilizados os métodos, técnicas e as equações necessárias que podem ser encontradas na literatura para dimensionar o sistema e fazer uma estimativa a produção de energia gerada ao logo de sua vida útil, para em seguida obter e avaliar se haveria ou não lucro gerado ano a ano, e assim, decidir se o investimento é viável ou não.

O dimensionamento foi feito a partir das contas de energia com o intuito de reduzir (zerar) o consumo médio mensal da fazenda e do campus, em que a usina seria responsável por gerar energia suficiente para suprir o consumo médio mensal de ambos, que somados é de 44.721 kWh, com a tarifações diferentes em cada Unidade consumidora.

Depois de feito o dimensionamento, para possibilitar a análise de viabilidade econômica do projeto foi necessário fazer o levantamento dos custos (módulos, inversores, estrutura flutuante, ancoragem, dentre outros) e o levantamento das receitas geradas durante a operação da usina.

Para isso, basicamente considerou-se a degradação dos módulos ao longo dos anos, causando uma perda anual de 0,8% ao ano para determinar a geração anual, e um reajuste anual de 7,75% na tarifa. Depois somou-se as receitas obtidas com a economia na conta de energia da fazenda e do campus para obter a receita total ao longo dos 25 anos de vida útil do projeto.

Por fim, usou-se os resultado para montar um fluxo de caixa e usar os métodos de análise de viabilidade financeira, para determinar os valores do VPL, TIR, IL e Payback simples e descontado, considerando uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 11% a.a.

Os resultados mostrados através da aplicação dos métodos, apontaram que o investimento de implantação de uma usina fotovoltaica flutuante no açude da fazenda de experimentos Piroás para diminuir os custos com consumo de energia na fazenda e no campus do Liberdade, é financeiramente viável. Todos os métodos indicaram resultados animadores, com taxa interna de retorno de 24% bem acima da taxa mínima de atratividade (11%), um tempo de 6 anos e 6 meses, e um lucro real de R\$ 3.072.359,17. Importante ressaltar que para obter tal resultado não levou-se em consideração o custo detalhado com manutenções, apenas considerou-se que o valor deste custo estaria inserido na proposta enviada pela F2B, além disso, também não foi incrementado ao Custo total eventuais despesas com licença ambiental.

Também é necessário frisar, que além da questão financeira, um projeto como esse seria muito importante para universidade, tendo em vista que o mesmo poderia ser utilizado para que os alunos e professores do curso de Engenharia de Energia realizem pesquisas na usina, configurando assim um ganho acadêmico com o investimento. Além dessas vantagens, o investimento traria como benefício a diminuição da evaporação do reservatório.

Portanto, conclui-se que, a partir dos métodos utilizados, investir neste projeto é financeiramente viável e acarretaria outros benefícios que não só financeiro, mas também acadêmico e ambiental, por se tratar de uma fonte renovável e pelo tipo da instalação ajudar a diminuir os níveis de evaporação do reservatório. Entretanto, foi possível observar que o custo com esse tipo de projeto é superior ao custo com sistemas fotovoltaicos convencionais, o que pode ser encarado com uma desvantagem de Usinas fotovoltaicas flutuantes.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Como dito anteriormente, este trabalho considerou apenas que as despesas com manutenção estariam inseridos na proposta feita pela empresa F2B, entretanto, para se obter um valor ainda mais realista, seria interessante fazer um levantamento do custo médio que

usinas flutuantes exigem ao longo de sua vida útil com manutenções. Além disso é interessante que estudos futuros considerem, para cálculo do custo total, o que seria gasto com licenciamento ambiental necessário para implantação da usina flutuante.

Sabendo que este tipo de instalação de sistemas fotovoltaicos melhoraram a eficiência dos módulos devido ao resfriamento dos mesmos, poderiam ser feitos estudos que levassem em conta o impacto da melhora na eficiência no aumento das receitas ou diminuição dos custos.

Por fim, seriam de bastante utilidade estudos que mensurassem o quanto de evaporação do reservatório que seria evitada com a implantação da usina sobre a superfície do açude e a economia que isso poderia acarretar à Fazenda Piroás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLERT, V.S.C. **Aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidrelétricas: Estudo de caso em uma hidrelétrica brasileira.** 2017. 119 f.

Tese(Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola Politecnica, UFRJ, Rio de Janeiro,RJ, 2017. Disponível

em:<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023006.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2021

BAJAY, Sérgio Valdir; BADANHAN, Luís Fernando. Energia no Brasil: Os próximos dez anos. In: SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA, UNICAMP, 18 A 20 DE FEVEREIRO DE 2002.

BARBOSA, Gabriela Gonçalves. Recursos naturais renováveis e produção de energia. **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 3, n. 1, p. 193-215, 29 set. 2015.

BARROS, Evandro Vieira de. A MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E A COMPETITIVIDADE DAS NAÇÕES: BASES DE UMA NOVA GEOPOLÍTICA. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 47-56, jun. 2007.

BELISKI, Leticia Mara. **ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UNIDADES PROSSUMIDORAS RESIDENCIAIS.** 2017. 1 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017. Cap. 1.

BJORK et al. (2011) Encouraging Renewable Energy Development: a handbook for international energy regulators. , January, 2011. USAID-NARUC.

CAROSSINI, V. S. **Uma análise do impacto da geração distribuída em mercados de energia de curto prazo.** 2008. 40 f. TCC – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CASTRO, C. M. B. de. **Estratégias de contratação de empresas distribuidoras nos leilões de energia.** Viçosa, 2009. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa.

CHOI, Y.K; LEE, N.H; KIM, K.J. **Empirical Research on the efficiency of Floating PVsystems compared with Overland PV Systems.** Ces-cube, Guam, v. 22, p.284-289, jan. 2013.

CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L. **A energia que queremos**. São Paulo: s.n, 2016. 53 p. Disponível

em: <http://riosvivos.org.br/wpcontent/uploads/2017/05/998f41_16a988bd6cff45399bfaa6181e938ec4.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2021.

CRUZ, Camila Oliveira da. **Recursos Não Renováveis**. 2020. Disponível em:

<https://www.infoescola.com/ecologia/recursos-nao-renovaveis/>. Acesso em: 29 fev. 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2020. São Paulo, SP.

FERREIRA, A. L., VIEIRA, A. C. A., SILVA, F. A. et al. **Prioridades para a Integração das Fontes Renováveis Variáveis no Sistema Elétrico**. IEMA. São Paulo. 2016

FRANCO, Flávio Ney da Silva. O processo de adaptação da companhia paranaense de energia às mudanças do arranjo institucional do setor elétrico brasileiro. 2002. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FREITAS, Giovana Souza; DATHEIN, Ricardo. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 71-90, 3 dez. 2018.

GITMAN, LJ. **Princípios de administração financeira—essencial**/Lawrence Gitman; trad. Jorge Ritter. 2001.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias sustentáveis: um futuro sustentável. **Revista Usp**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-14, 15 fev. 2021.

GREENPEACE. (2013), [R]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo. Cenário Brasileiro.

GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report: Executive Summary. Washington, DC: World Bank, 2018. 24 p. Disponível em: . Acesso em: 12 fev. 2021.

GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report: Executive Summary. Washington, DC: World Bank, 2018. 24 p. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/579941540407455831/pdf/131291-WPREVISED-P161277-PUBLIC.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

HANCOCK, K. J.; SOVACOOOL, B. (2014), Can Water be a curse?: the resource curse and hydroelectric power. FLACSO-ISA Conference, Buenos Aires, July 24-25, 2014.

HOSENUZZAMAN, M., RAHIM, N. A., SELVARAJ, J., et al.. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 41, p. 284 – 297. 2013.

IEA PVPs - **International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Trends in photovoltaic applications 2015**. 2015. Disponível em:

<http://www.ieapvps.org/fileadmin/dam/public/report/national/IEA-PVPS_-_Trends_2015_-_MedRes.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

LAPPONI, Juan Carlos. **Projetos de investimento na empresa**. Elsevier, 2007.

- MESBAHI, M. **Top 30 Floating Solar PV Plants Europ**. 2018. Disponível em: <<https://www.solarplaza.com/channels/future-grid/11954/top-30-floating-solar-pvplantseurope/>>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- MINAMINO, S. Floating Solar Plants: Niche Rising to the Surface? Solarplaza. 11 nov. 2016. Disponível em: . Acesso em: 15 jan. 2021.
- MINAMINO, Saori. **Floating Solar Plants: Niche Rising to the Surface?** 2016. Disponível em: <<https://www.solarplaza.com/channels/top-10s/11634/floating-solarplants-niche-rising-surface/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- NETO, Alexandre Assaf. **Finanças corporativas e valor**. Atlas, 2003.
- ONS - **Operador Nacional do Setor Elétrico. Boletim Semanal de Operação**. 2019c. Disponível em: <<http://sdro.ons.org.br/SDRO/semanal/>> Acesso em: 08 mar. 2021.
- PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., et al.. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. São José dos Campos, SP. 2016.
- PINHEIRO, ARMANDO CASTELAR. A privatização no Brasil – O caso dos serviços de utilidade pública. Rio de Janeiro. BNDS: 2000.
- PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL-CRESESB. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.
- PORTAL SOLAR. **Quanto custa a energia solar fotovoltaica**. 2016. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>> Acesso em: 04 mar. 2021.
- PRS Consultoria, LEWE Consultoria. **A Energia que Queremos**. 1 ed. 2016. Disponível em: <http://riosvivos.org.br/wpcontent/uploads/2017/05/998f41_16a988bd6cff45399bfaa6181e938ec4.pdf> Acesso em: 28 fev. 2021.
- PV TECH . **Crunching the numbers on floating solar**. [s.l]: Pv Tech, 2018. 6 p. Disponível em: <<https://www.pv-tech.org/technical-papers/crunching-the-numbers-onfloating-solar>>. Acesso em: 07 mar. 2021.
- RAHMAN, M. M., HASANUZZAMAN M., RAHIM N. A. **Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. Energy Conversion and Management**; 103: 348–58. 2015.
- RICHARDSON., Luke. The history and invention of solar panel technology. 2018. Disponível em: <<https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-paneltechnology/>>. Acesso em: 8 mar. 2021
- SACRAMENTO, E. M., CARVALHO, P. C. M., ARAÚJO, J. C., et al.. Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. IET Renewable Power Generation, v. 9, n.8, p. 1019-1024. 2015.

SAHU, Alok; YADAV, Neha; SUDHAKAR, K.. **Floating photovoltaic power plant: A review. Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 66, p.815-824, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>

SCHOLTEN, D; BOSAMAN, R. (2013), The Geopolitics of Renewable Energy: a mere shift of lanslide in energy dependencies? Disponível em: <http://www.drift.eur.nl/wp-content/uploads/2013/11/Scholten-and-Bosman-2013-Geopolitics-of-Renewables.pdf>

SENHORAS, Elói Martins; MOREIRA, Fabiano; VITTE, Claudete de Castro Silva. (2009), A agenda exploratória de recursos naturais na América do Sul: da empiria à teorização geoestratégica de assimetrias nas relações internacionais. Selected works. January 2009. Disponível em: <http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1122&context=eloi> (SENHORAS, MOREIRA e VITTE, 2009, p. 3).

SOLAR, Portal. **Instalação de geradores solares cresce três vezes no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/instalacao-de-geradores-solares-cresce-tres-vezes-no-brasil.html>. Acesso em: 16 fev. 2021.

STRANGUETO, K. M. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas. Tese de doutorado - UNICAMP. Campinas, SP. 2016.

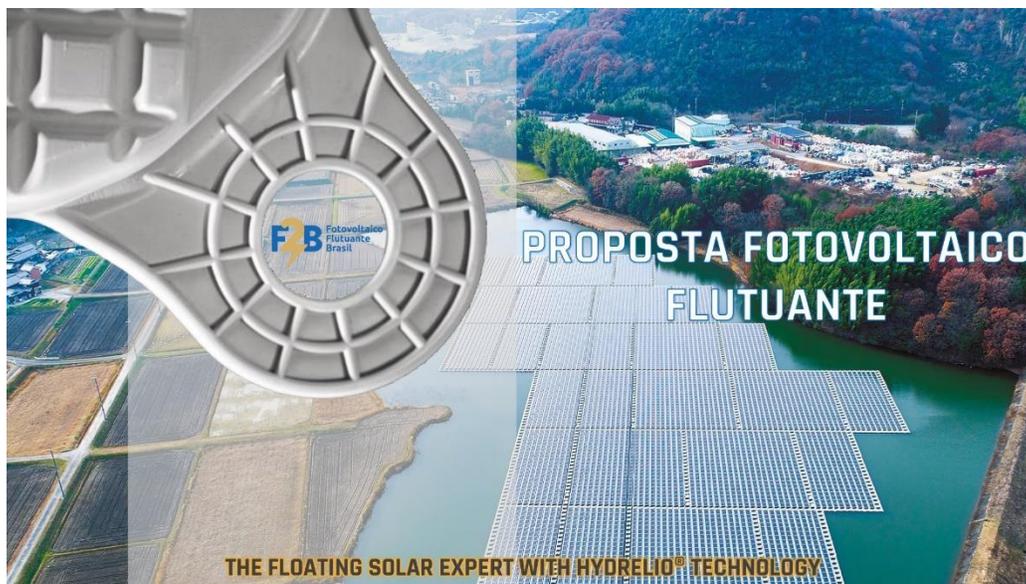
STRANGUETO, K.M. **Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas**. 2016. 1 recurso online (147 p.). Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/304920>>. Acesso em: 14 mar.2021.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro**. 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia; EPE: Brasília, 2011.

WIRTH, H. **Recent Facts about Photovoltaics in Germany**. Fraunhofer ISE. Freiburg,Alemanha. 2017.

ANEXOS

ANEXO I – Proposta de orçamento da F2B



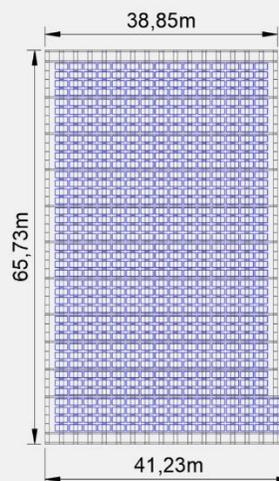
INFORMAÇÕES

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA:

- 619 módulos fotovoltaicos de 445 Wp;
- Potência nominal total de 275,455 kWp;
- Área aproximada ilha Solar: 2.555 m²;
- Tempo de instalação da Ilha Solar < 20 dias



F2B – FOTOVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE



DESIGN PRELIMINAR

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

VISTA SUPERIOR



F2B – FOTOVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

INVESTIMENTO

Classificação	Estruturação CAPEX (275,45 kWp) (*)	R\$/Wp
EPC/F2B	Flutuadores + Sistema de Fixação dos Módulos (inclui ICMS/PIS/COFINS)	1,68
	Logística – Frete (Redenção - CE)	0,35
EPC (MO + Serviços)	Instalação Mecânica da Ilha	0,63
	Instalação Elétrica da Ilha e Miscelâneas	
EPC/F2B ANCORAGEM	Âncoras e Cabos	0,16
	Instalação	
	Barras de Difusão (F2B)	0,04
EPC EQUIPAMENTOS	Módulos	2,90
	Inversores	
	Cabos CC	
TOTAL (*)		R\$ 5,76

(*) Valores estimados sujeitos à cotação firme com fornecedores.
Não inclui transformadores e conexão com a rede.

R\$ 1.586.620,00

REFERÊNCIAS E LINKS

Fazenda Goiás (300kWp)

- Ancoragem na Margem
- Número de Âncoras: 12

Assistir
Vídeo 



Limpeza dos painéis

Assistir
Vídeo 



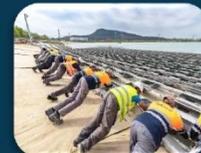
Referências de Projetos

Acessar
link 



Instalação da Ilha Flutuante

Assistir
Vídeo 



F2B - FOTOVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

INSTALAÇÃO

FLUTUANTE

- Projeto mais simples e instalação mais rápida;
- Montagem nas margens do reservatório;
- Sem uso de máquinas e veículos pesados;
- Possibilidade de paralelismo nas equipes, aumentando a velocidade e agilidade.
- Uso de 30 a 40 % menos área;

CONVENCIONAL - SOLO

- Projeto Executivo mais complexo
- Desmatamento da vegetação;
- Terraplanagem e Adensamento da terra;
- Estaqueamento e concretagem para as fundações das estruturas metálicas;



F2B - FOTOVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

CONEXÃO A REDE

FLUTUANTE

Solar Flutuante em Hidrelétricas, Represas e Reservatórios de Bombeamento:

- Facilidade de Conexão devido a proximidade à Subestação.
- Facilidade de Conexão devido a proximidade ao consumo como bombeamento.
- Perto dos centros de carga.
- Boas condições de escoamento da energia devido as linhas de transmissão e distribuição;
- Usa Infraestrutura existente -> melhora o uso do ativo.

CONVENCIONAL - SOLO

- Dificuldades para encontrar terrenos próximos a um ponto de conexão com capacidade de escoamento nas linhas;
- Investimento adicional em subestação e linhas de transmissão, com desapropriações e licenças ambientais adicionais.



F2B - FOTOVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M)

FLUTUANTE

- Água para limpeza está disponível logo abaixo dos painéis;
- Equipamento é feito de plástico e alumínio, evitando qualquer efeito de oxidação;
- Estrutura resiste a 210 km/h de vento e ondas de 1,5 m, comprovado em laboratório e em diversos projetos no Japão que resistiram a diversos tufões.

CONVENCIONAL - SOLO

- Dificuldades e custo elevado em transportar a água e equipamentos de limpeza para o local
- Supressão vegetal constante para evitar sombreamento.
- Verificação e ajuste periódico da inclinação dos painéis.
- Riscos de Oxidação da estrutura de fixação;



F2B - FOTOVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

AMBIENTAL

FLUTUANTE



Impactos Ambientais

- Neutro/Nulo



Licenciamento

- Sem necessidade de compensações ambientais.
- Sem impacto Ambiental na montagem e operação.
- SP e MG: Até 5 MW é dispensado o licenciamento, até 90 MW licenciamento simplificado.



Benefícios

- Evita evaporação e desperdício de água.
- Reduz crescimento de algas.
- Evita o uso de outras áreas em solo.
- Evita o desmatamento.



F2B – FOTVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

CONVENCIONAL - SOLO



Impactos Ambientais

- Alteração do sucesso reprodutor da fauna (biodiversidade);
- Alteração dos padrões de movimentação da fauna;
- Degradação da área afetada, como a terraplenagem e retirada e soterramento da cobertura vegetal,
- Possível alteração do nível do lençol freático.
- Alteração do microclima



Licenciamento

- Licença Prévia, Licença Instalação e Licença Operação do órgão responsável;
- Necessidade de EIA/RIMA ou RAS;
- Mais oneroso e com prazo de elaboração de 6 meses à 1 ano e 6 meses;
- Possível necessidade de compensações Ambientais (exemplo: ceder 20% da área como reserva legal + benefícios a comunidade local);

GERAÇÃO – USINA 50MW (SOLO X FLUTUANTE)

TABLE B.2. Representative average global horizontal irradiance and performance ratio, by climate zone

	GHI (kWh/m ² /year)	Ground-mounted PR (%)	Floating PR (%)	
			Conservative (+5%)	Optimistic (+10%)
Tropical	1,700	75.0	78.8	82.5
Arid/desert	2,300	75.0	78.8	82.5
Temperate	1,300	85.0	89.3	93.5

Source: World Bank Group, ESMAP, and SERIS 2019.

Note: GHI = global horizontal irradiance; kWh/m²/year = kilowatt-hours per square meter per year; PR = performance ratio.

TABLE B.3. First year's energy output, by climate

	Ground-mounted PV (GWh)	Floating PV (GWh)	
		Conservative (+5%)	Optimistic (+10%)
Tropical	63.8	66.9	70.1
Arid/desert	86.3	90.6	94.9
Temperate	55.3	58.0	60.8

Source: World Bank Group, ESMAP, and SERIS 2019.

Note: GWh = gigawatt-hour; FPV = floating photovoltaic; PR = performance ratio.



F2B – FOTVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

MANUTENÇÃO

OPEX (Descrições)		
Itens	Solo	Flutuante
Uso de Água	Necessária logística para trazer água de limpeza dos módulos FV.	Utilização da própria água do reservatório.
Frequência de Limpeza	3 x Maior	Poucas vezes a cada 2 anos
Drenagem - refazer	Sim, chuva forte ou constante.	Drenagem não se aplica a flutuante
Supressão Vegetal	Necessária	Sem necessidade de supressão vegetal.
Reciclável	Não	Sim
Chance de roubo	Muito Maior	Menor, devido o acesso mais complicado à usina.
Locação de Terreno	1,25% da receita	0% da receita

OPEX ANUAL (% em relação ao CAPEX da usina solar)		
Itens	Solo	Flutuante
Custo do terreno	1,25%	0,00%
Limpeza (Painéis PV e terreno)	0,30%	0,05%
Elétrica	0,70%	0,70%
Estruturas – Tracker e Flutuante	0,35%	0,01%
TOTAL	2,60%	0,76%
Vida útil da usina (30 anos)	78,00%	22,80%

A DIFERENÇA DO CUSTO DO OPEX REPRESENTA A METADE DO INVESTIMENTO DE UMA USINA SOLAR



F2B – FOTVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ESTRITAMENTE CONFIDENCIAL

OBRIGADO !

#GoFloating

CLIENTES:

✉ contact@f2brasil.com.br

🌐 www.f2brasil.com.br

F2B – FOTVOLTAICO FLUTUANTE BRASIL | ESPECIALISTAS NO SOLAR FLUTUANTE

ANEXO II – Datasheet do Módulo fotovoltaico da Risen



Jäger Plus
HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

G2.3

RSM156-6-430M-455M

156 CELL Mono PERC Module	430-455Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	21.0% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

-  Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
-  Industry leading lowest thermal co-efficient of power
-  Industry leading 12 years product warranty
-  Excellent low irradiance performance
-  Excellent PID resistance
-  Positive tight power tolerance
-  Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
-  Module Imp binning radically reduces string mismatch losses
-  Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements
-  Certified to withstand severe environmental conditions
 - Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



RISEN ENERGY CO., LTD.

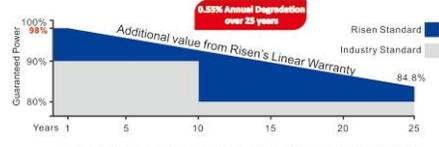
Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, enircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Tashan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315609, Ningbo | PRC
Tel: +86-574-59953239 Fax: +86-574-59953599
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty

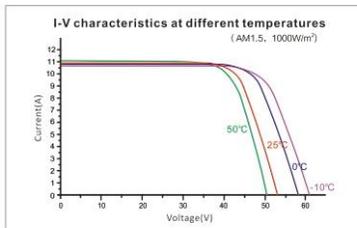
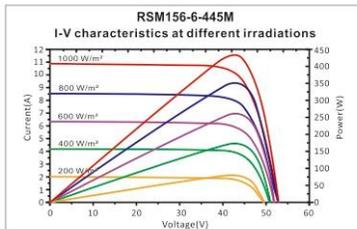
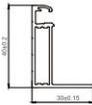
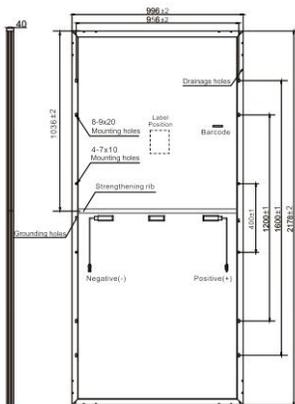


★ Please check the valid version of Limited Product Warranty which is officially released by Risen Energy Co., Ltd

THE POWER OF RISING VALUE



Dimensions of PV Module Unit: mm



Our Partners:

REM156-M-9BB-EN-H2-2-2020

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	430	435	440	445	450	455
Open Circuit Voltage-Voc(V)	52.38	52.50	52.62	52.72	52.82	52.92
Short Circuit Current-Isc(A)	10.47	10.57	10.67	10.77	10.87	10.97
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	43.60	43.70	43.80	43.90	44.00	44.10
Maximum Power Current-Imp(A)	9.87	9.97	10.06	10.15	10.24	10.32
Module Efficiency (%) *	19.8	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM156-6-430M	RSM156-6-435M	RSM156-6-440M	RSM156-6-445M	RSM156-6-450M	RSM156-6-455M
Maximum Power-Pmax (Wp)	321.8	325.5	329.3	332.9	336.6	340.3
Open Circuit Voltage-Voc (V)	48.20	48.30	48.41	48.50	48.59	48.69
Short Circuit Current-Isc (A)	8.59	8.67	8.75	8.83	8.91	9.00
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	39.90	40.09	40.18	40.26	40.33	40.41
Maximum Power Current-Imp (A)	8.06	8.12	8.20	8.27	8.35	8.42

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Monocrystalline
Cell configuration	156 cells (6×13+6×13)
Module dimensions	2178×996×40mm
Weight	25.5kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm ² (12AWG), Positive(+)/350mm, Negative(-)/350mm (Connector Included)
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	540	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	20	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2205×1130×1130	2205×1130×1130
Box gross weight[kg]	745	745

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 ©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO III – Datasheet do inversor de 60 kWp da Huawei



Smart String Inverter

SUN2000-60KTL-M0



Smart

- 12 strings intelligent monitoring and fast trouble-shooting
- Power Line Communication (PLC) supported
- Smart I-V Curve Diagnosis supported

Efficient

- Max. efficiency 98.9%, European efficiency 98.7% (@480 V)
- Max. efficiency 98.7%, European efficiency 98.5% (@380 V / 400 V)
- 6 MPPT per unit, effectively reducing string mismatch

Safe

- DC switch integrated, safe and convenient for maintenance
- Residual Current Monitoring Unit (RCMU) integrated
- Fuse free design

Reliable

- Natural cooling technology
- Protection degree of IP65
- Type II surge arresters for both DC and AC

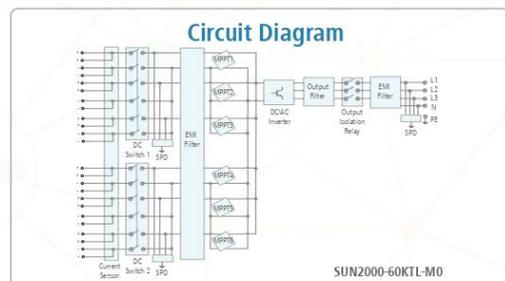
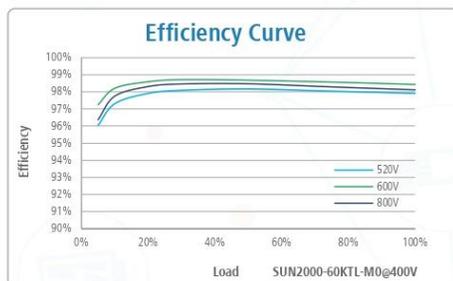
Always Available for Highest Yields

solar.huawei.com/eu/



Smart String Inverter (SUN2000-60KTL-M0)

Technical Specifications	SUN2000-60KTL-M0
	Efficiency
Max. Efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European Efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
	Input
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
	Output
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
	Protection
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-Islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-Polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
	Communication
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
USB	Yes
Power Line Communication (PLC)	Yes
	General
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + Terminal Clamp
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
	Standard Compliance (more available upon request)
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Code	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11



The text and figures reflect the current technical state at the time of printing. Subject to technical changes. Errors and omissions excepted. Huawei assumes no liability for mistakes or printing errors. For more information, please visit solar.huawei.com. Version No. 01-(201807)

Always Available for Highest Yields

solar.huawei.com/eu/