



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

MAIARA COELHO DA SILVA

**VIABILIDADE TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO DE UMA PLANTA SOLAR
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO RESERVATÓRIO DE PRAZERES-CE**

**POMBAL-PB
2022**

MAIARA COELHO DA SILVA

**VIABILIDADE TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO DE UMA PLANTA SOLAR
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO RESERVATÓRIO DE PRAZERES-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus Pombal, como parte das exigências para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. André Sobral

Coorientadora: Prof.^a Tatiane Carolyne Carneiro

POMBAL-PB

2022

S586v Silva, Maiara Coelho da.

Viabilidade técnica para instalação de uma planta solar fotovoltaica flutuante no reservatório de Prazeres - CE / Maiara Coelho da Silva. – Pombal, 2022.
49 f. il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. André Sobral, Profª. Ma. Tatiane Carolyne Carneiro”.
Referências.

1. Energia renovável. 2. Sistema fotovoltaico. 3. Planta fotovoltaica - Cenário energético. 4. Impactos ambientais. 5. Planta FVF - Dimensionamento. I. Sobral, André. II. Carneiro, Tatiane Carolyne. III. Título.

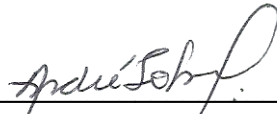
CDU 620.92 (043)

MAIARA COELHO DA SILVA

**VIABILIDADE TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO DE UMA PLANTA SOLAR
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO RESERVATÓRIO DE PRAZERES-CE**

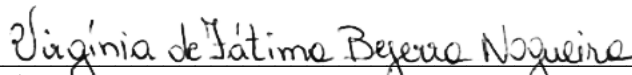
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

BANCA EXAMINADORA



Orientador - Prof. Dr. André Sobral

Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – *Campus Pombal*.



Examinadora Interna - Prof.^a Dr.^a Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – *Campus Pombal*.



Examinador Externo - Prof. Dr. Jonas Platini Reges
Instituto Centro de Ensino Tecnológico - Centec.

Aprovada em: 18 de agosto de 2022

Pombal-PB
2022

AGRADECIMENTOS

À Deus onipotente e fiel, em primeiro lugar, que me fortaleceu, guiou e iluminou para que eu chegasse até aqui e alcançasse esse tão sonhado propósito. Eu sou imensamente grata a Ele pela Sua infinita misericórdia derramada sobre a minha vida e pela Sua eterna bondade, bem como, por ter me sustentado até aqui. Sem o Seu amor e zelo eu nada seria, à Ele toda a honra e glória.

Minha eterna gratidão, reconhecimento e amor a minha mãe Maria do Socorro Oliveira Silva e ao meu pai Roberto Coelho da Silva, por permanecerem firmes ao meu lado, por nunca desistirem de mim e crerem que eu seria capaz de ultrapassar todos os obstáculos ao longo desse percurso, por nunca medirem esforços e me oferecerem sempre o melhor deles, eles são o sentido de tudo, sem eles eu não teria chegado até aqui.

Agradeço ao meu orientador André Sobral e coorientadora Tatiane Carolyne de Medeiros por toda paciência, incentivo e orientação durante todo esse projeto e por contribuírem de forma significativa e competente com todo conhecimento e instruções a mim entregues.

À minhas irmãs Roberta Coelho da Silva e Maysa Victória Coelho da Silva que nunca perderam a fé em mim e foram estímulo e força diária para que eu prosseguisse sem hesitar. À elas todo o meu amor e gratidão. Sem esquecer da minha irmã de coração Nair Júlia Coelho Lacerda, o meu amor singular, que me motivou e me fortaleceu, infinitamente grata pela sua vida e pela convivência que me fizeram dar o melhor de mim.

Aos demais familiares e parentes que tiveram grande influência e me motivaram nesse processo de graduação, em especial à Debora Cristina Coelho, Maria do Socorro Coelho da Silva, Eldon Macio Lacerda de Sousa, Roberto Vicente da Silva, Rita Cortez Coelho, Francisca Coelho da Silva, Rodrigo Coelho da Silva, Ronaldo Coelho da Silva, Maria Isaura Coelho da Silva, Adelia Alzira Almeida Martins, Bruno Coelho Lopes, Espedito Trajano de Oliveira, Francisca Maria de Oliveira.

Regracio de forma nominal aos meus amigos e colegas os quais tive o privilégio de encontrar durante essa árdua e incrível trajetória, sou imensamente grata por todo apoio e consideração: Katiussia de Sousa, Moises Marinho, Carla Alves, Nararaly Pereira, Filipe Tawã, Thamires Queiroga e Gustavo Dantas. Por todos os momentos bons e principalmente os difíceis onde estivemos lado a lado. Desejo sucesso à todos!

Ao meu namorado, amigo e incentivador Daniel Tavares da Silva, que embora alcançando essa reta final do curso, participou de uma parcela significativa desse trajeto, me proporcionando confiança, força e determinação dia após dia.

Por fim, agradeço aos familiares e amigos que não foram mencionados, e a todos os que contribuíram de forma direta e indireta para a realização desse sonho. Externo aqui a minha gratidão. Obrigada!

*“...Atraído por Tua graça
Aqui cheguei, em Ti encontrei
Coragem para recomeçar.
Tua Palavra me impulsiona
A prosseguir,
Não desistir.
Tu me destes asas pra voar...”*

(Geraldinho Correia)

VIABILIDADE TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO DE UMA PLANTA SOLAR FOTVOLTAICA FLUTUANTE NO RESERVATÓRIO DE PRAZERES-CE

RESUMO

A implantação de sistemas fotovoltaicos flutuantes (FVF) tem tomado grandes proporções ao longo dos últimos anos, visto que, a busca por geração de energia limpa e renovável é fundamental ao tratar de desenvolvimento sustentável, assim sendo, as plantas fotovoltaicas flutuantes se destacam quanto a diminuir a degradação de áreas para instalações de sistemas convencionais em terra e na geração eficiente de energia. Por outro lado, pode sim, desencadear desafios e impactos durante a inserção e manutenção desses sistemas. À vista disso, objetivou-se com este projeto realizar o dimensionamento de uma planta solar fotovoltaica flutuante no açude Prazeres, localizado no município de Barro – CE, região semiárida brasileira que oferece vantagens para a formação desse estudo, com dados coletados referentes a 18 anos, e ainda, referenciar possíveis impactos causados pela implantação de tal sistema. Fundamentado nas características do reservatório, a finalidade central é a utilização da metodologia para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos flutuantes (FVF) a partir da Curva de Permanência (CP) do açude. Foram realizados quatro passos principais: coleta da série histórica do açude, elaboração da CP pertinente a área inundada, admissão dos níveis de confiabilidade e análise dos limites obtidos para a instalação da planta FVF, e ainda, resultados da capacidade instalada e produção elétrica diária baseada em dados da produção fotovoltaica (FV) da área. Adotou-se dois cenários no quesito de geração de energia elétrica. O 1º cenário com o nível de confiabilidade de 90% e o 2º cenário com confiabilidade de 70%. Adotou-se dois tipos de módulos para cada cenário, um módulo de 245Wp e outro de 275Wp. A geração anual de energia elétrica no reservatório estudado pode alcançar a 84,66 GWh e 196,13 GWh. Contudo, a instalação da planta FVF é meramente um dos pilares para o alcance de melhoria de gestão do sistema energético, visto que, para alcançar uma integral eficiência, o consumo consciente e a preocupação com os impactos e o estudo prévio da área são de fundamental importância, visando a colaboração nessa busca constante por sistemas energéticos sustentáveis e que contribuam de forma ecologicamente equilibrada com o meio ambiente.

Palavras – chave: Energias Renováveis; Sistemas fotovoltaicos; Cenário; Impactos; Dimensionamento.

TECHNICAL FEASIBILITY FOR INSTALLING A FLOATING SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT IN THE PRAZERES RESERVOIR - CE

ABSTRACT

The implementation of floating photovoltaic systems has taken great proportions over the last few years, since the search for clean and renewable energy generation is fundamental when dealing with sustainable development, therefore, floating photovoltaic plants stand out in terms of reducing degradation of areas for the installation of conventional systems on land and in the efficient generation of energy. On the other hand, it can trigger challenges and impacts during the insertion and maintenance of these systems. In view of this, the objective of this project was to carry out the design of a floating photovoltaic solar plant in the Prazeres reservoir, located in the municipality of Barro - CE, a Brazilian semi-arid region that offers advantages for the formation of this study, with data collected for 18 years, and also, reference possible impacts caused by the implementation of such a system. Based on the characteristics of the reservoir, the central purpose is to propose a methodology for dimensioning FVF systems based on the Permanence Curve (CP) of the weir. Four main steps were carried out: collection of the historical series of the weir, elaboration of the CP pertinent to the flooded area, admission of reliability levels and analysis of the limits obtained for the installation of the PVF plant, and also, results of the installed capacity and daily electric production based on on photovoltaic (PV) production data in the area. Two scenarios were adopted in terms of energy generation. The 1st scenario with a 90% reliability level and the 2nd scenario with 70% reliability. Two types of modules were adopted for each scenario, a 245Wp module and a 275Wp module. The annual electric energy generation in the studied reservoir can reach 5,874 GWh and 14, 745 GWh. However, the installation of the PVF plant is merely one of the pillars for achieving an improvement in the management of the energy system, since, in order to achieve full efficiency, conscious consumption and concern for impacts and the prior study of the area are fundamental importance, aiming to collaborate in this constant search for sustainable energy systems that contribute in an ecologically balanced way to the environment.

Keywords: Renewable Energy; Photovoltaic Systems; Scenario; Impacts; Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da capacidade instalada de geração de energia fotovoltaica no mundo, entre 2010 e 2019.	21
Figura 2: Matriz energética Brasileira	22
Figura 3: Composição de uma célula fotovoltaica.	23
Figura 4: Módulos fotovoltaicos em solo e flutuantes	24
Figura 5: Esquema de um sistema fotovoltaico flutuante.....	25
Figura 6: Benefícios e desafios da solar flutuante.....	28
Figura 7: Fluxograma do material e métodos	31
Figura 8: Mapa de localização do município de Barro – CE.....	32
Figura 9: Localização do reservatório.	33
Figura 10: Açude Prazeres, Barro – CE	34
Figura 11: Imagem do Portal Hidrológico do Ceará (Agosto/2022).	35
Figura 12: Evolução do volume armazenado do açude Prazeres (Agosto/2022)	36
Figura 13: Dados do açude Prazeres (Agosto/2022).	36
Figura 14: CAV do açude Prazeres (Agosto/2022).	37
Figura 15: 1º Passo - Regressão polinomial de segunda ordem no LibreOffice Calc. ..	37
Figura 16: 2º Passo - Regressão polinomial de segunda ordem no LibreOffice Calc. ..	38
Figura 17: Planilha de construção da CP do açude Prazeres com dados diários de 2004-2022.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais resultados para o açude Prazeres	44
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dez estudos realizados sobre entraves e desafios dos projetos de instalação de usinas fotovoltaicas flutuantes.....	30
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- CP da área inundada do açude Prazeres com dados diários de 2004-2022...	40
Gráfico 2-Representação da CP da área inundada do açude Prazeres, com a [Área] _FVF mínima e máxima (dados de 2004-2022).....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAV - Cota-Área-Volume

CE - Ceará

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

CP - Curva de Permanência

DNOCS - Departamento de Nacional de Obras Contra as Secas

FV - Fotovoltaica

FVF - Fotovoltaicas Flutuantes

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 Geral	19
2.2 Específicos.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 Energias Renováveis.....	20
3.2 Energia Solar	20
3.3 Sistemas Fotovoltaicos	22
3.4 Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes	24
3.5 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes	26
3.6 Impactos Ambientais	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1. Tipo de pesquisa	31
4.2. Mapeamento da Área de Estudo	32
4.3. Caracterização dos impactos ambientais	34
4.4. Metodologia de dimensionamento de uma usina fotovoltaica flutuante	34
4.4.1 Dados históricos	35
4.4.2 Curva de Permanência (CP)	38
4.4.3 Determinação dos níveis de confiabilidade	40
4.4.2 Capacidade instalada do sistema FVF	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1. Prazeres.....	42
6 CONCLUSÕES	45
7. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos, a humanidade utilizou os recursos naturais do planeta para atender às suas necessidades energéticas, sem se preocupar muito com os efeitos que teriam sobre o meio ambiente. A geração de energia tradicional vem causando diversos impactos ambientais como elevadas quantidades de gases do efeito estufa que desencadeiam as mudanças climáticas, poluição atmosférica, alagamentos, além de poluição hídrica e do solo nas áreas de suas instalações. Os impactos ambientais gerados por essa questão tem sido temáticas bastantes discutidas e crescentes mundialmente. As fontes renováveis de energia estiveram no centro dessas discussões por serem consideradas capazes de mitigar as consequências geradas pelas chamadas matrizes convencionais de energias.

Teoricamente, todas as formas de geração de energia causam algum impacto ambiental em maior ou menor grau. A preocupação com o mesmo decorre da crescente conscientização de que a vida na Terra precisa de recursos naturais para manter o equilíbrio, enquanto a sociedade necessita de energia elétrica para seu desenvolvimento. A situação atual exige pesquisas sobre atividades, introdução de novos conceitos, técnicas, equipamentos, materiais e produtos que afetam negativamente o meio ambiente, em vista de alcançar soluções para a causa desses impactos (CAMPOS, RODRIGUES, 2021).

Para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, a introdução da gestão ambiental como parte integrante do alvo principal das empresas de energia elétrica contribui buscando formas de diminuir os impactos ambientais negativos causados pela intervenção das atividades industriais e ao mesmo tempo gerenciar os possíveis impactos, evitando-os, eliminando-os, minimizando-os ou corrigindo-os, desde a implantação do empreendimento (BRAGA, FERREIRA, 2015).

Dessa forma, as fontes sustentáveis e renováveis de geração de energia são fundamentais para a contribuição ambiental, além de cooperarem com a diminuição dos efeitos contrários a economia e a sociedade. Nesse sentido, a urbanização também é um fator preocupante no que trata do consumo de energia, sabendo-se que com o aumento populacional, conseqüentemente se aumenta a demanda de utilização, esse processo igualmente é resultante da industrialização de bens e serviços, bem como do consumismo.

É sabido que o Brasil é um grande exemplo quando se trata de uso de energias renováveis, porém, torna-se importante ressaltar que é válido sempre buscar diferentes fontes para a extração de energia. Com isso, a energia solar se transforma em uma opção viável tendo em vista seus inúmeros benefícios que fazem com que sejam amenizados seus impactos no meio ambiente, diminuindo e evitando colapsos ambientais. Ademais, a transformação da energia solar para a geração de eletricidade conta como algumas de suas vantagens: a intervenção silenciosa e a não difusão de poluidores (SILVA *et al*, 2019).

Nesse sentido, a energia solar FVF entra como uma das alternativas de geração energética renováveis e sustentáveis, apesar de ainda desencadear alguns impactos nos locais de sua implementação, essa fonte se torna mais viável no quesito de sustentabilidade comparada as opções tradicionais. O sistema FVF conta com vantagens como a redução de evaporação nos corpos hídricos em que são instalados (REGES, 2022), e também não é necessário a disposição de terras como o sistema FV instalado em solo. Por outro lado, o mesmo pode afetar, a vida aquática, fatores como a capacidade de precipitação no seu local de inserção, tal como, ter influência significativa no âmbito socioambiental, assim como também os custos de instalações e de manutenções que se tornam relativamente caros, por se tratar de um sistema novo, os materiais necessários para suas instalações são, por hora, responsáveis pela a grande maioria dos gastos da construção do sistema.

Além disso, o sistema FVF, diferentemente do sistema instalado em solo, conta com uma vantagem que é a ampliação da efetividade dos módulos fotovoltaicos, as quais são comprovadas cientificamente em vários estudos publicados, onde afirmam que o nível de temperatura de operação dos módulos instalados em água tem uma tendência maior de serem mais baixas, podendo ser influenciado devido aos locais onde as placas fotovoltaicas são instaladas, o clima local e a estrutura flutuante utilizado nos módulos (EPE,2020).

De acordo com Porto *et al.* (2017), a região semiárida do Nordeste do Brasil, onde se localiza a área de estudo, é um cenário crítico para o problema hídrico, sendo a evaporação dos recursos hídricos um dos principais responsáveis por esta situação. Assim, a instalação de painéis FVF em reservatórios de água é um meio de contribuir para a redução da evaporação dos corpos d'água e também ajuda a aumentar sua eficiência de conversão do calor em energia elétrica.

Com base nesse cenário, o presente trabalho busca realizar o dimensionamento de uma planta solar fotovoltaica flutuante em uma área do reservatório Prazeres, situado no município de Barro – CE. Partindo de informações quantitativas e qualitativas do local escolhido, visando mostrar a viabilidade dessa instalação como também, os possíveis impactos ambientais que a citada planta FVF pode fomentar.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a viabilidade técnica de uma proposta de dimensionamento da instalação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em reservatório de água para abastecimento humano na cidade de Barro – CE.

2.2 Específicos

- Elaborar o mapeamento da área estudada;
- Dimensionar uma planta fotovoltaica flutuante para o reservatório de Barro – CE;
- Analisar o gráfico da curva CP dos cenários propostos, a área de confiabilidade e ainda, obter valores da capacidade instalada da planta FVF e potencial elétrico;
- Analisar os impactos ambientais, positivos e negativos, da implantação de um sistema fotovoltaico flutuante, bem como, realizar um levantamento bibliográfico das implicações da implantação de uma planta fotovoltaica flutuante no ecossistema aquático do reservatório.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energias Renováveis

Com o avanço das mudanças climáticas, as energias renováveis aparecem como uma opção viável para reduzir as consequências da crise ambiental, mesmo não sendo totalmente capaz de substituir o sistema convencional de geração de energia elétrica, no quesito de oferta de energia. Na tentativa de alcançar a diminuição dos impactos socioambientais causados pelas fontes de energia tradicionais e buscando a preservação dos recursos naturais tem se intensificado a pesquisa e a utilização de fontes alternativas de energia com menor custo ambiental, socialmente responsáveis chamadas energias renováveis (AGUILAR, OLIVEIRA, ARCANJO, 2012).

O uso de fontes renováveis de energia não é um assunto novo. Na prática, os primeiros aproveitamentos aconteceram a muitos séculos atrás, integrando parte da própria história da humanidade (RODRIGUES et al, 2017). Mais recentemente, o aproveitamento destas fontes recebeu inúmeras melhorias tecnológicas e a crescente demanda por alternativas energéticas, e principalmente sustentáveis, fez que com essas tecnologias arcaicas fossem revisitadas e adaptadas. De maneira geral, as fontes de energia renovável oferecem apenas uma pequena fração da energia se comparado com as grandes centrais energéticas (DUPONT et al, 2015).

3.2 Energia Solar

Existem diferentes formas de aproveitamento da energia do sol para diferentes fins, como a concentração de raios solares para o aquecimento de sistemas de água ou o aquecimento de residências. Entre as muitas formas de aproveitamento da energia solar está a produção de energia elétrica a partir de sistemas FV. Dado o potencial de aproveitamento dessa energia, compreende-se que a energia solar está no centro das discussões e definições de política energética de diversos países desenvolvidos e emergentes (ESPOSITO, FUCHS, 2013).

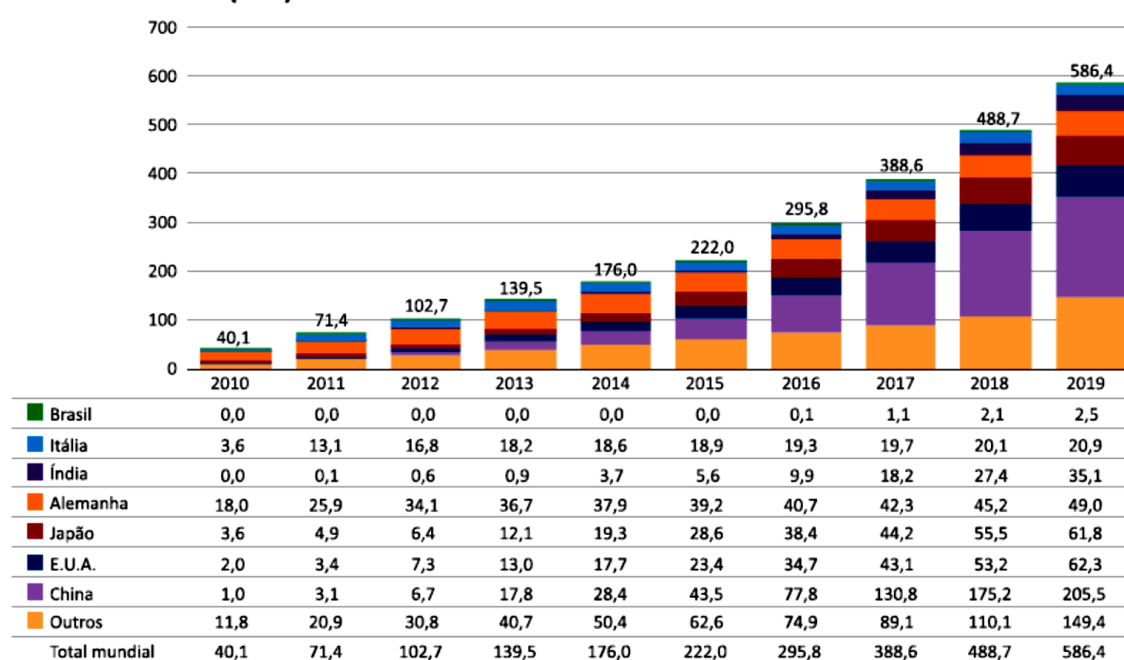
A busca constante por melhorias no setor energético aumentou os esforços de pesquisas e os investimentos em tecnologias que utilizem recursos naturais renováveis,

para diversificar a matriz energética, e com isso, a energia solar fotovoltaica se tornou conhecida e expandiu seu mercado econômico e acadêmico (ALMEIDA et al, 2016).

No Brasil, quando o assunto é política energética, a energia solar fotovoltaica está entre as diversas opções que o país dispõe em sua matriz energética (Fig. 1 e 2). O País também oferece fatores e condições que viabilizam a instalação de um sistema FVF. Dessa forma, considerando que os sistemas FV produzem energia elétrica a partir do efeito fotoelétrico e fazendo uma explanação sobre o mesmo, podemos considerar que um módulo fotovoltaico consiste em unidades menores chamadas células fotovoltaicas. As células funcionam absorvendo fótons, elementos energéticos presentes na luz solar. Os fótons absorvidos excitam os elétrons, que fluem através das células fotovoltaicas e geram eletricidade (FREIRE, 2017).

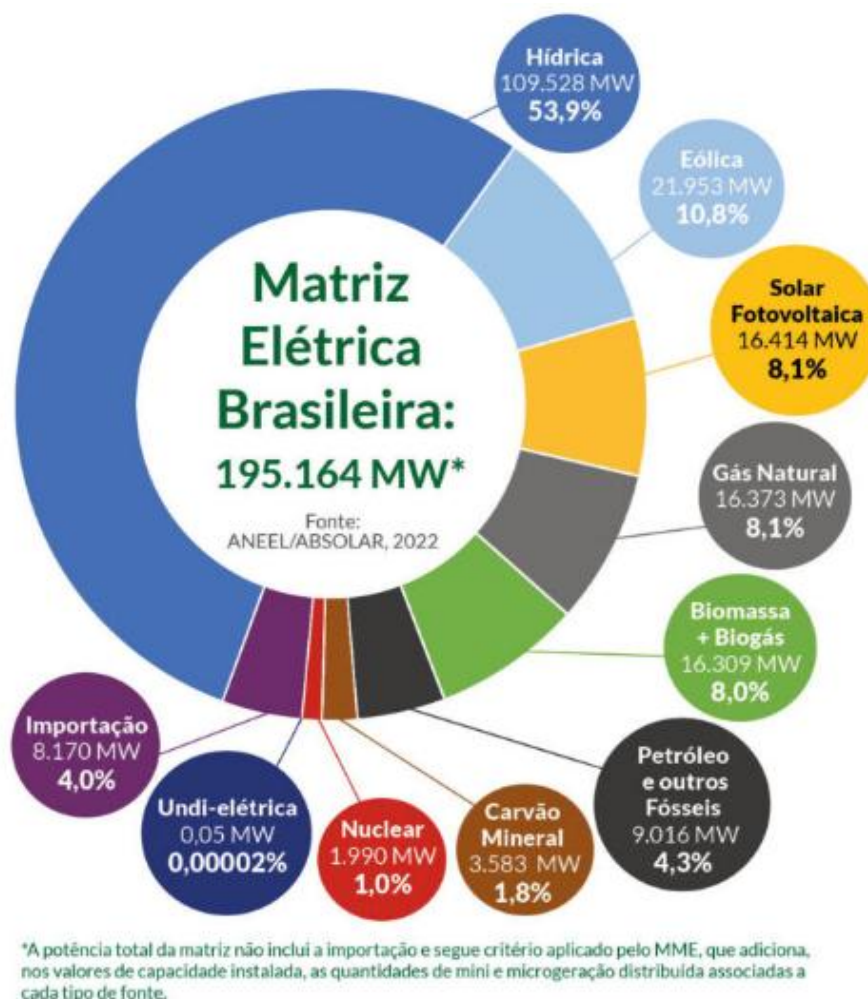
A usina solar fotovoltaica flutuante é um novo conceito mundial, diversos projetos de demonstração estão em andamento em todo o mundo. Sabendo-se que muitos lugares não possuem terrenos suficiente para sistemas fotovoltaicos tradicionais e que o mesmo degrada vastas áreas para sua instalação, os sistemas solares flutuantes, são uma ótima proposta, pois podem ser instalados em corpos d'água como oceanos, lagos, lagoas, bacias, lagoas de irrigação, estações de tratamento de esgoto, fazendas, barragens e canais, etc (BORBA E NOVAK, 2018).

Figura 1: Evolução da capacidade instalada de geração de energia fotovoltaica no mundo, entre 2010 e 2019.



Fonte: Renewable Energy (2020). Elaboração: BNB/ETENE.

Figura 2: Matriz energética brasileira



Fonte: ABSOLAR (2022).

3.3 Sistemas Fotovoltaicos

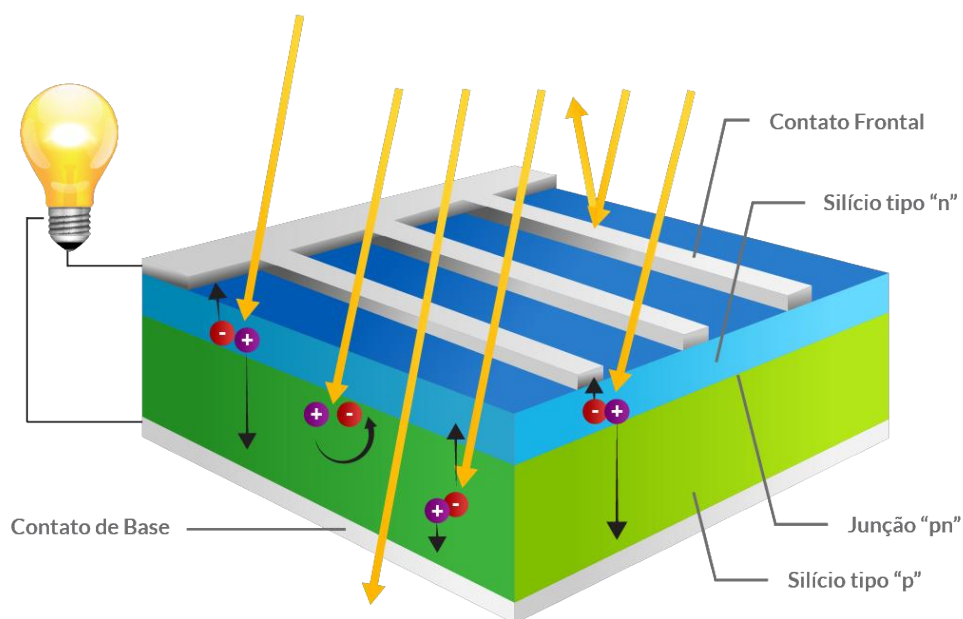
Conforme Fadigas (2012), um dos iniciadores na pesquisa do poder fotovoltaico foi o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que descobriu em 1839 que a energia solar pode ser convertida em energia elétrica. Os experimentos foram realizados por ele, com eletrodos expostos à luz e imersos em um eletrólito.

Atualmente, são realizadas diversas pesquisas para a fabricação de células fotovoltaicas para garantir maior eficiência e evitando a degradação ao meio ambiente. Com essa inovação tecnológica, é possível entender e visar a importância do sol como fonte de calor, luz, vida, energia e também eletricidade. Trazendo, dessa

forma, maiores benefícios sociais, energéticos e ambientais no desenvolver desse recurso.

Os sistemas fotovoltaicos produzem energia elétrica a partir do efeito fotoelétrico que consiste na obtenção de corrente elétrica quando fótons provenientes da radiação solar incidem sobre um material semicondutor previamente purificado e dopado. O material semicondutor mais utilizado na produção de uma célula fotovoltaica é o silício, o mesmo amplamente utilizado na indústria eletrônica. Para que o silício atue como um bom semicondutor e induza o efeito fotoelétrico ele precisa passar pelo processo de “dopagem” em que elementos químicos, como boro e fósforo são adicionados com a finalidade de alterar as propriedades elétricas do mesmo. Nesse sentido, esse processo resulta na conversão de energia solar em energia elétrica por intermédio de células fotovoltaicas, que concentram a radiação elétrica (Fig.3) (ALVES 2019).

Figura 3: Composição de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Blue Sol Energia Solar (2019).

De modo geral, os sistemas fotovoltaicos são instalados no solo, usando o apoio de construções (casas, edifícios, pontos comerciais etc.), geralmente eles já são direcionados para o Norte, onde ocorre um maior índice de radiação solar, garantindo maior eficiência. Além do mais é existente a possibilidade dos painéis serem fixados

com os chamados “trackers” que é um dispositivo que permite alterar a posição dos painéis, permitindo que eles acompanhem mecanicamente o movimento solar (REEVISA, 2021).

Borba e Novak (2018), afirmam que a difusão da energia solar fotovoltaica favoreceu para que os módulos fotovoltaicos se tornassem muito mais acessíveis. À vista disso, vem ocorrendo uma diversificação na forma de instalação das usinas, podendo ser montadas no solo, telhados de residências ou edifícios, suspensas sobre canais de água, offshore (plataformas) e flutuantes sobre lagos e reservatórios.

Figura 4: Módulos fotovoltaicos em solo e flutuantes



Fonte: Cesar, (2021).



Fonte: Sousa, (2020).

3.4 Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes

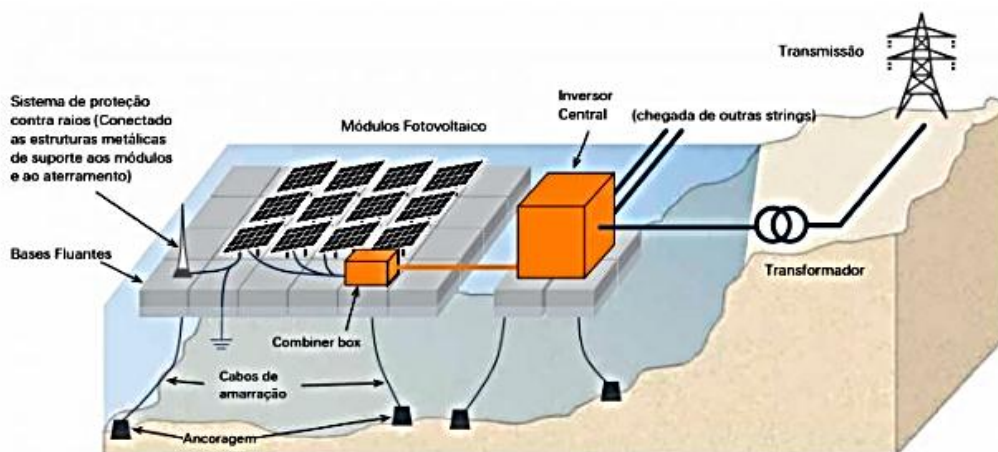
Segundo Gouveia e Costa (2017), as usinas fotovoltaicas flutuantes são caracterizadas, basicamente, pela estrutura que faz o suporte dos flutuadores, o conjunto de amarrações que são responsáveis por fazerem a ancoragem do sistema, as placas fotovoltaicas e o suporte que faz a transferência de energia dos flutuadores até a terra.

Essa modalidade de instalação de sistemas fotovoltaicos começou a ser explorada em 2007 com a instalação de um sistema de 20 kWp em Aichi, no Japão, e cresceu rapidamente, atingindo a capacidade do primeiro megawatt em dois anos. Em 2010, a primeira usina de rastreamento FPV com capacidade de 200 kWp foi desenvolvida na Itália, enquanto a potência acumulada total foi de 2,2 MWp. A primeira planta fotovoltaica flutuante de grande escala com capacidade de 1,18 MWp foi

instalada no Japão em 2013. Consequentemente, mais plantas flutuantes com capacidade de pico em dezenas e centenas de megawatts foram adicionadas ao mercado global, o que acelerou drasticamente a implantação da tecnologia (GORJIAN *et al.*, 2020).

Os sistemas solares FVF geram mais eletricidade do que os sistemas de montagem no solo e de telhado devido ao efeito de resfriamento da água. Também reduz a evaporação do reservatório e o crescimento de algas sombreando a água. As plataformas flutuantes são 100% recicláveis, utilizando polietileno de alta densidade que pode resistir aos raios ultravioleta e à corrosão (SAHU, YADAV, SUDHAKAR, 2016). (Fig. 5).

Figura 5: Esquema de um sistema fotovoltaico flutuante.



Fonte: Oliveira (2021).

O uso de sistemas fotovoltaicos flutuantes em superfícies de água, como é o caso de reservatórios de hidrelétricas e reservatórios para irrigação pode trazer o benefício de reduzir a evaporação de água nestes locais, além do benefício de produzir eletricidade. Esse tipo de instalação mostra-se muito eficaz para regiões do semiárido, que sofrem constantemente com a escassez hídrica, além de gerar energia elétrica através de uma fonte renovável para a população (PORTO *et al.*, 2017).

Por outro lado, alguns impactos negativos como sombreamento da água com possibilidade de diminuição da taxa fotossintética e os consequentes efeitos ecológicos. Outros possíveis problemas estão relacionados aos múltiplos usos especialmente aos possíveis efeitos socioambientais como interferência nas atividades de pesca, piscicultura, navegação e usos recreativos do corpo d'água, além do impacto na

biodiversidade do local. (LIRA; SILVA; LIMA, 2021 apud World Bank Group; SERIS; ESMAP, 2018).

3.5 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes

O dimensionamento é uma etapa fundamental do processo de planejamento de um empreendimento de aproveitamento fotovoltaico. No caso dos sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios a eficácia, capacidade e potência do sistema são diretamente proporcional à área ocupada pelo mesmo. Dessa forma, em reservatórios onde consiste açudes, a área inundada disponível torna-se um fator determinante e primordial no dimensionamento do sistema.

Entre as metodologias utilizadas para dimensionar os sistemas fotovoltaicos flutuantes a abordagem utilizada por Strangueto (2016) estabelece um percentual da extensão dos reservatórios, observando levemente dois cenários: 8% e 80% da extensão inundada em reservatórios de hidrelétricas no Brasil. Foram analisados 165 reservatórios; onde para o cenário de 80% foi alcançada uma potência instalada de 4.519 GWp ocupando uma extensão de 20.042,51 km², com um desenvolvimento produtivo de 4.443 TWh/ano (2.106 MWh/ano/hectare), um fator de capacidade médio de 17% e uma potência por extensão de 0,23 kWp/m². De acordo com Silva e Souza (2017) que estabeleceu módulos, realizando uma estimativa da geração de eletricidade no lago Bolonha (1.800.000 m²), Belém, PA: 112 módulos foram levados em consideração, com uma área de extensão total de 183 m²; a área do sistema FVF representa 0,01% da extensão do lago. Um desenvolvimento de 38.012 kWh é estimado com um fator de capacidade de 15,5%. Nesse sentido, os estudos realizados não consideram aspectos relevantes a questão da profundidade dos reservatórios e as variações de coeficiente e extensão inundada.

Por outro lado, a metodologia de Teixeira et al. (2015) simulou a operação diretriz de um sistema FVF (60 kWp) juntamente com uma hidrelétrica (227 kW) no reservatório de Val de Serra, no Brasil; de acordo com os autores a definição das potências foram realizadas com aplicação de um programa denominado Homer. Vasco et al. (2018) também simularam a operação diretriz de um sistema fotovoltaico flutuante e uma hidrelétrica no lago Laranjeiras, sul do Brasil; a eficiência do mesmo foi fixada para avaliar a extensão ocupada. Já de acordo com Rodrigues et al. (2020) para a

determinação da extensão ocupada pelo citado sistema consideraram a curva de permanência do reservatório Gavião, localizado no CE, região nordeste do Brasil. Porém, devido a extensão inundada da represa permanecer estável em 5 km², esta extensão é considerada para o sistema; apesar do 5 km² disponíveis, apenas foram utilizados 3,3 km² (47% extensão total do reservatório). A eficiência do sistema fotovoltaico flutuante simulada para a extensão escolhida é de 492 MWp.

3.6 Impactos Ambientais

Na Resolução CONAMA N° 01 de 1986 impactos ambientais são definidos como:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais” (CONAMA, 1986).

De acordo com a associação brasileira de normas técnicas (ABNT, 2015), impacto ambiental é toda modificação no meio ambiente, tanto adversa quanto benéfica, total e ou parcial resultante dos aspectos ambientais de uma organização.

Para Almeida, Garrido e Almeida (2017), também é considerável mencionar que as alterações na área socioeconômica são consideradas como impactos ambientais. Embora alguns autores não associem o ser humano com meio ambiente, a legislação brasileira e a maioria dos estudiosos da área entendem que o homem está incluído no meio ambiente.

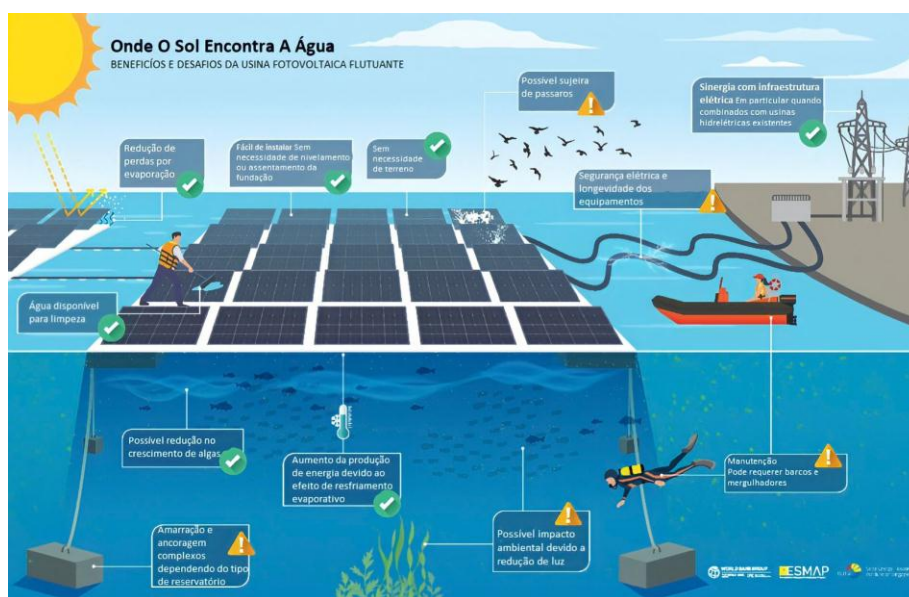
De acordo com Alves (2019), alguns impactos da concepção fotovoltaica são relacionados a prática e ocupação do solo - estão associados à edificação das usinas, movimento de terra, a introdução de vias de acesso. De processo complementar, cabe ressaltar que podem ocorrer algumas interferências sobre a fauna e a flora, se as usinas demandarem uma supressão significativa da vegetação, e ainda causar impactos

negativos na paisagem. Outro aspecto essencial é a localização de alojamento das usinas, uma vez que o excesso de pó e vento haverá a indispensabilidade de uma purificação diferenciada dos painéis, por intermédio da admissão de novas tecnologias e processos ou de maior admissão do uso de água.

Nesse mesmo sentido, Gouveia e Costa (2017) afirma que, quando se trata de um sistema FVF, os tipos de instalações se tornam bastantes expostos à água, por ser uma usina que está rodeada de água, o que pode implicar diretamente na conservação e na geração de energia elétrica, além disso, a grande exposição na qual os módulos são submetidos faz com que o sistema se torne sujeito às várias condições de tempo, como por exemplo fortes ventanias e cheias, o que pode afetar negativamente a estrutura que faz a ancoragem dos módulos, por exemplo.

Sabe-se que a implantação de usinas fotovoltaicas flutuantes é um sistema novo, porém, alguns estudos já comprovaram as diversas vantagens que acompanham essa tecnologia, sendo a redução da evaporação dos reservatórios umas das principais a serem citadas por estudos sobre FVF. Em contrapartida, é possível listar alguns fatores negativos que são associados a esse sistema, como por exemplo a implicação no meio aquático devido à redução de luz causada pelas instalações dos módulos (Fig. 6.) (EPE,2020).

Figura 6: Benefícios e desafios da solar flutuante



Fonte: World Bank Group; SERIS; ESMAP (2019).

Os estudos para a conclusão e avaliação de possíveis impactos causados por sistemas FVF tem ganhado bastante espaço e são desenvolvidos com maior frequência, na Figura 8 são relatados alguns deles.

Os impactos ambientais surgem principalmente nas fases de planejamento, construção, operação e desativação das usinas FVF. São considerados impactos como desflorestamento, intensificação do tráfego de máquinas, ruídos, consumo de água para limpeza dos painéis, uso de supressores químicos de poeira, impactos na fauna, poluição visual, e impactos positivos, como geração de empregos diminuição dos níveis de evaporação. Dessa forma, conclui-se que o desflorestamento para a instalação, a mortalidade de aves, a erosão, o escoamento superficial e as mudanças climáticas são fatores de maior intensidade nas usinas FV convencionais, comparadas as usinas FVF (DA SILVA; BRANCO, 2018).

Quadro 1: Dez estudos realizados sobre entraves e desafios dos projetos de instalação de usinas fotovoltaicas flutuantes.

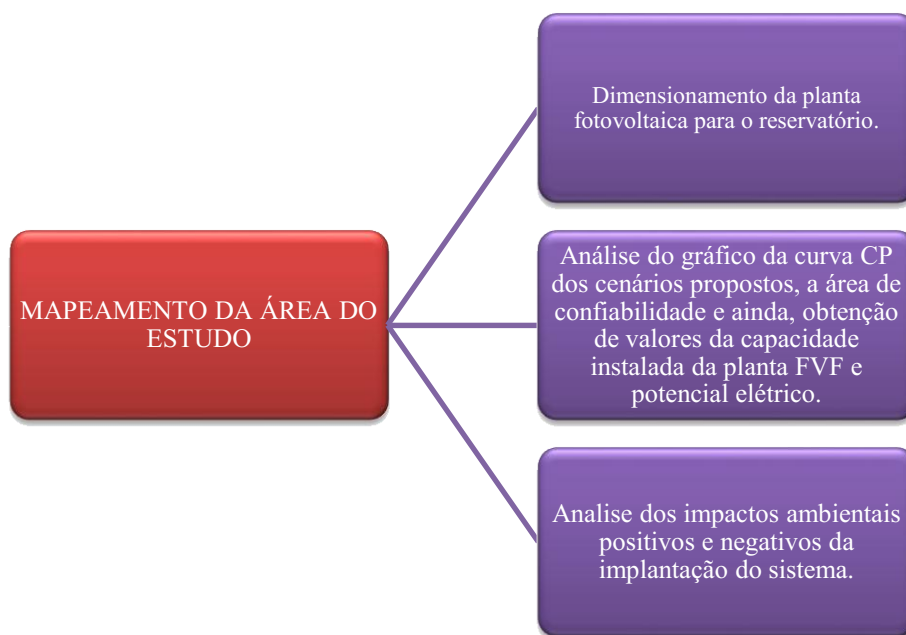
Título do Estudo	Autor/Ano	Local	Geração de Energia/Área	Objetivo	Entraves e Desafios	Resultado/Conclusão
Usinas fotovoltaicas flutuantes como alternativa de geração de energia e redução de evaporação no Sistema Cantareira de abastecimento de São Paulo	DIAS (2021)	SÃO PAULO-SP	1 MWp/5.925 m ²	Realizar um estudo técnico e econômico da instalação de usinas fotovoltaicas flutuantes nos mananciais que abastecem o Sistema de Cantareira, estimando quanto pode ser gerado de energia e a quantidade de água evaporada que pode ser evitada.	Venda de energia gerada pela usina fotovoltaica flutuante em leilões ou contratação livre e avaliações técnicas, econômicas, sociais e ambientais.	Diante do exposto, o estudo estimou uma redução na taxa de evaporação das represas e o aumento na geração extra de energia gerada a partir das usinas fotovoltaicas flutuantes.
Plataforma fotovoltaica flutuante de Sobradinho (BA) - desafios e estratégias de implantação	RODRIGUES et al. (2020)	SOBRADINHO-BA	2,5 MWp/27.000m ²	Estudar os fatores relacionados à interação entre a tecnologia solar flutuante e a operação de usinas hidrelétricas.	Alto índice de pH na água e outros elementos químicos, atender a todos os atuais requisitos técnicos e de segurança necessários.	A tecnologia fotovoltaica flutuante instalada no reservatório com a operação conjunta de usinas hidrelétricas é uma alternativa em potencial para compensar as vulnerabilidades da energia hidrelétrica e otimizar a produção de energia dos dois sistemas.
Estudo de viabilidade técnica de usina solar fotovoltaica flutuante para suprir consumo da Universidade de Brasília	SILVA & SHAYANE. (2020)	BRASÍLIA-DF	15,3 MWp/84.300 m ²	Estudar duas modalidades de aplicação da tecnologia fotovoltaica, isto é, sistema de grande porte e sistema flutuante, através de um estudo de viabilidade.	Produção anual de energia igual ao consumo anual de energia da universidade	O estudo de viabilidade realizado determinou que a implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica na UnB é tecnicamente viável e a produção anual de energia do sistema é igual ao consumo anual de energia da Universidade de Brasília.
Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos experimentais no reservatório da UHE de Santa Clara	FRANCO et al., (2020)	PINHÃO-PR	100,74 kWp/ NÃO DISPONÍVEL	Comparar a produção real entre um sistema fotovoltaico flutuante e três sistemas fotovoltaicos em solo.	Eventos climáticos e viabilidade econômica.	Como resultado, a energia gerada durante o estudo foi inferior a 56% do valor médio observado nos últimos três meses desde a sua ligação à rede. Para este experimento, RETScreen mostrou que durante os 25 anos de escopo do projeto, a produção anual de energia para a rede foi de aproximadamente 131 MWh. Porém, devido ao um incidente, foi obtida uma potência de aproximadamente 80 MWh.
Estudo sobre usinas solares flutuantes em reservatórios de água no Brasil: Estudo de caso no Rio Mossoró	CARVALHO (2020).	MOSSORÓ-RN	108524,26 kWh/4767,42 m ²	Apresentar os conceitos básicos dos sistemas solares tradicionais e os componentes básicos dos sistemas solares flutuantes. Por fim, serão apresentadas as dimensões da usina solar flutuante planejada para o município de Mossoró-RN, que poderá ser instalada na superfície do rio Mossoró.	Sinuosidade da área de instalação.	Observou-se o aumento do potencial energético, agregando energia que pode atender as necessidades de mais de 700 casas em seu sistema básico. Deve-se ressaltar que o dimensionamento utiliza apenas uma pequena parte de toda a área útil onde podem ser instalados equipamentos flutuantes. Entende-se também que a construção de usinas solares flutuantes não se limita ao caso de usinas hidrelétricas, mas inclui qualquer tipo de caso que tenha uma área de cobertura hídrica razoável e possa ser instalado e mantido.
Estudo de caso da utilização de energia fotovoltaica flutuante no reservatório de Passo Real	CEZAR (2019).	SALTO DO JACUI-RS	4,95 MWp/ 1,45 ha	Avallar o potencial de um empreendimento no reservatório, tais como levantamento de dados da usina hidrelétrica, pesquisa de radiação, dimensionamento da planta, geração de energia, possíveis materiais e equipamentos, possíveis impactos ambientais e prováveis localizações.	Atenuar riscos e impactos para a fauna, análise periódica da qualidade da água no local, acompanhamento de especialistas para identificação e correção de problemas.	O resultado constatou que a previsão de energia gerada pelo sistema de cada usina fotovoltaica flutuante aumente levemente em 0,26% no incremento de energia gerada.
Análise técnico-econômica de usina Fotovoltaica flutuante no Lago Paraná para redução no gasto com Consumo da Universidade de Brasília	RIOS (2019).	BRASÍLIA-DF	501,6 kW/148.516,25 m ²	Neste trabalho, foram apresentadas as análises técnicas e econômicas de dois tipos de usinas, solo e flutuante, para serem instaladas com o objetivo de compensar os custos com consumo da Universidade de Brasília – Campus Darcy Ribeiro.	Valores maiores para a instalação dos sistemas fotovoltaicos flutuantes em detrimento dos sistemas em solo.	A usina flutuante é economicamente viável e, apesar disso, a usina em solo é um melhor investimento.
Estudo de uma usina solar fotovoltaica flutuante em um lago de hidrelétrica – UHE Tucuruí	SOUSA (2017).	TUCURUÍ-PA	1 MWp/ 9.660,6 m ²	Reunir as bases teóricas necessárias para melhor compreender os temas relacionados: a implantação de usinas solares fotovoltaicas em lagos de reservatórios de energia hidrelétrica para aumentar a diversidade energética do país.	Validar algumas certificações de módulos fotovoltaicos e inversores solares de forma a selecionar produtos de qualidade comprovada no projeto e fabricação de um sistema de flutuação próprio.	O estudo mostrou que uma usina flutuante de 1 MW pode ser obtida em uma área de aproximadamente 10.000 metros quadrados, e 3.712 módulos de 270 W.
Estimativa de geração de energia através de um sistema fotovoltaico: Implicações para um sistema flutuante no Lago Bolonha, Belém-Pará.	SILVA & SOUZA (2017).	BELÉM-PA	38.012 kWh/ 183 m ²	Estimar a quantidade de energia elétrica que será gerada com a aplicação do projeto fotovoltaico usando o software SAM versão 2015.1.30.	Realizar estimativa baseada nos dados de um sistema em terra e perdas como: sombreamento, poeiras, perda nos módulos solares, conexão e fiação.	Demonstraram um potencial uso dessa tecnologia para uso de energia na própria estação de tratamento de água, no Parque do Utinga e até mesmo nas comunidades do entorno do parque.
Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes: análise do tema e estudo de caso para o lago da UNIFEI	LOPES & JUNIOR (2016).	ITAJUBÁ-MG	206 KWp/ 3.200 m ²	Analisar aspectos relacionados à instalação de sistemas solares fotovoltaicos na água, como lagos, mar e barragens.	Economia na receita com energia elétrica e status para instituição produtora de energia.	O estudo demonstrou que em caso do sistema solar fotovoltaico flutuante for instalado, estima-se que seria capaz de abastecer cerca de 15% da procura total de eletricidade em um ano.

Fonte: SIQUEIRA; SOUSA; LESS (2022).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada foi dividida em algumas etapas objetivando a melhor compreensão da pesquisa, como mostra a figura abaixo:

Figura 7: Fluxograma do material e métodos



Fonte: Autoria Própria (2022).

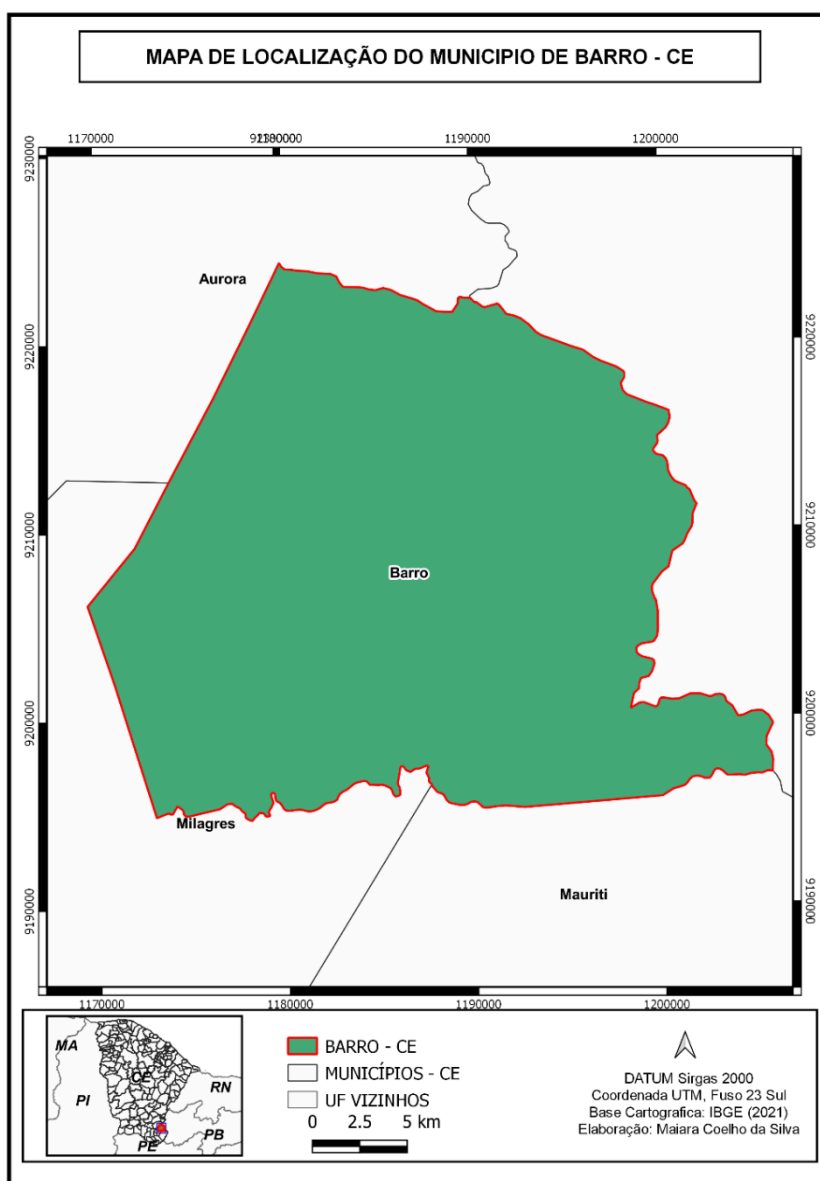
4.1. Tipo de pesquisa

Refere-se a um levantamento bibliográfico com base em fontes nacionais e internacionais, de embasamento técnico-científico, para obtenção de resultados específicos, os quais são determinados pela concretização do projeto. O estudo ainda é de caráter exploratório, portanto, por se tratar de um estudo muito específico, frequentemente assume a forma de estudo de caso, considerando a viabilidade da instalação do sistema FVF. Dessa forma, ainda foi adotada a metodologia quanti-qualitativa para obtenção de resultados concretos na realização do projeto.

4.2. Mapeamento da Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Barro – CE ($6^{\circ} 43' 0''$ Sul, e $38^{\circ} 52' 0''$ Oeste) e está distante a 336 km da capital do Estado, Fortaleza. É limitado pelos municípios de Lavras da Mangabeira, Cedro e Ipaumirim. Sua população é estimada para 2021 em 22.834 habitantes e possui uma área da unidade territorial de 711, 346 km^2 (IBGE, 2021).

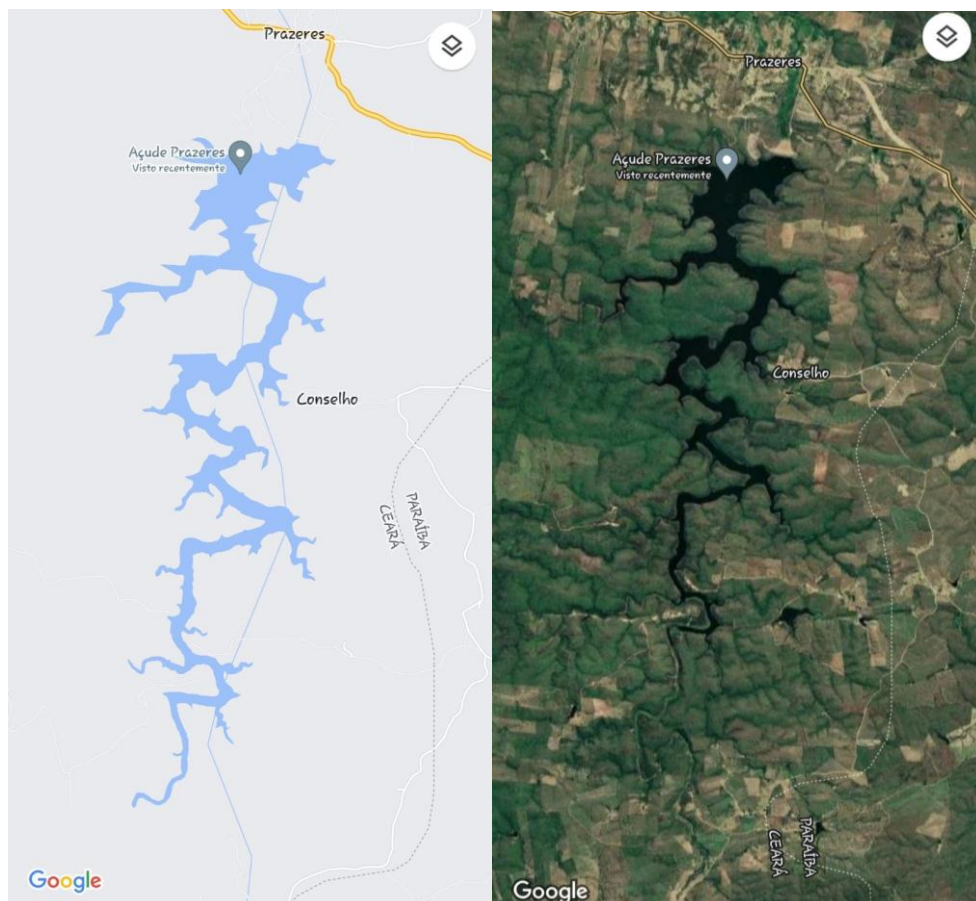
Figura 8: Mapa de localização do município de Barro – CE



Fonte: Autoria própria, 2022.

O açude Prazeres (Fig.10.), está localizado no município de Barro, no estado do Ceará, Brasil (Fig.9.). O município pertence à Mesorregião do Sul Cearense e Microrregião de Barro – CE. (IBGE,2021).

Figura 9: Localização do reservatório.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2022).

O açude Prazeres possui volume máximo de 32,50 hm³, atende ao consumo urbano na cidade de Barro – CE, possui uma vazão regularizada de 0,12 m³/s e sua unidade territorial corresponde a 139, 51 km² (CEARA, 2022). Além disso, as águas da represa servem como suporte às demandas de abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural, dessedentação animal e irrigação (ANA, 2016).

Figura 10: Açude Prazeres, Barro – CE

Fonte: ANA (2016).

4.3. Caracterização dos impactos ambientais

O estudo de caracterização dos impactos ambientais foi realizado a partir de fontes específicas como artigos, periódicos, fontes bibliográficas nacionais e internacionais que tratam dos possíveis impactos ambientais positivos e negativos que a instalação de uma planta solar fotovoltaica (como objetiva o trabalho), pode ocasionar no entorno do local da sua instalação. Dessa forma, foi realizada também uma análise qualitativa para possibilitar a identificação dos principais impactos que esse projeto poderia originar.

4.4. Metodologia de dimensionamento de uma usina fotovoltaica flutuante

O modelo matemático empregado na metodologia de dimensionamento de sistemas FVF foi desenvolvido por Reges (2022), no qual foi escolhido o açude Prazeres de uma região semiárida do Ceará. A metodologia utilizada foi dividida em quatro etapas. A primeira consiste em coletar os dados históricos do reservatório para a concretização da curva de permanência (CP) que se refere à área inundada do açude, logo após é realizada a escolha dos níveis de confiabilidade e verificação das condições limites para determinação da área onde será inserida a planta FVF e por fim é feito o cálculo da capacidade instalada da planta FVF e produção diária de eletricidade usando os valores diários de produtividade FV local. Para o cálculo da capacidade instalada no reservatório são utilizados dois módulos FV de diferentes fabricantes: KD245GX-LPB (245 Wp, 1,65 m²) e YL275P-35b (275 Wp, 1,95 m²).

Foram utilizados apenas os dados de cota e volume coletados em Ceará (2022). A partir dos dados de cota, foi obtido o histórico de área inundada por meio de uma regressão polinomial de segundo grau. Ao realizar a relação de cota com a área inundada do reservatório resulta em uma curva não linear, dessa forma, adotamos uma regressão polinomial de ordem dois, na qual a mesma representa a relação cota-área como mostra abaixo:

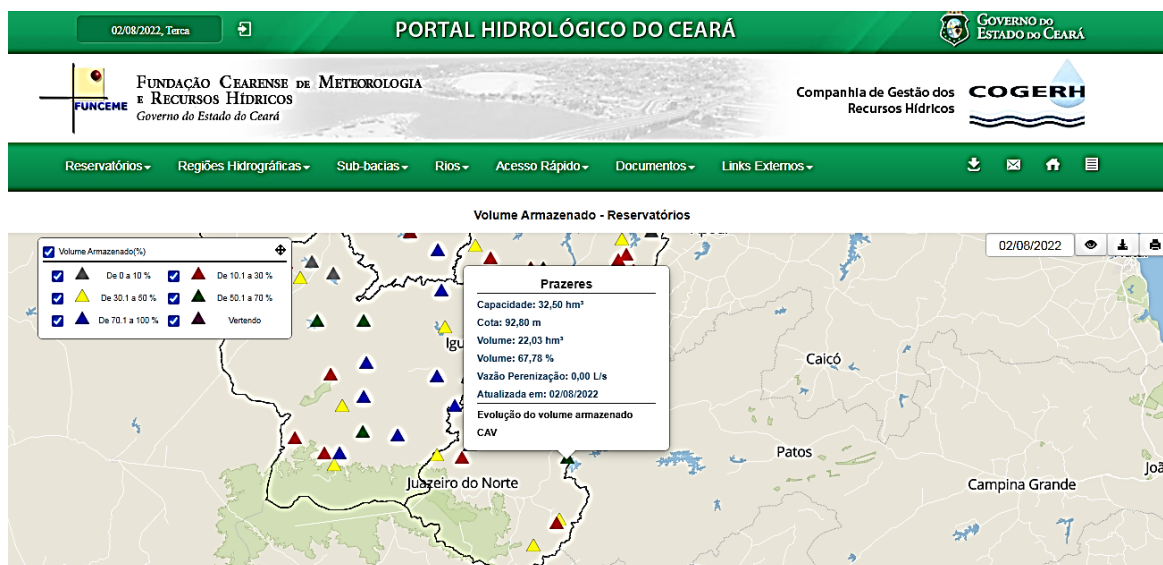
$$a = \beta_0 + \beta_1 b + \beta_2 b^2,$$

De modo que: a corresponde ao valor da área inundada, b ao valor da cota e β_i , $i = 0, 1, 2$ são os parâmetros de inclinação da curva.

4.4.1 Dados históricos

A série histórica do reservatório Prazeres que é monitorado pelo COGERH e DNOCS foi obtida no site do portal hidrológico do CE (Fig.12.).

Figura 11: Imagem do Portal Hidrológico do Ceará (Agosto/2022).

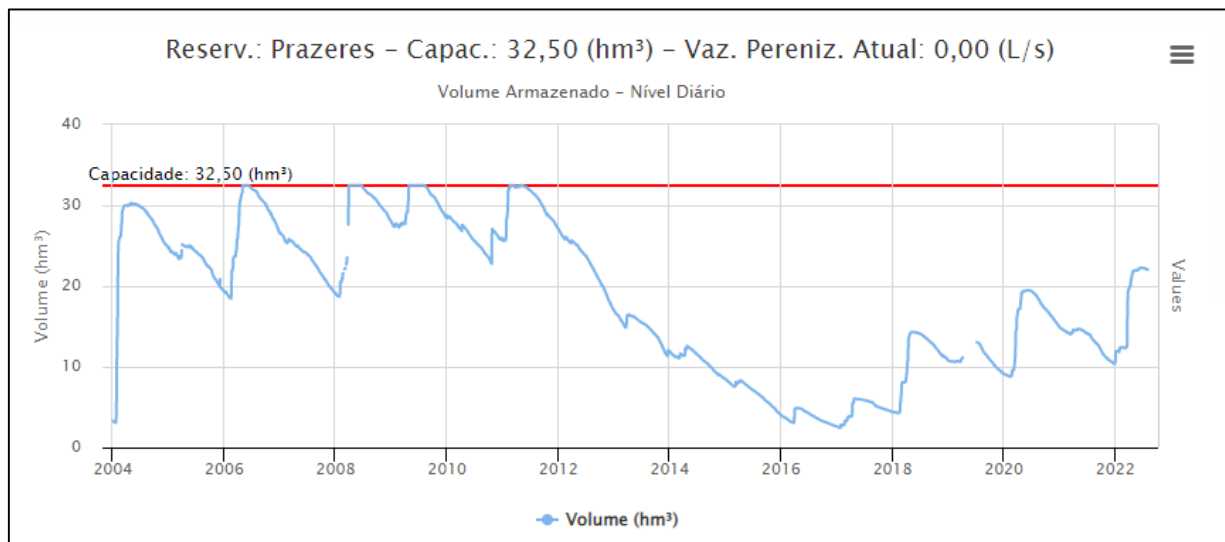


Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2022).

No portal hidrológico do Ceará são encontrados dados de todos os reservatórios registrados no Estado, cada reservatório possui informações de capacidade máxima (hm^3), cota (m), volume atual (hm^3), percentual do volume ocupado atualmente (%), vazão (L/s) e o dia de atualização dos dados. Assim como também é possível encontrar a progressão do volume armazenado (Fig.13.) e a curva da relação cota-área-volume

(CAV). No site ainda é possível encontrar os valores diários tabelados de volume e cota (Fig.14.).

Figura 12: Evolução do volume armazenado do açude Prazeres (Agosto/2022)



Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2022).

Figura 13: Dados do açude Prazeres (Agosto/2022).

Data	Cota (m)	Volume (hm ³)	Volume (%)
2022-08-02	92,80	22,03	67,78
2022-08-01	92,81	22,04	67,83
2022-07-31	92,82	22,06	67,88
2022-07-30	92,82	22,06	67,88
2022-07-29	92,82	22,06	67,88
2022-07-28	92,83	22,08	67,94
2022-07-27	92,83	22,08	67,94
2022-07-26	92,84	22,10	67,99
2022-07-25	92,84	22,10	67,99
2022-07-24	92,85	22,11	68,04

Exibindo de 1 a 10 de 6,789 registros

Primeiro Anterior 1 2 3 4 5 ... 679 Próximo Último

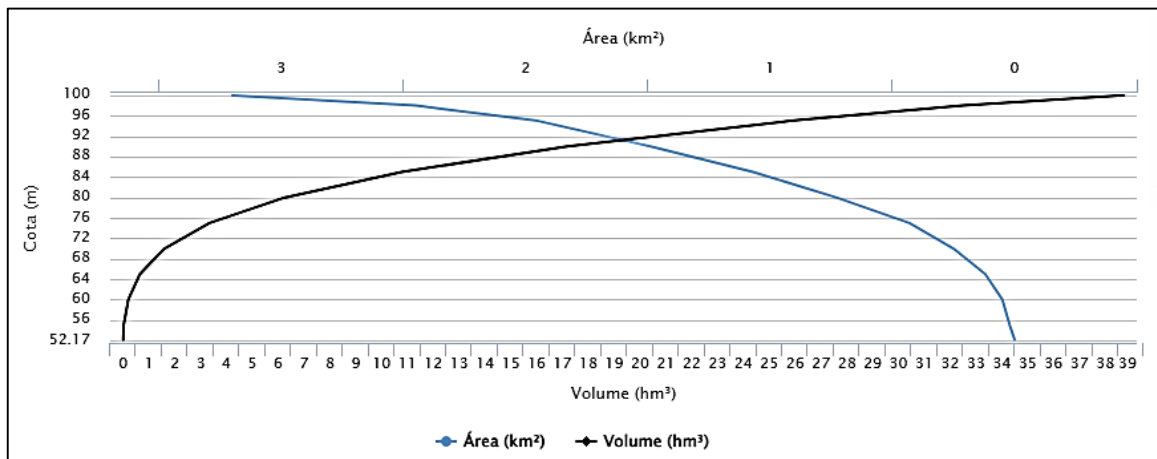
Ok

Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2022).

Através da regressão polinomial de segundo grau já estabelecida e da CAV correspondente ao açude é possível obter os dados históricos de área inundada. As curvas de CAV são uma representação gráfica do volume e área inundada pelo barramento do açude em função da cota. No CAV correspondente ao açude Prazeres, o

segmento da linha preta representa a relação volume-cota e da linha azul representa a relação área-cota (Fig.15.).

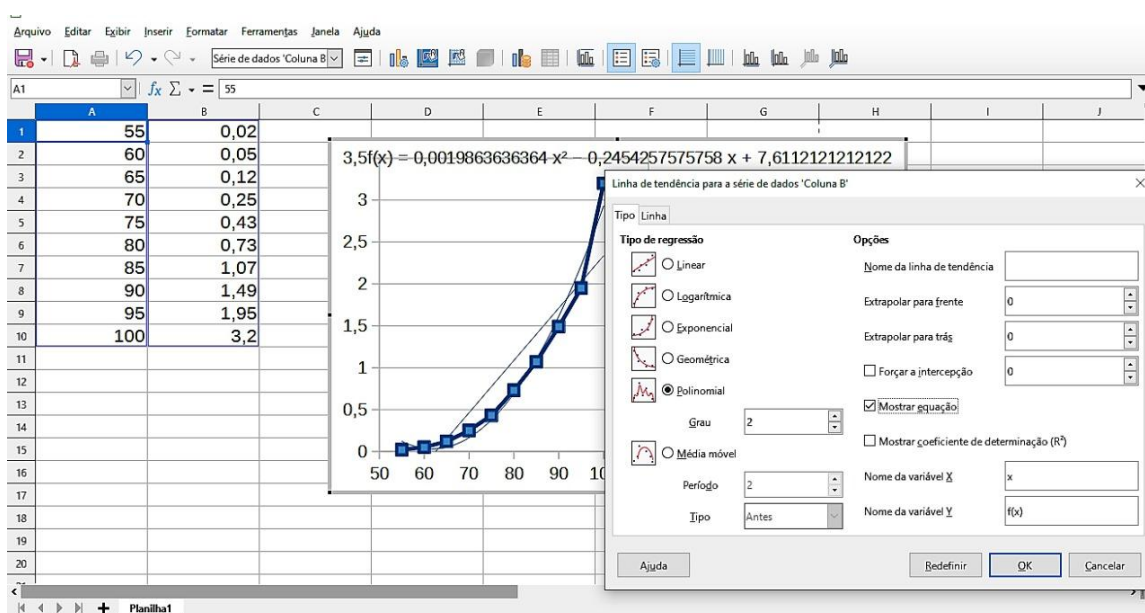
Figura 14: CAV do açude Prazeres (Agosto/2022).



Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2022).

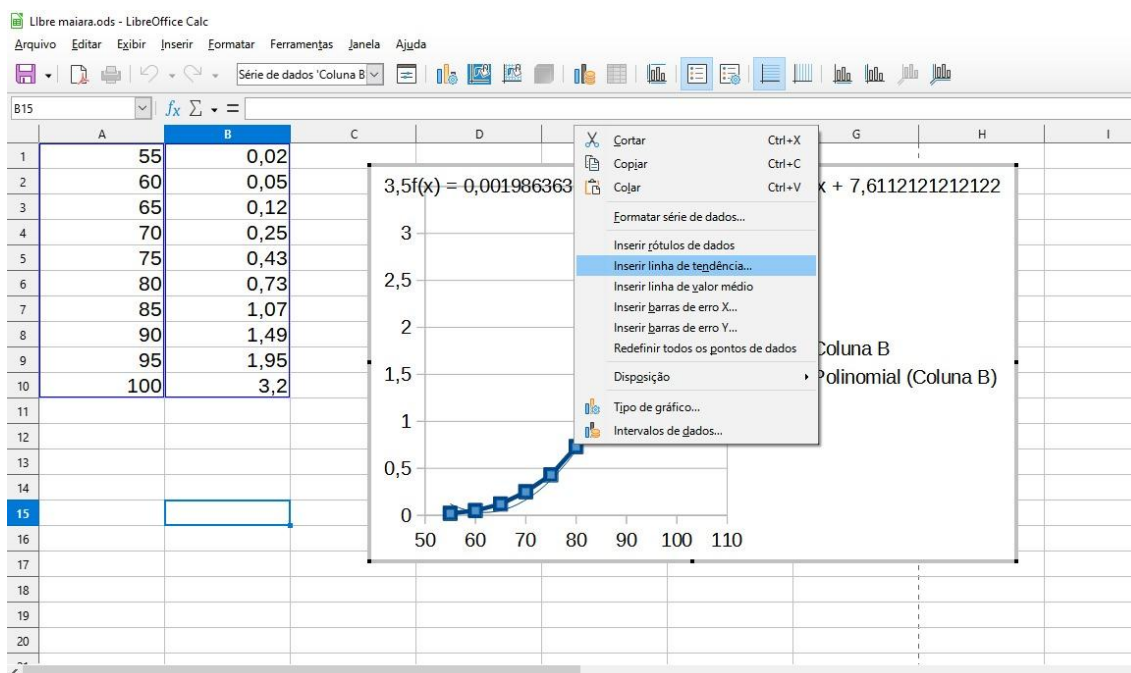
Assim como abordado na metodologia de Reges (2022), a curva CAV que representa a relação Cota-Área são coletados e organizados através do LibreOffice Calc que é caracterizado por um Software livre e de código aberto. Os valores de cota do açude correspondem cada um a um valor de área inundada. O procedimento para realizar a regressão polinomial de segunda ordem foi executado conforme descrito pela metodologia proposta por Reges (2022), os passos são mostrados nas Figuras 16 e 17.

Figura 15: 1º Passo - Regressão polinomial de segunda ordem no LibreOffice Calc.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 16: 2º Passo - Regressão polinomial de segunda ordem no LibreOffice Calc.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Dessa forma, com a aplicação da equação após a inclusão da regressão polinomial com o histórico de cota obtêm-se o histórico de área inundada. Assim, a equação que representa a relação cota-área para o açude Prazeres é definida como:

$$a \cong 7 + 0,24 \times b + 0,0019 \times b^2,$$

De modo que: a = área inundada; b = cota.

4.4.2 Curva de Permanência (CP)

A segunda etapa da metodologia proposta por Reges (2022), consiste na construção da Curva de Permanência (CP) referente à área inundada do açude escolhido. Mediante a CP é possível avaliar o tempo que o açude permaneceu com uma determinada área, dentro do período analisado. Na construção da CP são inseridos os dados históricos do reservatório no software Excel de acordo com a ordem de frequência, e inseridos em ordem crescente.

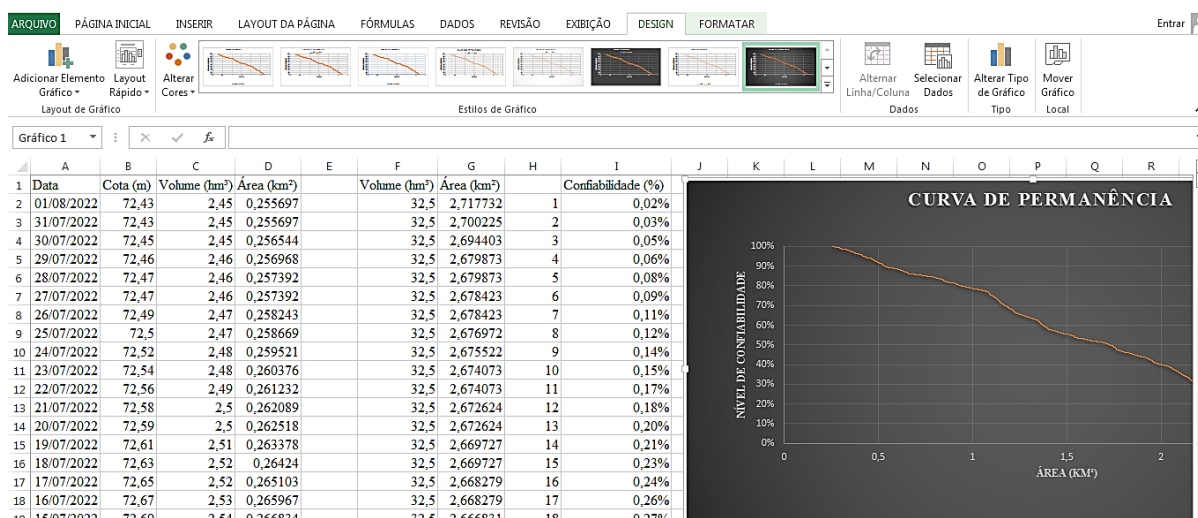
A elaboração da CP considera os dados de área inundada calculados através da regressão polinomial de segundo grau obtida para o referido açude, os dados resultantes desse cálculo são organizados de forma decrescente. A seguir, é obtida a frequência de

ocorrência, que se refere a quantidade de vezes a área foi igual ou superior, dentro do período de análise. A frequência de ocorrência é obtida através da seguinte equação:

$$F = (m/n) \times 100,$$

De modo que: F = frequência de ocorrência (%); m = ordem; n = total de dados.

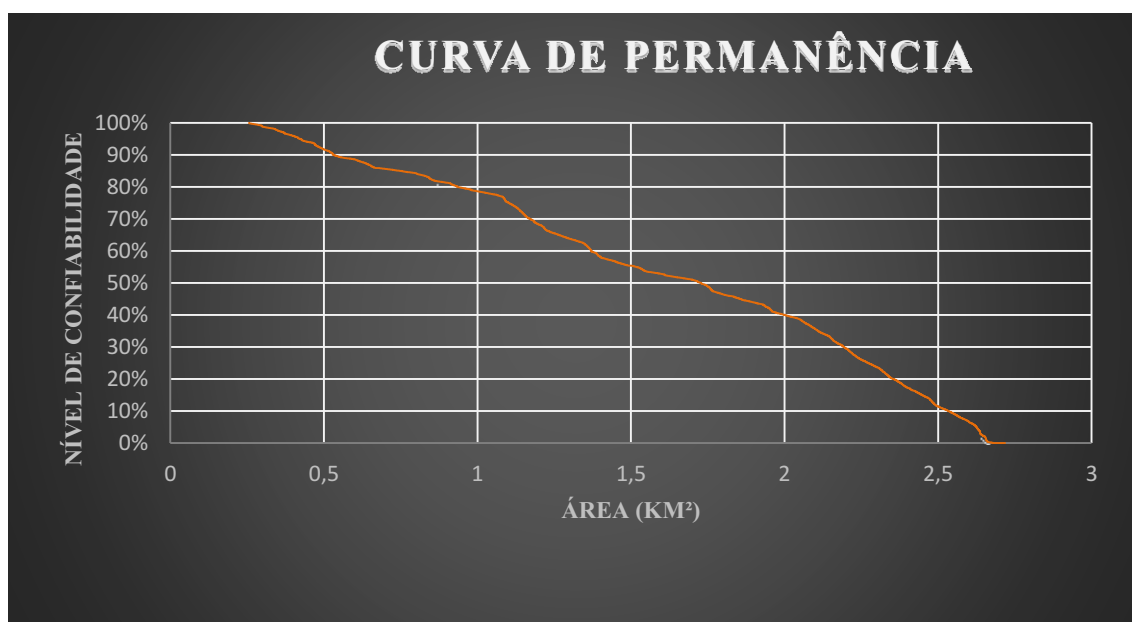
Figura 17: Planilha de construção da CP do açude Prazeres com dados diários de 2004-2022.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A formação da CP consiste no eixo horizontal que indica a extensão da área inundada e o eixo vertical que expressa o nível de confiabilidade, que pode ser considerado como a probabilidade de excedência ou igualdade. A confiabilidade indica, em porcentagem, a duração que aquela área inundada permaneceu maior ou igual durante o período de análise. A CP do Prazeres (Graf. 1.), com um nível de confiabilidade de 80% e um período analisado de 18 anos, observamos que o açude Prazeres manteve 80% do período analisado uma área inundada maior ou igual a 0,93 km², ou seja, em 14,4 anos o açude citado ficou com no mínimo 0,93 km² de área inundada.

Gráfico 1- CP da área inundada do açude Prazeres com dados diários de 2004-2022.



Fonte: Autoria própria, 2022.

4.4.3 Determinação dos níveis de confiabilidade

A etapa seguinte da metodologia proposta por Reges (2022), determina os níveis de confiabilidade para instalação do sistema FVF. Nesse sentido, é necessário observar na CP a extensão inundada que equivale a área disponível para instalação do sistema FVF. Admitiu-se um intervalo de valores da CP entre 90% e 70%, que condiz com os limites superior e inferior de confiabilidade. O limite é decrescente da área inundada do açude: o que significa dizer que quanto maior o nível de confiabilidade, menor a área disponível para instalação do sistema. Logo, são observadas as condições limites para a Área_{FVF} mínima e máxima:

- 1º) é no mínimo 1% da área inundada do reservatório;
- 2º) ocupa no máximo 50% da área inundada do reservatório.

A escolha dos limites mínimos e máximos para a Área_{FVF} fica a critério do elaborador do sistema. Nesse sentido, os sistemas FVF que tomem áreas inferiores a 1% da área inundada do reservatório não apresentam uma representatividade para o estudo. Em sequência, é observado se a Área_{FVF} atinge no máximo 50% da extensão inundada do açude (açude cheio); Haas et al., (2020), sugere uma faixa de ocupação para uma

planta FVF em reservatórios com limites entre 40-60%, considerando atenção aos ecossistemas existentes.

4.4.2 Capacidade instalada do sistema FVF

Isto posto, a última etapa desse projeto de acordo com a metodologia seguida é definição da capacidade sistema FVF, que é calculada considerando os limites para a Área_{FVF} . De acordo com Strangueto (2016), deve ser definida para instalação do sistema FVF uma área correspondente a 34% da sua extensão total, a mesma deve atender a destinação para o espaçamento entre os flutuadores e para a zona reservada para movimentação dos técnicos. Ainda é observado que não é interessante haver sombreamento dos painéis, esse cálculo depende da localização da planta.

Já no cálculo do número de módulos e a potência do sistema FVF, utiliza-se a área e a potência de cada módulo FV. A produção de eletricidade é determinada usando valores de produtividade FV locais diários: esse valor para o açude Prazeres corresponde a 4,7 (kWh/kWp/dia).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo realizou as discussões com base nos dados adquiridos ao longo do estudo de caso envolvendo um reservatório do semiárido brasileiro. Para o desenvolvimento do mesmo são adotados dois cenários: 1º Cenário com CP a 90% e 2º Cenário com CP a 70%, o estudo é realizado escolhendo-se um açude representativo, ou seja, o açude Prazeres. O objetivo mais relevante é analisar os resultados e o impacto de sistemas FVF nestas condições limites de armazenamento de água. Por fim, são obtidos valores resultantes de área inundada de um determinado período, capacidade instalada e potencial energético do sistema FVF.

5.1. Prazeres

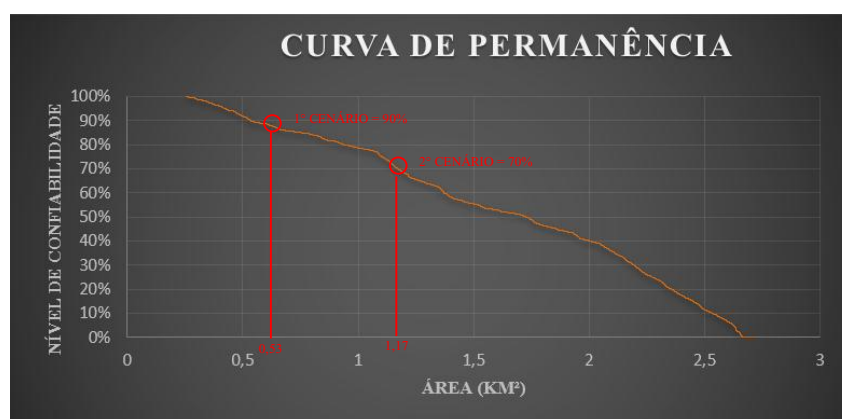
De acordo com a metodologia proposta por Reges (2022), posteriormente a obtenção dos dados históricos do reservatório é construída a CP referente à área inundada do açude Prazeres. O passo seguinte é a definição dos níveis de confiabilidade (90% e 70%) e a verificação das condições limites para a Área_{FVF} mínima e máxima; utilizados dois cenários:

1º Cenário – nível de confiabilidade 90%: Área_{FVF} de 0,53 km²;

2º Cenário – nível de confiabilidade 70%: Área_{FVF} de 1,17 km²;

A área inundada do açude Prazeres com a Área_{FVF} mínima e máxima é representada pelo Gráfico 2.

Gráfico 2-Representação da CP da área inundada do açude Prazeres, com a Área_{FVF} mínima e máxima (dados de 2004-2022).



Fonte: Autoria própria, 2022.

A área inundada do açude Prazeres corresponde a 2,72 km². Nos cenários 1° e 2° de acordo com a metodologia aplicada temos que, a Área_{FVF} de 0,53 km² se enquadra no critério de que a Área_{FVF} seja no mínimo 1% da área inundada do reservatório e a Área_{FVF} de 1,17 km² se enquadra no critério de que a Área_{FVF} seja no máximo 50% da área inundada do mesmo.

Como já sugerido por Strangueto (2016), é destinado 34% da área para o espaçamento entre os flutuadores, onde também se enquadra a zona reservada para movimentação dos técnicos, e enfatiza para que não haja sombreamento entre os módulos, dessa forma, temos que as áreas ocupadas apenas pelos módulos FVF do sistema, para os cenários 1° e 2° consistem em 0,35 km² e 0,77 km², nesta ordem.

A etapa seguinte consiste em calcular a capacidade instalada do sistema FVF para cada cenário. No 1° cenário, para as plantas FVF com os módulos de 245 Wp e de 275 Wp é calculada uma potência total de 51,96 MWp para 212.121 módulos e 49,35 MWp para 179.487 módulos, respectivamente. No 2° cenário, para as plantas FVF com os módulos de 245 Wp e de 275 Wp é calculada uma potência total de 114, 33 MWp para 466. 666 módulos e 108,58 MWp com 394.871 módulos, respectivamente.

Para a última etapa que se refere ao cálculo da produção de energia elétrica, como sugere Reges (2022), é adotada a produtividade FV diária de 4,7 kWh/kWp, valor referido ao açude de acordo com Atlas, (2022). Para o 1°cenário, as plantas FVF com os módulos de 245 Wp e de 275 Wp têm uma geração anual de 89,14 GWh e 84,66 GWh, respectivamente. Para o 2° cenário, as plantas FVF com os módulos 245 Wp e 275 Wp têm uma geração anual de 196,13 GWh e 186,27 GWh, respectivamente.

No cálculo da relação potência-área, a potência de cada painel é dividida pela área do mesmo. Obtendo assim os valores de 148 e 141 Wp/m², para os painéis de 245 Wp e 275 Wp, respectivamente.

Com base nos cálculos efetuados para determinação da Área_{FVF} do açude temos a dimensão da planta e a potência instalada da mesma, tal como a sua geração anual de eletricidade. A tabela 1 mostra os principais resultados para o açude Prazeres com somatório da capacidade instalada do reservatório e a sua pertinente produção de geração elétrica.

Tabela 1- Principais resultados para o açude Prazeres

Cenário	Módulo FV (Wp)	Área_{FVF} (km²)	Percentual da área do reservatório (%)	Quantidade de módulos	Potência (MWp)	Produção anual de energia elétrica (GWh)
1°	245	0,35	12,73	212.121	51,96	89,14
	275			179.487	49,35	84,66
2°	245	0,77	28,30	466.666	114,33	196,13
	275			394.871	108,58	186,27

Fonte: Autoria própria, 2022.

6. CONCLUSÕES

No estudo exposto, foi aplicado uma metodologia de dimensionamento de planta FVF para o reservatório de Prazeres, situado em Barro – CE, o local de estudo é uma região semiárida brasileira, empregando a CP do açude em análise. Foram obtidos dados históricos, a CAV e o histórico dos valores de cota, do reservatório para que fosse possível a aplicação da metodologia de dimensionamento.

Adotando dois níveis de confiabilidade, considerando a CP, de 90% e 70% para o 1º e 2º cenário proposto, respectivamente. A CP do reservatório foi desenvolvida através dos dados histórico de área inundada e indica de forma gráfica a ordem de frequência que o açude permaneceu com uma determinada área, dentro do tempo de análise. Assim sendo, o nível de confiabilidade indica percentualmente o tempo de permanência de área inundada do açude, sendo maior ou igual.

Após a análise das etapas de cálculo de potência instalada da planta FVF e geração anual de energia elétrica, constatou-se que a geração anual para o 1º cenário variou entre 84,66 GWh e 89,14 GWh, já para o 2º cenário está entre 186,27 GWh e 196,13 GWh.

Ao realizar o estudo foi constatado que os módulos de 245 Wp mostraram uma potência instalada e uma produção anual de energia elétrica superior as plantas FVF com módulos de 275 Wp. Isso se justifica pelo fato dos módulos de 245 Wp e 275 Wp disporem uma relação potência-área de 148 e 141 Wp/m², respectivamente. Nesse sentido, consideramos que módulo FV que dispõe de uma maior relação potência-área será a escolha ideal para instalação do sistema FVF.

A análise dos valores de produção anual de energia elétrica identificou uma média anual de 1,71 GWh/MWp.

No que diz respeito aos impactos, de acordo com o levantamento bibliográfico ficou claro que como qualquer alteração no meio, o sistema de dimensionamento de uma planta FVF pode sim trazer vários impactos ao meio inserido, que podem ser vantajosos como a diminuição da evaporação, ou negativos como a alteração no ecossistema aquático. Isto posto, é notório que o sistema FVF é um sistema significativamente viável quando comparado ao sistema FV convencional, e ainda comparando-o com sistemas de geração de energia elétrica não renováveis, visando um

menor teor de impactos negativos, pois em diversos estudos os seus impactos positivos estão sempre à frente dos impactos negativos.

Assim sendo, é fundamental um estudo prévio e avaliação dos dados da área para que sejam garantidas as condições mais adequadas para implementação dessa inovação tecnológica energética, afim de garantir qualidade e ótimo rendimento da sua operação, bem como, mitigar os impactos ambientais mais nocivos que a implantação desse sistema pode acarretar.

7. REFERÊNCIAS

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>> Acesso em: 04 de Ago. 2021.

AGUILAR, R. S.; OLIVEIRA, L. C. S.; ARCANJO, G. L. F. Energia Renovável: Os Ganhos e os Impactos Sociais, Ambientais e Econômicos nas Indústrias Brasileiras. XXXII Encontro Nacional de Engenharia De Produção. Rio Grande do Sul: Enegep, 2012.

ALMEIDA et al. Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica. Engenharias on-line, 2016.

ALVES, M. O. L. Energia solar: Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica, 2019.

ALMEIDA, F. S.; GARRIDO, F. S. R. G.; ALMEIDA, A. A. Avaliação de impactos ambientais: uma introdução ao tema com ênfase na atuação do gestor ambiental. Diversidade e Gestão. Gestão Ambiental: Perspectivas, Conceitos e Casos, 2017. P. 70-87.

ANA, Agência Nacional de Águas. Reservatórios do semiárido brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação. Brasília, 2016. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/semiario/204res/Jaguaribe_Prazeres.pdf>. Acesso em: 18 de Jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR ISO 14001:2015. Sistema de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/slr/cel/N3127.pdf>>. Acesso em: 06 de Out. 2021.

ATLAS. Wind and Solar Atlas: Ceará. Curitiba: Camargo-Schubert Associated Engineers, 2019. 1–88 p. Disponível em: <<http://atlas.adece.ce.gov.br/?>>. Acesso em: 19 de Jul. 2022.

BRAGA, C.; FERREIRA, V. C. Os impactos ambientais no setor de energia elétrica brasileiro e a sua relação com o resultado líquido do exercício. IX Congresso ANPCONT. Curitiba, 2015.

BORBA, R. A.; NOVAK, L. H. Sistemas fotovoltaicos flutuantes: Aspectos positivos e desafios. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, 2018.

CAMPOS, D. R. O.; RODRIGUES, K. S. Impactos e consequências ambientais causados pela instituição de mecanismos geradores de energia. Repositório Universitário da Ânima, 2021.

CEARÁ. Portal hidrológico do Ceará. 2022. Disponível em: < <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/> >. Acesso em: 18 de Jul. 2022.

CÉLULA FOTOVOLTAICA – O GUIA TÉCNICO ABSOLUTAMENTE COMPLETO. Blue Sol Energia Solar. Alagoas, 2019. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/> >. Acesso em: 15 de Mai. 2022.

CESAR, J. Maior sistema de energia solar do mundo irá operar ainda em 2021. InsideEVs, São Paulo, 18 agosto de 2021. Disponível em: < <https://insideevs.uol.com.br/news/527189/maior-sistema-energia-solar-mundo/> >. Acesso em: 15 de Jun. 2022.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 1, de 23/01/1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>. Acesso em: 06 de Out. 2021.

DA SILVA, G. D. P.; BRANCO, D. A. C. Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. Impact Assessment and Project Appraisal ISSN: v. 36, n. 5, p. 390–400, 2018.

DUPONT, F.H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, 2015. P. 70 – 81.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Solar Fotovoltaica Flutuante – Aspectos tecnológicos e ambientais relevantes ao planejamento. Brasília, 2020.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. Revista do BNDES, 2013. P. 85-114.

FADIGAS, E. A. F. A. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade Técnico-Econômica. São Paulo, 2012. GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. Disponível em: <

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf> Acesso em: 15 de Mai. 2022.

FREIRE, F. Como funciona a célula fotovoltaica. Sharenergy: Energia solar ao alcance de todos. Belo Horizonte: 01, outubro, 2017. Disponível em: <https://www.sharenergy.com.br/como-funciona-celula-fotovoltaica/> . Acesso em: 15 de Jun. 2022.

GOUVEIA E COSTA, S. Impactes ambientais de sistemas fotovoltaicos flutuantes. Mestrado integrado em Engenharia da Energia e Ambiente. Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, 2017.

GORJIAN et al. Recent technical advancements, economics and environmental impacts of floating photovoltaic solar energy conversion systems. Journal of Cleaner Production. Elsevier: 2020.

HAAS, J.; KHALIGHI, J.; FUENTE, A. de la; GERBERSDORF, S.; NOWAK, W.; CHEN, P.-J. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. Energy Conversion and Management, Elsevier, v. 206, p. 112414, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/barro/panorama>. Acesso em: 06 de Mai. 2022.

LIRA, J. G.; SILVA, H. P. B.; LIMA. C. Impactos relacionados à implantação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em corpos d'água. Gaia Scientia. Petrolina, v. 15, 2021. P. 54-68.

OLIVEIRA, F. A. Instalações de sistemas solares flutuantes: Este é um ambiente exigente para a geração de energia renovável do futuro. Canal Solar, 2021. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/instalacoes-de-sistemas-solares-flutuantes/>>. Acesso em: 15 de Jan. 2022.

O QUE É UMA USINA DE SOLO E QUAL SEU PAPEL EM SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS? Reevisa, Santa Catarina, 7 de junho de 2021. Disponível em: < <https://reevisa.com.br/post/usina-de-solo-seu-papel-sistemas-solares/>>. Acesso em: 19 de Jan. 2022.

PORTO et al. Viabilidade técnica para implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em um reservatório do semiárido brasileiro. Revista Tecnologia. Fortaleza, v. 38, n. 2, p. 1-11, dez. 2017.

REGES, J. P. Metodologia de dimensionamento de plantas fotovoltaicas flutuantes em açudes do semiárido. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

RODRIGUES, I. S.; RAMALHO, G. L. B.; MEDEIROS, P. H. A. Potential of floating photovoltaic plant in a tropical reservoir in brazil. *Journal of Environmental Planning and Management*, Taylor & Francis, v. 63, n. 13, p. 2334–2356, Feb 2020 2020. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09640568.2020.1719824>>. Acesso em: 15 de Jan. 2022.

RODIGUES, F.; WODIHY, J.; GONÇALVES, A. Energias Renováveis: Buscando por uma Matriz Energética Sustentável. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 2, Vol. 13. P. 167-180 Janeiro de 2017 ISSN:2448-0959.

Renewable Energy. bp statistical Review of World Energy June 2020. Disponível em: <http://www.bp.com>. Acesso em: 15 de Jan. 2022.

SAHU, A.; YADAV, N.; SUDHAKAR, K. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier: 2016.

SILVA, G. D. d. P.; SOUZA, M. J. R. Estimativa de geração de energia através de um sistema fotovoltaico: implicações para um sistema flutuante no lago bolonha, belém-pará. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 1, p. 149–164, 2017.

SILVA, G.F.; SILVA, D.P.; SILVA, I.P.; SILVA, M.S.; BERY, C. C. S. FRANÇA, F. R. M. Energias alternativas: tecnologias sustentáveis para o nordeste brasileiro. Aracaju: Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual, 2019.

SIQUEIRA, D. C.S.; SOUSA, V. D. A.; LESS, D. F. S. Sistema fotovoltaico flutuante, principais entraves e desafios de implantação no Brasil: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 11, 2022.

SOUSA, M. França abriga maior usina solar flutuante da Europa: Capacidade de produção é suficiente para abastecer mais de 4.700 mil residências. *CicloVivo*, 2020. Disponível em: < <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/franca-maior-usina-solar-flutuante/>>. Acesso em: 15 de Jun. 2022.

STRANGUETO, K. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas. Tese (Planejamento de Sistemas Energéticos) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. 147 f.

TEIXEIRA, L. E.; CAUX, J.; BELUCO, A.; BERTOLDO, I.; LOUZADA, J. A. S.; EIFLER, R. C. Feasibility study of a hydro pv hybrid system operating at a dam for

water supply in southern brazil. *Journal of Power and Energy Engineering*, Scientific Research Publishing, v. 3, n. 09, p. 70, 2015.

WORLD BANK GROUP; ESMAP; SERIS. *Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report*. Energy Sector Management Assistance Program; Solar Energy Research Institute of Singapore, 2019.