

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**EVELIN DE LARA PALLÚ**

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TERRESTRES E  
FLUTUANTES: OS CASOS DE SOBRADINHO (BA) E TAUÁ (CE)**

**CURITIBA**

**2020**

**EVELIN DE LARA PALLÚ**

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TERRESTRES E  
FLUTUANTES: OS CASOS DE SOBRADINHO (BA) E TAUÁ (CE)**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Pós-graduação MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Thiago José da Luz

**CURITIBA**

**2020**

## **Comparação entre sistemas fotovoltaicos terrestres e flutuantes: os casos de Sobradinho (BA) e Tauá (CE)**

Evelin de Lara Pallú

### **RESUMO**

O Brasil tem grande parte de sua matriz elétrica pautada em fontes hídricas e, consequentemente, possui vastas áreas destinadas aos reservatórios de usinas hidrelétricas. Para otimizar a geração de energia e diversificar sua matriz energética, o país tem potencial para investir em sistemas solares fotovoltaicos flutuantes em reservatórios. Este estudo teve por objetivo avaliar e comparar qualitativamente os impactos (positivos/ negativos) causados pelos sistemas terrestres (convencionais) e flutuantes na sociedade, economia e meio ambiente. Para isso, foram analisadas as características da Usina Solar de Tauá e da Usina Solar Flutuante instalada no reservatório da Hidrelétrica de Sobradinho. Com base nos resultados, é possível afirmar que, o investimento inicial pode ser um fator limitante para o desenvolvimento de projetos solares fotovoltaicos flutuantes no Brasil. No entanto, no aspecto ambiental, o incentivo desses sistemas flutuantes pode ser benéfico para o país quando instalados em reservatórios de hidrelétricas. Nesse sentido, os tomadores de decisão devem continuar incentivando o desenvolvimento de pesquisas nessa área.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Energia solar flutuante. Energia solar terrestre.

### **ABSTRACT**

Brazil has a large part of its electric matrix based on water sources and, consequently, has vast areas destined to reservoirs of hydroelectric plants. To optimize power generation and diversify its energy matrix, the country has the potential to invest in floating solar photovoltaic systems in reservoirs. This study aimed to qualitatively evaluate and compare the impacts (positive/ negative) caused by terrestrial (conventional) and floating systems on society, economy and environment. For this, the characteristics of the Tauá Solar Plant and the Floating Solar Plant installed in the Sobradinho Hydroelectric Reservoir were analyzed. Based on the results, it is possible to state that the initial investment may be a limiting factor for the development of floating solar photovoltaic projects in Brazil. However, in the environmental aspect, the incentive of these floating power systems can be beneficial for the country when installed in hydroelectric reservoirs. In this way, the decision makers should continue to encourage the development of research in this area.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Floating solar energy. Terrestrial solar energy.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à descarbonização do setor de energia, inúmeras instituições acadêmicas, governamentais e não governamentais estão projetando cenários com energia 100% renovável (LUZ; MOURA, 2019). A Comissão Europeia tem como estratégia aumentar a participação das fontes renováveis em 80% até 2050 (LUZ; MOURA, 2019). No entanto, de acordo com Ram et al. (2018), a Europa pode ter capacidade de tornar 100% de sua matriz renovável até 2050, desse total, cerca de 62% poderia ser oriunda de fonte solar fotovoltaica. Outros países, como Suécia, Dinamarca, Nova Zelândia e Costa Rica, pretendem tornar suas matrizes 100% renováveis (RAM ET AL., 2018).

No caso do Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020) estimou aumento da participação de fontes não-renováveis de energia na matriz elétrica brasileira, que poderá crescer de 16% em 2019 para 20% em 2029. Estima-se que a contratação de novas térmicas nucleares e a gás natural na geração centralizada e na autoprodução, compensarão a diminuição das térmicas a carvão, óleo combustível e óleo diesel que serão desativadas até 2029, o que contribuiria para o crescimento global de fontes não-renováveis de energia no país (EPE, 2020). Estima-se que a matriz elétrica brasileira poderá ser formada por 80% de fontes renováveis em 2029, 8% das quais por sistemas de energia solar (EPE, 2020).

Atualmente, a geração de energia hidráulica é a mais representativa da matriz elétrica brasileira – em 2019 contribuiu com cerca de 58% do total (EPE, 2020). Nesse aspecto, a geração é baseada em grandes reservatórios de usinas hidrelétricas<sup>1</sup> (UHE) que visam armazenar água para garantir o fornecimento de energia nos meses de seca e nos anos com chuva abaixo da média.

Uma forma de contribuir com o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no país é utilizar a infraestrutura existente nos reservatórios das UHE

---

<sup>1</sup> De acordo Brasil (2020), aproveitamentos hidrelétricos enquadrados como UHE devem possuir, nos seus respectivos regimes de outorga, potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 50.000 kW, contanto que não sejam enquadrados como pequenas centrais hidrelétricas e sujeitos à outorga de autorização. Vale frisar que, os aproveitamentos hidrelétricos caracterizados como UHE com potência instalada superior a 50.000 kW estão sujeitos à outorga de concessão.

para incentivar a produção de energia solar fotovoltaica flutuante. A tecnologia é a mesma aplicada nos projetos fotovoltaicos “convencionais” (instalados em telhados ou em solo, por exemplo), contudo, utiliza flutuadores e pode ser instalada em lagos, reservatórios, lagoas de mineração, lagoas de tratamento de água, entre outros (LIU; KUMAR; REINDL, 2019). Nesse sentido, os reservatórios das grandes hidrelétricas brasileiras também poderiam gerar energia através de fonte solar fotovoltaica flutuante, dando origem a sistemas híbridos.

Estudos apontam que o Brasil tem grande potencial de geração de energia se investir nesse tipo de tecnologia. Por exemplo, Strangueto (2016) verificou que, se for utilizado 8% da área total (3.033,84 km<sup>2</sup>) de 165 reservatórios distribuídos ao longo do país, cerca de 444 TWh de energia podem ser gerados por ano, o que correspondeu em torno de 80,9% do consumo final de eletricidade no país em 2019 (EPE, 2020). Apesar desse potencial, até o presente momento são poucos os estudos voltados para a realidade brasileira e que comparam os sistemas convencionais e flutuantes.

Recentemente, Galdino e Olivieri (2017) analisaram, preliminarmente, a aplicação de sistemas flutuantes no Brasil, levaram em consideração as diferenças implantadas em outros países. Os autores afirmam que as vantagens (técnicas e econômicas) dos sistemas flutuantes ainda não estão claras para o país. Entretanto, no Brasil está sendo desenvolvido um projeto de pesquisa e desenvolvimento pelas Centrais Elétricas Brasileiras S. A. (Eletrobrás) com o objetivo de avaliar a capacidade de geração de energia solar nos reservatórios de Balbina e Sobradinho (NASCIMENTO, 2017).

Devido à falta de estudos focados no cenário brasileiro, uma das motivações deste trabalho é expandir o conhecimento referente aos aspectos socioeconômicos e ambientais de dois sistemas fotovoltaicos, sendo um terrestre<sup>2</sup> (Usina Solar de Tauá no Estado do Ceará – CE) e outro flutuante (Usina Solar Flutuante instalada no Reservatório da Hidrelétrica de Sobradinho no Estado da Bahia – BA).

Por ser uma tecnologia recente, ainda não foram publicados estudos que permitam realizar essa comparação em função da realidade brasileira. Desta forma, este artigo deve realizar uma avaliação qualitativa dos impactos (positivos/negativos) sobre os aspectos socioeconômicos e ambientais de cada sistema,

---

<sup>2</sup> Neste trabalho, o termo “terrestre” se caracteriza por painéis solares fotovoltaicos instalados sob o solo, ou seja, não leva em consideração a instalação em edificações, por exemplo.

concomitantemente, deve elencar suas vantagens e desvantagens.

O presente artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta síntese das principais características levantadas na literatura para os dois sistemas (flutuante e terrestre). Na Seção 3 são destacados os métodos adotados no estudo e os dois sistemas escolhidos são comparados na Seção 4 (Tauá e Sobradinho). Por fim, são apresentadas as principais conclusões do artigo na Seção 5.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Segundo Silva e Branco (2018), a tecnologia empregada nos sistemas solares fotovoltaicos terrestres (SSFVT) e sistemas solares fotovoltaicos flutuantes (SSFVF) é a mesma, sendo a diferença mais significativa é que os painéis fotovoltaicos são colocados sob uma estrutura flutuante, o que caracteriza um sistema flutuante. Além dos flutuadores e do sistema fotovoltaico, é necessário ter um sistema de amarração e de cabos subaquáticos (GALDINO; OLIVIERI, 2017).

Apesar de usarem praticamente a mesma tecnologia, os impactos (positivos e/ ou negativos) na sociedade, economia e no meio ambiente são relativamente diferentes devido ao local onde são instalados (em solo ou na água). Dessa forma, os principais aspectos são expostos a seguir.

### **2.1 ASPECTOS AMBIENTAIS**

No caso do aspecto ambiental, pode-se analisar as diferenças em função da utilização, ou não, da terra, da influência do ambiente externo e de possíveis alterações no meio ambiente.

Em relação à utilização da terra, pode-se dizer que uma das restrições técnicas para desenvolver projetos de energia solar é devido à baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, sendo necessário o uso de grandes áreas para que o empreendimento se torne viável economicamente (ANEEL, 2005).

No caso dos SSFVT, estes podem gerar problemas quanto ao uso e ocupação do solo, visto que, a área que poderia ser destinada para outros fins (como, por exemplo, agricultura, conservação, recreação, entre outros), está sendo utilizada para geração de energia. Também podem causar impactos significativos na paisagem local natural durante a fase de preparação e instalação dos painéis

fotovoltaicos (SILVA; MAGRINI; BRANCO, 2019), discutido a seguir.

A utilização de SSFVF pode ser a solução para o problema de disponibilidade de terra, pois não seriam utilizadas áreas superficiais para a geração de energia. Entretanto, a implantação de painéis em lagos naturais ou artificiais pode reduzir a pesca e outros usos recreativos no corpo hídrico e, assim, restringir o acesso do público e haver conflitos de interesse (SILVA; BRANCO, 2018), além de causarem impactos ambientais (positivos/ negativos) no ecossistema e no microclima local (exposto na sequência). Apesar disso, a magnitude do impacto pode ser mais alta durante a implantação dos sistemas terrestres em função, por exemplo, da retirada da vegetação (SILVA; BRANCO, 2018).

No que diz respeito à influência do ambiente externo, a eficiência dos sistemas fotovoltaicos pode variar conforme as condições climáticas locais, por exemplo, com a temperatura ambiente. No caso dos painéis feitos de silício cristalino, a eficiência na conversão de energia aumenta com a diminuição da temperatura (SACRAMENTO ET AL., 2015).

Segundo Liu et al. (2017), a temperatura média da água pode ser cerca de 5°C inferior ao da atmosfera devido ao efeito de resfriamento da mesma. Nesse sentido, a eficiência dos SSFVF pode ser impactada positivamente devido ao efeito de resfriamento. De acordo com Choi (2014), os sistemas flutuantes são cerca de 11% mais eficientes que os SSFVT, o que pode ter acontecido devido ao efeito de resfriamento, esse fenômeno também foi verificado por Liu et al. (2017). Vale frisar que, a eficiência dos sistemas flutuantes pode ser alterada se os mesmos forem movimentados pela força do vento (CHOI, 2014).

No caso de possíveis alterações no ambiente, os SSFVT podem impactar significativamente o local devido à retirada da cobertura vegetal para instalação da infraestrutura necessária para geração de energia, o que deixa o solo mais frágil e propenso à erosão, também provoca alteração do microclima e intensificação da evapotranspiração da água, devido ao solo estar exposto (SILVA; MAGRINI; BRANCO, 2019).

Os SSFVF causam sombreamento nos **corpos** hídricos, o que diminui a incidência de radiação solar e pode reduzir o crescimento de algas (GALDINO; OLIVIERI, 2017). Em ambientes eutrofizados, os sistemas flutuantes podem inibir o desenvolvimento de algas e, assim, restaurar o equilíbrio natural do ambiente, porém, o inverso também pode ocorrer, ou seja, impactar negativamente os

ambientes naturais ecologicamente equilibrados. Segundo Spencer et al. (2018), ainda não é possível afirmar se a redução da luz gerada pelos SSFVF também pode afetar, de alguma forma, outros seres vivos aquáticos.

De acordo com Galdino e Olivieri (2017), o sombreamento causado pela estrutura dos painéis reduz a incidência de radiação solar sobre a água (diminui a temperatura) e pode minimizar o efeito do vento, visto que, esses dois fatores juntos podem levar a redução da taxa de evaporação da água e, desta forma, afetar o ambiente local. Os sistemas flutuantes podem causar impactos negativos no fundo dos lagos, uma vez que, o sistema de ancoragem pode movimentar sedimentos e, assim, aumentar a turbidez e mudar a qualidade da água (SILVA; BRANCO, 2018).

## 2.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

De maneira geral, a energia solar fotovoltaica pode ocasionar inúmeros benefícios ao aspecto socioeconômico, uma vez que gera empregos locais, aumenta a arrecadação e os investimentos no setor (NASCIMENTO, 2017). No ano de 2017, foram gerados cerca de 10,3 milhões de empregos relacionados com energias renováveis em todo o mundo, dos quais, 3,4 milhões (33% do total) estão conectados com sistemas solares fotovoltaicos (IRENA, 2018).

Segundo Liu, Kumar e Reindl (2019), os painéis solares flutuantes são fáceis de serem instalados e implantados, pois normalmente são de natureza modular, o que diminui o tempo de instalação e reduz os custos associados. Diferente dos convencionais, não requerem obras civis para preparar o local (LIU; KUMAR; REINDL, 2019), o que pode diminuir os custos iniciais. Além disso, se esses sistemas forem instalados em reservatórios de hidrelétricas, é possível utilizar a mesma infraestrutura existente para transmissão da energia elétrica.

Segundo World Bank Group, ESMAP e SERIS (2018), os custos de capital dos SSFVF estão próximos aos SSFVT, apesar da necessidade de flutuadores, ancoradouros e componentes elétricos mais resistentes. Há também estudos que apontam melhor custo-benefício para sistemas flutuantes (GOSWAMI ET AL., 2019).

## 2.3 COMPARAÇÃO ENTRE SSFVT E SSFVF

Diante do exposto, o Quadro 1, abaixo, apresenta uma comparação entre os



sistemas solares fotovoltaicos terrestres e flutuantes segundo os aspectos ambientais e socioeconômicos.

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES E TERRESTRES

| Aspectos        | SSFVF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | SSFVT                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambientais      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não utiliza terra para implantação de painéis fotovoltaicos</li> <li>- Pode haver conflitos de interesse e impedir o acesso do público nos corpos hídricos;</li> <li>- Maior eficiência do sistema, podendo ser alterada pelas adversidades ambientais locais (ventos e correnteza);</li> <li>- Sistemas de ancoragem podem aumentar a turbidez e, assim, mudar a qualidade da água;</li> <li>- Minimização dos efeitos do vento e sombreamento nos corpos hídricos reduz a taxa de evaporação da água;</li> <li>- O sombreamento causa impactos positivos ou negativos no ambiente.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conflitos de uso e ocupação do solo;</li> <li>- Impactos na paisagem local natural;</li> <li>- Menor eficiência do sistema;</li> <li>- Exposição do solo, podendo causar erosão, alterar o microclima local e intensificar a evapotranspiração da água.</li> </ul> |
| Socioeconômicos | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Custos de capital podem estar próximos dos sistemas convencionais;</li> <li>- Os sistemas flutuantes se forem instalados em UHE podem utilizar a mesma infraestrutura de transmissão;</li> <li>- Geração de empregos locais.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer obras civis para preparar o local, o que encarece o projeto;</li> <li>- Geração de empregos locais.</li> </ul>                                                                                                                                              |

Fonte: A autora (2020)

### 3 METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizado um estudo bibliográfico dos SSFVF e dos SSFVT com o propósito de avaliar os impactos (positivos e/ou negativos) sobre os aspectos socioeconômicos e ambientais, bem como, analisar suas vantagens e desvantagens. Para isso, foram selecionados artigos científicos e relatórios de organizações governamentais recentes, o que permitiu uma análise atualizada e confiável das informações.

Na sequência, foi desenvolvido um estudo de caso com o objetivo de comparar os dois tipos diferentes de implantação de sistemas fotovoltaicos (terrestre e flutuante). Os critérios utilizados para escolha dos sistemas foram: mesma capacidade instalada (neste trabalho, foi de 1 MWp), área total semelhante e o empreendimento estar em funcionamento. A partir desses critérios, foi selecionada a Usina Solar de Tauá (CE) para o sistema terrestre e, para o outro caso, a Usina Solar Flutuante instalada no Reservatório da Hidrelétrica de Sobradinho (BA).

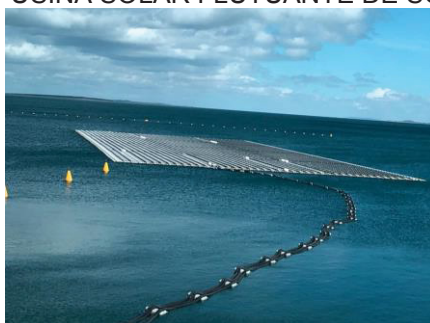
Por fim, foi feita uma análise qualitativa com base nos resultados levantados nas etapas anteriores, sendo agrupado por aspecto (ambiental e socioeconômico) e subdividido em categorias. Assim, foi considerado o “nível de impacto”, seja ele positivo (a usina gerou “benefícios” para a categoria), negativo (“condições adversas”) ou neutro (impacto é pouco significativo ou nulo).

#### 4 ESTUDO DE CASO

Nesta seção, é realizada a comparação entre dois tipos diferentes de sistemas fotovoltaicos (terrestre e flutuante). O SSFVF foi instalado na UHE de Sobradinho (Bahia) e o SSFVT no município de Tauá (Ceará).

De acordo com a Companhia Hidro Elétrica de São Francisco (CHESF, 2019a), a UHE de Sobradinho está situada no rio São Francisco a 748 km de sua foz, possui uma superfície de espelho d’água de 4.214 km<sup>2</sup>. No dia 05 de agosto de 2019, foi inaugurada a primeira etapa da Usina Solar Flutuante de Sobradinho (ver Figura 1), que contou com uma capacidade instalada de 1 MWp (CHESF, 2019b). No total, foram implantadas 3.792 placas fotovoltaicas, sendo utilizados cerca de 11 mil m<sup>2</sup> de área do reservatório (CHESF, 2019b). A energia gerada é conectada a mesma infraestrutura da Usina Hidrelétrica de Sobradinho.

FIGURA 1 – USINA SOLAR FLUTUANTE DE SOBRADINHO



Fonte: Spada e MME (2019).

No caso dos sistemas fotovoltaicos terrestres, foi escolhida a Usina Solar de Tauá, sendo inaugurada em 04 de agosto de 2011, ilustrada na Figura 2. Segundo Beigelman (2013), a usina foi o primeiro projeto comercial de geração solar da América do Sul. Semelhante ao projeto de Sobradinho, a usina possui uma potência nominal instalada de 1MWp, aproximadamente, no qual, foram instalados 4.680 painéis fotovoltaicos em uma área total de 12 mil m<sup>2</sup> (BEIGELMAN, 2013).

FIGURA 2 – USINA SOLAR DE TAUÁ



Fonte: ENEVA (2020).

A seguir, serão descritos cada um dos aspectos (ambiental e socioeconômico) abordados neste estudo e suas respectivas categorias de impacto.

#### 4.1 ASPECTOS AMBIENTAIS

Conforme citado anteriormente, foram utilizadas três categorias distintas para caracterizar os aspectos ambientais, são eles: utilização, ou não, da terra; influência do ambiente externo; possíveis alterações no meio ambiente.

No que tange especificamente à utilização da terra, o Brasil é um país de dimensões continentais, ou seja, a disponibilidade de terra pode não ser um dos fatores mais impactantes a serem considerados na construção de uma usina solar terrestre. No entanto, de acordo com o Zoneamento Ecológico-Econômico das áreas susceptíveis à desertificação do estado do Ceará, núcleo II – Inhamuns, feito pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) em 2015, a Usina Solar de Tauá está localizada na “Zona Fortemente Degradada e/ou Desertificada (ZFD) em núcleos de expansão nos Sertões de Tauá/Arneiroz”.

Além disso, pode-se afirmar que, se não existisse a Usina Solar de Tauá, a área do empreendimento poderia ser destinada para outros usos que causariam maiores (por exemplo, agricultura ou moradia) ou menores impactos ambientais (como conservação da natureza). Nesse sentido, esses outros usos não poderiam ser transferidos para corpos hídricos, ou seja, a não utilização da terra para geração de energia poderia ser destinada para outros fins.

No caso de Sobradinho, não houve necessidade de utilização de terra para instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes e, também, usou a mesma infraestrutura da UHE para a transmissão de energia, o que não gerou impactos

significativos na paisagem natural local por evitar, por exemplo, a supressão da vegetação. Também, não apresentou conflitos de interesse na UHE de Sobradinho, pois a usina solar utiliza menos de 1% da área do reservatório.

Em relação à influência do ambiente externo, as usinas de Tauá e Sobradinho estão localizadas numa região de Clima Semiárido Quente (BSh – conforme classificação de Koppen), isto é, possuem temperaturas médias semelhantes e, assim, a influência do ambiente externo sobre as eficiências dos painéis solares pode ser parecida.

No caso de Tauá, a eficiência dos painéis varia conforme o ambiente externo. Em compensação, a usina de Sobradinho se sobrepõe nessa questão, pois sob a água os painéis podem ser resfriados naturalmente, o que pode aumentar sua eficiência. O resfriamento também pode ocorrer devido à localização da usina, visto que, a região possui baixa umidade relativa do ar e alta velocidade dos ventos (GALDINO; OLIVIERI, 2017). No caso de Sobradinho, a tecnologia utilizada foi construída para suportar as forças do vento e a correnteza específica da região, adequando-se as mudanças de nível do reservatório e resistindo aos efeitos do ambiente (FREIRE, 2018).

Em função de possíveis alterações no meio ambiente, os sistemas flutuantes geram impactos positivos/ negativos no meio ambiente local, o caso de Sobradinho não seria diferente. Contudo, devido à área atual da usina flutuante ser inferior a 1% da área total do reservatório, pode-se supor que os impactos são mínimos no ecossistema local. O reservatório de Sobradinho não sofre com o processo de eutrofização (GALDINO; OLIVIERI, 2017) e pela área da usina flutuante ser pequena, pode-se inferir que, a implantação, ou não, desse sistema não influenciaria nessas questões.

No caso da Usina Solar de Tauá, inúmeros impactos negativos podem influenciar o meio ambiente local. Conforme citado anteriormente, a supressão da vegetação nativa deixa o solo exposto, tornando-o mais frágil e propenso à erosão, pode influenciar no microclima local e na intensificação da evapotranspiração da água. Em Tauá, a situação da usina se agrava devido à mesma se encontrar na “Zona Fortemente Degradada e/ou Desertificada”.

## 4.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Com o objetivo de avaliar os aspectos socioeconômicos dos dois estudos de caso, foram considerados os custos estimados e o desenvolvimento científico, descritos na sequência.

No que diz respeito aos custos estimados, os investimentos iniciais dos projetos de Sobradinho e de Tauá foram diferentes, apesar de terem características semelhantes.

Considerando o custo de instalação de sistema fotovoltaico em 2012 de 12.000 R\$/kWp (ABINEE, 2012), a média da energia solar apresentada no Leilão de Energia A-6/2019 – 4.163,50 R\$/kW (ANEEL, 2020) e os valores médios do dólar para os respectivos períodos, foi possível encontrar uma taxa de variação no preço da instalação de usina solar fotovoltaica. A partir desse pressuposto, o custo de instalação da Usina de Tauá projetado para 2019 é em torno de 963,88 US\$/kW. No caso de Sobradinho, o projeto custou cerca de 3.366,19 US\$/kW em 2019. É possível estimar que o investimento inicial da Usina Solar Flutuante de Sobradinho foi, aproximadamente, 250% superior ao de Tauá.

Apesar dessa diferença, pode-se afirmar que, a tecnologia do SSFVF é relativamente nova no Brasil (não consolidada) e, semelhante ao SSFVT, levará certo tempo para que haja diminuição nos custos de instalação. Segundo Kato (2013), as usinas flutuantes podem ser 30% mais caras do que as convencionais. Vale frisar que, a Usina Solar de Sobradinho utilizou a mesma infraestrutura da hidrelétrica, dispensando investimento em transmissão. Desde a inauguração da Usina de Tauá (em 2011), houve evolução na tecnologia utilizada (por exemplo, painéis solares mais eficientes) e, assim, o investimento inicial poderia ser inferior se fosse construído no mesmo período de Sobradinho, por exemplo, o investimento da Usina Solar de Sobradinho representa apenas 60% do investimento da Usina de Tauá em 2011.

Em relação ao desenvolvimento científico, ambos os projetos podem concentrar o desenvolvimento de pesquisas, despertando o interesse da comunidade acadêmica por serem pioneiros. No caso de Tauá, por exemplo, existe parceria com a Universidade Estadual do Ceará (UECE) para monitoramento dos dados coletados ao longo da operação da usina, capacitando os universitários nessa área (BEIGELMAN, 2013). Já a Usina de Sobradinho faz parte de um dos projetos da CHESF, cujo objetivo é desenvolver tecnologias com fontes solares no Nordeste do Brasil. A Usina Solar Flutuante de Sobradinho poderá servir como “modelo-base”

para o Projeto São Francisco (MDR, 2019).

#### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE A USINA SOLAR FLUTUANTE DE SOBRADINHO (BA) E A USINA SOLAR TERRESTRE DE TAUÁ (CE)

Para sintetizar as informações, foi elaborado um quadro síntese dos dois aspectos considerados nesse estudo (ambiental e socioeconômico), bem como, suas respectivas categorias e níveis de impacto. Essa análise qualitativa está exposta no Quadro 2.

QUADRO 2 – COMPARAÇÃO ENTRE A USINA SOLAR FLUTUANTE DE SOBRADINHO (BA) E A USINA SOLAR “TERRESTRE” DE TAUÁ (CE)

| Aspecto        | Categoria                             | Usina solar flutuante no reservatório da usina de Sobradinho (BA) |                                                                                                                                                                                   | Usina solar terrestre de Tauá (CE) |                                                                                                                                                      |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                       | Impacto                                                           | Descrição                                                                                                                                                                         | Impacto                            | Descrição                                                                                                                                            |
| Ambiental      | Utilização da terra                   | Positivo                                                          | Inexistência de utilização da terra (mesma infraestrutura da UHE), reduzindo impactos na paisagem natural local. Não gera conflitos de interesse no reservatório.                 | Negativo                           | Utilização de terra (conflitos de uso e ocupação do solo), além de impactos na paisagem natural local na fase de preparação e instalação do projeto. |
|                | Influência do ambiente externo        | Positivo                                                          | Por estar sob a água e devido a sua localização, o sistema pode ter maior eficiência. A estrutura dos flutuadores foi construída para suportar as adversidades ambientais locais. | Negativo                           | Pode sofrer com as altas temperaturas do ambiente externo, reduzindo a eficiência na geração de energia elétrica.                                    |
|                | Possíveis alterações no meio ambiente | Neutro                                                            | A planta de 1MWp não gerou impactos ambientais significativos na qualidade da água e nem ao interferir no processo de evaporação e de sombreamento.                               | Negativo                           | Impactos ambientais negativos podem ser causados, por exemplo, pela retirada da vegetação durante o processo de construção da usina.                 |
| Socioeconômico | Custos estimados                      | Negativo                                                          | Apesar dos projetos serem semelhantes, o investimento total por kW produzido foi superior ao sistema convencional.                                                                | Positivo                           | Apesar dos projetos serem semelhantes, o investimento total por kW produzido foi inferior ao sistema flutuante.                                      |
|                | Desenvolvimento científico            | Positivo                                                          | Desenvolvimento da tecnologia e despertou o interesse da comunidade acadêmica.                                                                                                    | Positivo                           | Desenvolvimento da tecnologia e despertou o interesse da comunidade acadêmica.                                                                       |

Fonte: A autora (2020).

No aspecto ambiental, a implantação de uma usina solar terrestre pode

gerar inúmeros impactos negativos sobre o meio ambiente local, ocasionados especialmente pela retirada da vegetação durante o processo de construção da usina, afetando o microclima local. No caso da usina de Tauá, a mesma está localizada em uma área com certo nível de fragilidade ambiental, assim, os 12 mil m<sup>2</sup> de área total da usina, que poderiam ser destinados para conservação do meio ambiente local, por exemplo, estão sendo utilizados para geração energia renovável, o que pode ser um fator negativo.

Em compensação, um dos fatores que pode restringir a aplicação da energia solar fotovoltaica flutuante em comparação a terrestre é o alto investimento inicial. Os custos da usina de Sobradinho foram cerca de 250% superior ao de Tauá, o que pode ser explicado pela tecnologia ser nova no país, isto é, não estar consolidada.

É importante frisar que, independente do tipo de tecnologia empregada, investir em energia solar fotovoltaica pode contribuir para o desenvolvimento tecnológico e social da região.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante do exposto, é possível afirmar que, existe diferentes impactos na economia, sociedade e no meio ambiente conforme o local onde é instalado o sistema solar fotovoltaico no Brasil, seja ele em solo ou sob a água. A escolha da tecnologia a ser empregada em cada projeto deve ser estudada caso-a-caso, isto é, depende do local a ser implantado, do porte do empreendimento, dos custos associados, das características locais, entre outros.

Os resultados apontaram que a utilização de reservatórios de UHE podem ser um dos potenciais para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil, quando é considerado o aspecto ambiental, visto que, a não utilização da terra é uma das principais vantagens dos SSFVF. Os impactos podem ser mínimos dependendo do porte do projeto, como é o caso de Sobradinho. No entanto, é importante frisar que, são poucos os estudos que abordam esse assunto conforme a realidade brasileira.

Em síntese, pode-se observar que, no aspecto ambiental os sistemas terrestres podem causar conflitos de uso e ocupação do solo e gerar impactos na paisagem local natural, além de apresentarem menor eficiência. Os SSFVF causam impactos na qualidade dos corpos hídricos e geram efeitos de sombreamento e de



minimização do vento, o que pode causar alterações no meio ambiente. Tais impactos não são significativos na UHE de Sobradinho, pois a planta de 1MWp da usina flutuante representa menos de 1% da área total do reservatório. Também, presumisse que, o projeto de Sobradinho é mais eficiente do que o instalado na usina de Tauá.

Pode-se dizer que, o investimento inicial é uma das principais vantagens dos SSFVT no Brasil, conforme analisado nesse estudo, a diferença pode variar em torno de 250%. Contudo, essa realidade pode ser diferente quando a tecnologia empregada em sistemas flutuantes estiver consolidada e equiparável ao dos sistemas convencionais. Este estudo também mostrou que investir em sistemas fotovoltaicos, independente do local que é instalado, pode gerar benefícios para a economia e a sociedade local.

Nesse estudo, não foram avaliados os custos com transmissão de energia, o que poderia alterar a diferença econômica entre os dois sistemas analisados, pois o SSFVF utiliza a mesma infraestrutura de transmissão da UHE. Além disso, poderiam ser estudados sistemas híbridos, onde o SSFVF pode ser dimensionado para reduzir a demanda sazonal por armazenamento de energia, diminuindo o tamanho dos reservatórios e, conseqüentemente, os impactos ambientais causados por estes.

Assim, para futuros trabalhos, sugere-se incorporar os custos de transmissão. Também, recomenda-se que estudos, mais aprofundados e voltados para a realidade brasileira, sejam realizados para verificar os impactos ambientais gerados pela implantação de sistemas convencionais e flutuantes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012. Disponível em:

<<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>. Acesso em: 27 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resultado de Leilões**. 2020. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>>. Acesso em: 06 jan. 2020.



BEIGELMAN, Bruno Boaventura. **A energia solar fotovoltaica e a aplicação na usina solar de Tauá**. 2013. 61 f. TCC (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa nº 875, de 10 de março de 2020. Estabelece os requisitos e procedimentos necessários à aprovação dos Estudos de Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas, à obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamentos hidrelétricos, à comunicação de implantação de Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica e Projeto Básico de Usina Hidrelétrica sujeita à concessão. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 51, p. 60, 16 mar. 2020.

CHOI, Young-kwan. A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact. **International Journal Of Software Engineering And Its Applications**, v. 8, n. 1, p.75-84, 31 jan. 2014. Global Vision School Publication. <http://dx.doi.org/10.14257/ijseia.2014.8.1.07>.

COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). **Sobradinho**. 2019a. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>>. Acesso em: 16 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Chesf energiza Usina Solar Flutuante**. 2019b. Disponível em: <[https://www.chesf.gov.br/\\_layouts/15/Chesf\\_Noticias\\_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=373](https://www.chesf.gov.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=373)>. Acesso em: 15 out. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf> >. Acesso em: 30 jul. 2020.

ENEVA. **Tauá**. 2020. Disponível em: < <https://eneva.com.br/nossos-negocios/geracao-de-energia/taua/>>. Acesso em: 23 jul. 2020.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação no Estado do Ceará: Núcleo II – Inhamuns**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2015. Disponível em: <<http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/LIVRO-FUNCEME-INHAMUNS.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2019.

FREIRE, Wagner. **Primeira fase da usina solar flutuante em Sobradinho será concluída em dezembro**. 2018. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53074682/primeira-fase-da-usina-solar-flutuante-em-sobradinho-sera-concluida-em-dezembro>>. Acesso em: 08 jan. 2020.

GALDINO, Marco Antonio Esteves; OLIVIERI, Marta Maria de Almeida. Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil. **J. Of Electrical Engineering**, v. 5, n. 1, p.10-19, 28 jan. 2017. David Publishing Company.

<http://dx.doi.org/10.17265/2328-2223/2017.01.002>.

GOSWAMI, Anik et al. Floating solar power plant for sustainable development: A techno-economic analysis. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 38, n. 6, p.1-15, 5 jun. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.13268>.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2018**. Abu Dhabi: 2018. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2018/May/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2018>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

KATO, Shinichi. **'World's Largest' Floating Solar Plant Operates on Reservoir**. 2013. Disponível em: <[https://tech.nikkeibp.co.jp/dm/english/NEWS\\_EN/20131117/316700/?P=3](https://tech.nikkeibp.co.jp/dm/english/NEWS_EN/20131117/316700/?P=3)>. Acesso em: 10 jan. 2020.

LIU, Haohui; KUMAR, Abhishek; REINDL, Thomas. The Dawn of Floating Solar – Technology, Benefits, and Challenges. **Lecture Notes In Civil Engineering**, p.373-383, 18 jul. 2019. Springer Singapore. [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-8743-2\\_21](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-8743-2_21).

LIU, Luyao et al. Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems. **Energy Procedia**, v. 105, p.1136-1142, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.483>.

LUZ, Thiago José; MOURA, Pedro. 100% Renewable energy planning with complementarity and flexibility based on a multi-objective assessment. **Applied Energy**, v. 255, p.1-9, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113819>.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Governo Federal vai estruturar leilão para energia renovável no Projeto São Francisco**. 2019. Disponível em: <<http://mdr.gov.br/component/content/article?id=12206>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Brasília: Câmara dos Deputados. 2017. Disponível em: <[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia\\_solar\\_limp.pdf](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2019.

RAM, Manish et al. Global energy system based on 100% renewable energy: Energy Transition in Europe Across Power, Heat, Transport and Desalination Sectors. **Lappeenranta**. Berlim, 2018. Disponível em: <[http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/2018/12/EWG-LUT\\_Full-Study\\_Energy-Transition-Europe.pdf](http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/2018/12/EWG-LUT_Full-Study_Energy-Transition-Europe.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2019.

SACRAMENTO, Elissandro Monteiro do et al. Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. **Iet Renewable Power Generation**, v. 9, n. 8, p.1019-1024, 1 nov. 2015. Institution of Engineering and Technology (IET). <http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0120>.

SILVA, Gardenio Diogo Pimentel; BRANCO, David Alves Castelo. Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. **Impact Assessment And Project Appraisal**, v. 36, n. 5, p.390-400, 28 maio 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2018.1477498>

SILVA, Gardenio Diogo Pimentel; MAGRINI, Alessandra; BRANCO, David Alves Castelo. A multicriteria proposal for large-scale solar photovoltaic impact assessment. **Impact Assessment And Project Appraisal**, p.1-13, 26 abr. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2019.1604938>.

SPADA, Bruno; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MME). **Presidente aciona usina solar flutuante no Nordeste**. 2019. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/pdAS9lCdBICN/content/presidente-aciona-usina-solar-flutuante-no-nordeste](http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lCdBICN/content/presidente-aciona-usina-solar-flutuante-no-nordeste)>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SPENCER, Robert S. et al. Floating Photovoltaic Systems: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 3, p.1680-1689, 11 dez. 2018. American Chemical Society. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.8b04735>.

STRANGUETO, Karina Maretti. **Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas**. 2016. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

WORLD BANK GROUP; ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANCE PROGRAM (ESMAP); SOLAR ENERGY RESEARCH INSTITUTE OF SINGAPORE (SERIS). **Where Sun Meets Water**: floating solar market report – executive summary. Washington: The World Bank, 2018. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/579941540407455831/pdf/Floating-Solar-Market-Report-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2019.