

GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO FLUTUANTE NO RESERVATÓRIO CASTANHÃO, CE

YORRANA COUTINHO PORTO¹, BRIGIDA MIOLA ROCHA¹, FRANCISCA DAYANE CARNEIRO MELO¹,
RODRIGO ALVES PATRICIO¹, BRUNO RICARDO DE ALMEIDA^{1,2}, FRANCISCO DE ASSIS LEANDRO FILHO³

¹Universidade de Fortaleza (Unifor), Centro de Ciências Tecnológicas, Fortaleza – Ceará, Brasil

²Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Elétrica, Fortaleza – Ceará, Brasil

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Jaguaruana, Ceará, Brasil

E-mails: bmiola@unifor.br, yorrana@alu.unifor.br, dayane.fcm@gmail.com,
rodrigo.patricio@unifor.br, almeida@unifor.br, fco07leandro@gmail.com

Abstract— The generation of electric energy using floating photovoltaic system has been gaining ground in several countries because it is a new strategy, that in addition to generating energy, avoids the evaporation of water resources and due to the cooling of the photovoltaic modules, there is the contribution to increase in the conversion efficiency thereof. In this context, this study aims to verify the technical feasibility of deploying a floating photovoltaic system in Castanhão reservoir, located in the state of Ceará. The sizing of the reservoir under study was performed, and using the PVsyst software, the estimated power generation and the energy potential of the reservoir was calculated. As main results, a total value of 5590 MWp of installed power was reached, corresponding to an annual electricity production of 9256 MWh/year. With the installation of the proposed system, a volume of 30979.4 m³ of water would cease to be lost by evaporation in Castanhão and 2129.3 tCO₂ of avoided emissions. These results show that the proposed floating system is quite attractive, enabling the system to provide part of the local electricity demand and reducing the rate of evaporation of water in the Castanhão reservoir.

Keywords— Renewable energy; Floating photovoltaic systems; Castanhão Reservoir

Resumo— A geração de energia elétrica utilizando sistema fotovoltaicos flutuantes vem ganhando espaço em diversos países por se tratar de uma nova estratégia, que além de gerar energia, evita a evaporação dos recursos hídricos e, por efeito do resfriamento dos módulos fotovoltaicos, há a contribuição para aumento na eficiência de conversão dos mesmos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade técnica da implantação de um sistema fotovoltaico flutuante no reservatório Castanhão, localizado no estado do Ceará. Realizou-se o dimensionamento do reservatório em estudo, e utilizando o software PVsyst, calculou-se a estimativa de geração de energia e o potencial energético do reservatório. Como principais resultados, chegou-se em um valor total 5590 MWp de potência instalada, correspondentes a uma produção anual de energia elétrica de 9256 MWh/ano. Com a instalação do sistema proposto encontrou-se um volume de 30979,4 m³ de água que deixaria de ser perdida por evaporação no Castanhão e 2129,3 tCO₂ de emissões evitadas. Esses resultados demonstram que o sistema flutuante proposto é bastante atrativo, possibilitando que o sistema forneça parte da demanda de eletricidade local e reduzindo a taxa de evaporação de água no reservatório Castanhão.

Palavras-chave— Energias renováveis; Sistema fotovoltaico flutuante; Reservatório Castanhão.

1 Introdução

Atualmente grande parte do mundo tem se preocupado com os problemas ambientais associados a utilização excessiva de fontes de energia poluentes, como por exemplo as termelétricas que fazem o uso de combustíveis fósseis. Indo ao encontro das políticas de redução de CO₂, as fontes renováveis de energia, como eólica e fotovoltaica estão aumentando de forma bastante significativa. Em especial a geração de energia fotovoltaica já apresenta uma participação significativa na matriz energética brasileira, e o uso destes sistemas na forma flutuante, vem ganhando espaço em diversos países e sido tema de pesquisa e estudo na comunidade científica (LOPES; SOUZA-JÚNIOR, 2016).

Os sistemas de geração fotovoltaico flutuantes tem sido uma opção bastante vantajosa para países que não têm terra suficiente para instalações fotovoltaicas tradicionais, como por exemplo o Japão, Cingapura, Coreia, Filipinas e muitos outros. Este sistema flutuante pode ser instalado em corpos d'água, como oceanos, lago, lagoas de irrigação, reservatórios, estações de tratamento de águas residuais, barragens, canais, etc (UEDA et al, 2012). Esta tecnolo-

gia tem como principal vantagem alcançar um elevado grau de eficiência devido ao isolamento térmico consistente. As células fotovoltaicas então sobre corpos d'água, isso reduz o ganho de calor no interior das células, provocando assim um ganho significativo da eficiência (HARTZELL et al., 2016).

A maior usina flutuante está sendo construída na China. Com um investimento de cerca de 500 milhões de reais, a usina solar terá uma capacidade de 150 megawatts, sendo capaz de alimentar aproximadamente 94 mil casas. Esta usina esta sendo construída sobre um lago que se formou após uma mina de carvão entrar em colapso. A empresa responsável pelo empreendimento estima uma economia de 53000 toneladas de carvão por ano na China, diminuindo assim as emissões de dióxido de carbono em 199500 toneladas (GOHD, 2018). Até então a maior usina solar flutuante também pertencia a China e tem uma capacidade de 40 MW.

No Brasil, mais especificamente no meio rural, a energia solar fotovoltaica tem demonstrado um significativo crescimento atingindo a marca de 15,8 MW instalados (BRASIL, 2018). Segundo o presidente-executivo da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), Rodrigo Sauer, o uso de

sistemas flutuantes tem se intensificado no meio rural devido a quantidade de açudes, onde o produtor pode utilizar a energia gerada para o bombeamento de água para as lavouras ou para geração distribuída, fornecendo assim um complemento na renda destas famílias.

Há um grande número de superfícies de água que poderiam ser utilizadas para instalações fotovoltaicas, como em represas de hidrelétricas, reservatórios de balanço, lagos, lagoas. Estes tipos de sistemas podem ser utilizados para substituir usinas que são instaladas sobre áreas de florestas, áreas agrícolas e construções.

No Brasil existem reservatórios, onde a quantidade de água evaporada é igual ao valor da vazão do rio (FERREIRA, 2016). O semiárido nordestino brasileiro, onde está localizada a área de estudo, configura um cenário crítico no que se refere à questão hídrica, sendo a evaporação dos recursos hídricos um dos principais responsáveis por essa situação. Dessa forma, a instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes em reservatórios hídricos são um meio de contribuir para diminuição da evaporação de superfícies d'água. Além disso, ajudam na redução do crescimento de algas e, por efeito do resfriamento dos módulos fotovoltaicos, há ainda a contribuição para aumento na eficiência de conversão dos mesmos.

Sistemas fotovoltaicos flutuantes geralmente são modulares e formados por um conjunto de estantes montado no topo de plataformas flutuantes (TRAPANI ; SANTAFÉ, 2014). Com uma capacidade de 20MWp, na Figura 1 é apresentada uma das maiores usinas em operação, localizado na província de Anhui na China.



Figura 1. Usina flutuante de Anhui-China. Fonte: Adaptado de LO, 2017.

Sistemas flutuantes tem como principal benefício resfriar os módulos fotovoltaicos, proporcionando assim uma melhora no rendimento da usina. Estudos mostram que o sistema de placas fotovoltaicas flutuantes consegue ser cerca de 11% mais eficiente que projetos instalados em terra firme (CHOI, LEE e KIM, 2013). Além do resfriamento dos painéis solares, outros benefícios que se destacam são: a possibilidade de diminuição da evaporação da água em reservatórios; e a redução do crescimento de algas de-

vido à diminuição da quantidade de luz do sol que incide no corpo d'água do reservatório (TRAPANI; SANTAFÉ, 2014).

Está melhora na eficiência está ligada diretamente com a temperatura das células fotovoltaicas, pois a potência máxima das células solares diminui à medida que a temperatura da célula aumenta (MELVIN, 2015). Ainda segundo Melvin (2015), a probabilidade de superaquecimento é reduzida, portanto, os painéis solares flutuantes têm uma potência de saída mais elevada e exigências de manutenção reduzidas do que painéis solares regulares instalados no chão ou telhados de construção.

Outro ponto positivo do uso deste sistema flutuante é que ele diminui a agitação das águas no reservatório de irrigação, como mostra a Figura 2 (SANTAFÉ et al., 2014).

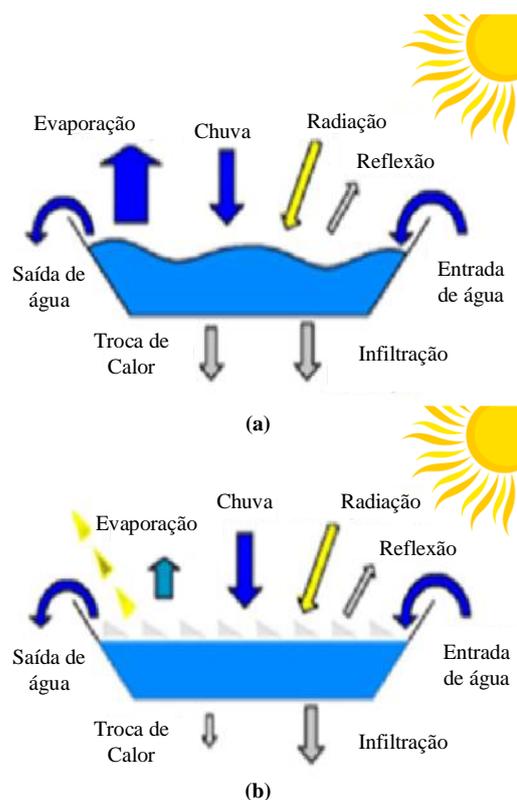


Figura 2. Agitação da água sem e com painéis flutuantes. Fonte: Adaptado de SANTAFÉ, 2014.

O uso de sistemas de produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos instalados em plataformas flutuantes acontece em alguns países desenvolvidos, motivadas principalmente para fins de irrigação. No Brasil, foram anunciados projetos pilotos para esse tipo de instalação, não havendo ainda estudos mais detalhados para um reservatório específico. Neste contexto, este artigo propõe analisar as necessidades e possibilidades dessa tecnologia para o sistema integrado brasileiro, sendo este também uma forma de diminuir as taxas de evaporação. Como objetivo principal busca-se realizar uma estimativa do potencial de produção de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico flutuante no reservatório Castanhão localizado no estado do Ceará.

2 Metodologia

Nesta seção é apresentado mais detalhadamente o local onde será realizado o estudo, bem como uma descrição do sistema e o cálculo de evaporação de água anual do reservatório.

2.1 Área de estudo

Localiza-se entre as coordenadas 5°29'55" (latitude Sul) e 38°26'52" (longitude Oeste), na Sub-bacia do Médio Jaguaribe no Ceará sobre o domínio do clima Semiárido, o reservatório Castanhão pode ser visto na Figura 3.

Este reservatório foi planejado no começo do século XX e é considerado o maior açude da América Latina (GAMA et al., 2013). Seu auge foi em 2004, quando atingiu 5,5 bilhões de m³, dos 6,7 bilhões do seu volume total (DNOCS, 2015). A capacidade hídrica do Castanhão é acondicionada por um reservatório do tipo terra homogênea/concreto compactado a rolo, tem uma profundidade de 50 metros, com altura de 60 metros, 7 metros de largura, uma extensão de 3,4 km (HIJO, 2009).

A barragem tem como principal objetivo controlar as cheias do Baixo Vale do Jaguaribe, garantir água para o abastecimento da região Metropolitana de Fortaleza e controlar o nível de outras bacias. Além do uso para piscicultura e setor agrícola, o que estimula o desenvolvimento sustentável da região do Vale do Jaguaribe e do Estado do Ceará, a geração de 22,5 megawatts de energia também é uma utilização do açude Castanhão (DNOCS, 2015).

Dados da Secretaria de Recursos Hídricos do estado do Ceará (SRH-CE), apontam que o açude representa 37% de toda a capacidade de armazenamen-

to dos 8 mil reservatórios cearenses. O maior reservatório até a construção do Castanhão era o Orós, localizado no Rio Jaguaribe, que suporta pouco mais da metade do Castanhão.

Os açudes em geral são de fundamental importância para o abastecimento humano, irrigação, pecuária, entre outras. Após a construção do Castanhão, a piscicultura se tornou uma importante atividade econômica para a região do Vale do Jaguaribe, assim como a pesca e o turismo. Outros pontos que se destacam foi o desenvolvimento industrial da região, com a presença da indústria têxtil, produtos alimentícios, mineração, química, metalúrgica, entre outros (HIJO, 2009).

Antes da construção da barragem, o rio Jaguaribe era conhecido como “maior rio seco do mundo”, visto que era um rio sazonal, tipo de rio que apresenta água apenas em estações chuvosas, e secava durante o período de estiagem (PEREIRA, 2014). Hoje o rio se tornou perene com o um fluxo de água regular, agregando uma grande importância histórico-social para região..

Para o dimensionamento do reservatório foi utilizado o *software* ArcGIS, desenvolvido pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), que é especializada na manipulação e elaboração de informações vetoriais para gerenciamento de bases. É disponibilizado pelo programa um Sistema de Informação Geográfica (SIG), com inúmeras ferramentas integradas e de fácil aplicação, simplificando os processos de trabalho. As coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), dadas em metros, são necessárias para expressar a posição de pontos sobre uma superfície, seja uma esfera, plano ou elipsoide, e é com base nessas coordenadas que descrevemos geometricamente a superfície terrestre.

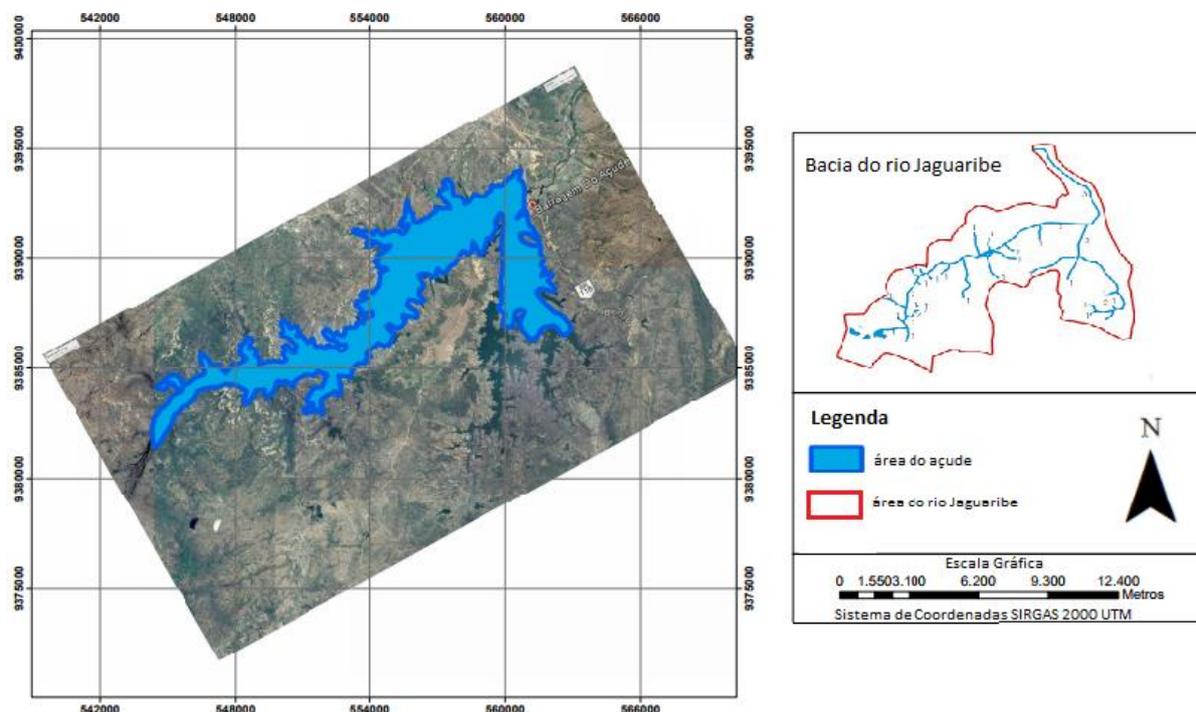


Figura 3. Área de estudo - Reservatório Castanhão.

2.2 Sistema fotovoltaico

Para realizar a estimativa de produção de energia solar foi utilizado o *software* PVsyst. Este programa computacional é desenvolvido especificadamente para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Para projetar o arranjo fotovoltaico e estimar a geração de energia no reservatório Castanhão, foi selecionado o botão *Project design* (Arranjo do projeto) e seguiu-se os seguintes passos:

- **1) Localização geográfica:** Com base no banco de dados do *software* “GOOGLE MAPS”, localizou-se geograficamente a cidade com longitude, latitude, e altitude. Os dados foram adequados com o banco de dados da NASA: “NASA-SSE satellite data, 1983-2005” ou pelo “Synthetic - Meteororm 7.1”, que é um dos bancos de dados do *software* PvSyst. Com estes dados estabelecidos, o *software* calcula a média mensal e anual da Irradiação Global, Irradiação Difusa, Temperatura, Velocidade dos Ventos, entre outros.
- **2) Albedo (irradiação refletida/irradiação incidente na superfície):** após de definir a localização geográfica, o *software* possibilita a escolha do albedo onde será instalado o sistema, através da opção *Project Settings*. Neste trabalho foi utilizado o valor correspondente ao tipo de superfície onde será instalado o projeto. A média de albedo para um corpo d’água, sem sombras, é de 0,124 no Rio Grande do Sul (LEIVAS, 2007); em Rondônia foi observado um albedo entre 0,08 e 0,10 (GUERRA; YOUSSEF, 2014). Deste modo, foi utilizado um valor mediano de 0,10, dentre os valores apresentados pelo PVsyst.
- **3) Inclinação do módulo fotovoltaico e Azimute geográfico (angulação formada a partir do Norte Magnético):** Nessa etapa de definição dos parâmetros, o primeiro passo a ser configurado é a Orientação de instalação dos módulos com relação ao sol. A maioria dos sistemas fotovoltaicos flutuantes utiliza sistemas fixos, então foram adotados sistemas fixos. O melhor resultado obtido foi utilizando o azimute de 0° em relação ao norte geográfico e uma inclinação de 10°. Esta configuração é bastante recomendada por inúmeras literaturas, possibilitando uma mesma captação de radiação com um número menor de módulos, o que reduz o custo de instalação.
- **4) Configuração do sistema:** os últimos critérios para simular a energia elétrica produzida são os dados dos sistemas: Área da instalação; Escolha dos módulos fotovoltaicos; Escolha do inversor de frequência (CC/CA).

2.3 Cálculo do volume de água que deixa de evaporar anualmente

O cálculo do volume de água que deixa de evaporar anualmente foi calculado de acordo com a equação (1), (AHRLET, 2017):

$$V_e = E_a \cdot A \cdot r \quad (1)$$

sendo:

V_e – volume de água que deixa de evaporar (m³);

E_a – evaporação anual (m);

A – área ocupada pelos módulos de geração (m²);

r – redução de evaporação devido à cobertura.

A taxa de redução de evaporação foi adotada de acordo com o sugerido por SAHU et al. (2015) para sistemas fotovoltaicos do tipo flutuante. Segundo os autores, pode-se reduzir a evaporação em até 50% em estruturas feitas pelo homem, o que se aplica aos reservatórios, como o caso do Castanhão. Quanto à área de ocupação dos painéis, esta foi definida de acordo com a capacidade instalada fotovoltaica no reservatório considerando o atual volume de água no Castanhão. A taxa de evaporação utilizada foi de acordo com Dantas (2017). Nesse estudo, foram usados os dados de média de evaporação estimada no em torno do açude Castanhão considerados para o período de estiagem no Ceará.

3 Resultados e Discussões

Os resultados de projeto são apresentados nesta seção, onde é discutido a formação do arranjo fotovoltaico e sua potência instalada.

3.1 Arranjo fotovoltaico

De forma simplificada, pode-se dizer que um sistema fotovoltaico é dividido em duas partes: Painéis e Inversor de Frequência.

3.1.1 Pannel fotovoltaico

Para seleção dos painéis fotovoltaico, optou-se por utilizar neste trabalho painéis já em operação nos últimos anos em arranjos fotovoltaicos flutuantes. Verificando os dados destes painéis na base de informações *software* PVsyst e buscando os modelos comercializados no mercado brasileiro, optou-se por um modelo com a autenticação do INMETRO. O modelo escolhido de painéis é produzido pela empresa Yingli Solar, modelo YL310P-35b, do tipo Policristalino (Si-Poly) com uma potência de 310 Wp e uma tensão de 31V.

3.1.2 Determinação do número total de painéis e função da área a ser ocupada

Durante o dimensionamento, pode-se perceber que grande parte do corpo hídrico estava com sedimentos aparentes ou se encontrava em um nível mais baixo que o necessário para a implantação do sistema flutuante, como mostra a Figura 4.



Figura 4. Fotografias do reservatório Castanhão.

O projeto não pode ser implantado em corpo hídrico raso, pois pode ocasionar tombamento, danificando assim o arranjo fotovoltaico. Logo é necessário que o projeto seja ancorado adequadamente, sendo assim escolhido o meio do reservatório para a instalação do sistema.

O *software* PVsyst aceita um valor máximo de 100000 m² (0,1 km²) de área de projeto, assim foi considerada a implantação do sistema ocupando 0,07% da área total do reservatório. Essa porcentagem em metros é avaliada em 35000 metros, ou 0,035 km².

Com relação ao sombreamento, o *software* fornece os dados para análise e definição do melhor local. De acordo com Stranguetto (2016) nos ângulos de maior inclinação do painel são obtidas as maiores perdas de sombreamento, mesmo com uma mesma latitude geográfica. A maior redução de perdas por sombreamento decorre quando o espaçamento entre uma fileira e outra é modificado de 1 metro para 1,5 metros. Uma distância superior a esta não faz diferença significativa com relação a perdas por sombreamento.

Tendo feitas estas considerações obteve-se um arranjo com 18.031 painéis, organizados em 949 fileiras de 19 painéis, como ilustra a Figura 4. Para esta configuração são necessários 17 inversores.

Visto que cada painel tem 1,96 metros de comprimento, cada fileira de 19 painéis terá 37,24 metros. Portanto, cada fileira, incluindo o respectivo espaçamento de 1,5 metros, tem uma área de 93 m², o que totaliza, para todo o arranjo, com 949 fileiras, uma área total de 15149 m².

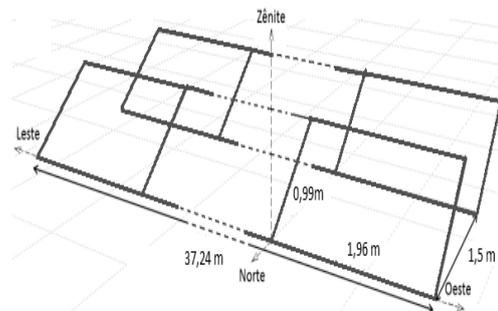


Figura 5. Arranjo fotovoltaico.

3.1.3 Inversor de frequência

O inversor, responsável por converter a corrente contínua em corrente alternada, pode ser considerado o coração do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR). Para determinar o inversor, foram estudados os equipamentos desse tipo usados nos arranjos fotovoltaicos que estiveram na Chamada 13 da Aneel, e que foram analisados por Lopes (2013). Deste modo, o inversor escolhido para esse estudo foi o do fabricante Ingeteam, modelo Ingecon Sun 1000 TL M400 DC Indoor, de 1020 kW.

3.2 Estimativa de energia gerada e potência do sistema instalado

Utilizando o PVsyst estima-se que a energia anual produzida nesse sistema seria de 9256 MWh/ano, com fator de capacidade 19% e taxa de performance de 0,81. O resumo desses resultados é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos através do PVsyst.

MEDIDA	UNIDADE	VALOR
Energia Atual	KWh	18.396
Fator de Capacidade	%	19
Taxa de Performance		0,81

Fator de capacidade é a proporção entre a produção efetiva da usina no período de tempo e a produção total no mesmo período, como mostra a equação (2).

$$\frac{9252MWh}{(365 \text{ dias} \cdot 24h \cdot 5,5MW)} = 0,19 = 19\% \quad (2)$$

Deve-se ressaltar que essa estimativa é fundamentada nos dados de um sistema em terra e como visto na sessão anterior, em sistemas flutuantes tem-se um ganho no rendimento, tendo em vista o resfriamento dos painéis em proximidade com a água, proporcionando uma temperatura menor e aumentando a produtividade (CHOI, LEE, & KIM, 2013).

Outras medidas que foram adotadas no sistema, como entrada de radiação, velocidade do vento, temperatura, perda de eficiência do inversor e radiação global, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do Relatório detalhado do PVsyst.

PARÂMETROS DO SISTEMA	VALOR
Número de Módulos	18031 módulos
Número de Inversores	17 inversores
Potência	5590 MWp
Produção de Perdas por Mês	7225 MWh
Taxa de Performance	0,81
Potência por metro quadrado	6.2 MW/m ²
Irradiação Horizontal Global	2031.2 kWh/m ² (por ano)
Temperatura Ambiente	27.1 °C
Incidência Global	2035.5 kWh/m ² (por ano)
Irradiação Global (Corrigida pelas Sombras)	1974.5 kWh/m ² (por ano)
Energia de saída do Arranjo	9385.8 MW/h (por ano)
Energia injetada na Rede	9255.6 MW/h (por ano)

Os resultados apresentados mostram que a instalação de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes (SFF) no reservatório Castanhão tem um impacto não apenas socioeconômico, pois contribui na redução da poluição em créditos de carbono e é importante no aspecto ambiental, com relação a economia de água.

Com o sistema solar fotovoltaico flutuante proposto, pode se calcular o volume de água que deixará de ser perdido por evaporação devido a ocupação de parte do espelho d'água pelos módulos fotovoltaicos. Foi estabelecida a evaporação anual para o reservatório de 1770,25 mm (DANTAS, 2017). A área ocupada pelos painéis fotovoltaicos foi de 35.000 m² e a taxa de redução de evaporação de 0,5 como sugerida por SAHU *et al.* (2015). Dessa forma encontrou-se assim um volume de 30979,4 m³ de água que deixaria de ser perdida por evaporação. Esse valor pode ser considerado relevante, visto a localização do reservatório que trata-se de uma região onde os problemas de disponibilidade hídrica se acumulam, levando-se a atingir situações críticas.

A cobertura da superfície também reduz a penetração de luz solar, colaborando para a redução da eutrofização da água acumulada pela barragem. Este fenômeno está presente em diversos reservatórios do país, devido ao ambiente lântico que favorece uma pequena turbidez para água. ausência de obstáculos que impediram a incidência solar sobre o espelho d'água, e, muitas vezes por motivos antrópicos, ao alto teor de nutrientes nos rios (DANTAS, 2017).

Outro fator importante que vale ressaltar são as emissões de carbono evitadas. O grande desafio encontra-se na redução satisfatória das emissões de CO₂ para a atmosfera, evitando a continuação do agravamento dos seus efeitos.

A Figura 6 mostra as emissões de carbono evitadas no período de 30 anos. São “salvas” 2129.3 tCO₂, a partir da implantação do projeto flutuante.

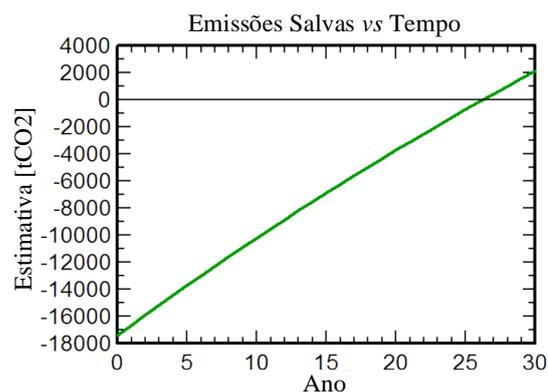


Figura 6. Emissões de CO₂ evitadas.

4 Conclusão

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.

A estimativa do potencial de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes no reservatório do Castanhão no estado do Ceará, mostrou um total de potência instalada de até 5590 MWp, correspondentes a uma produção anual de energia elétrica de 9256 MWh/ano. O arranjo idealizado e simulado neste trabalho contém 18031 módulos, 17 inversores, fator de capacidade médio de 19% e taxa de performance de 0,81. Além disso, com a instalação do sistema proposto encontrou-se um volume de 30979,4 m³ de água que deixaria de ser perdida por evaporação no Castanhão e 2129,3 tCO₂ de emissões evitadas.

Neste estudo não se buscou realizar uma análise custo-benefício, somente um enfoque na potencialidade de um projeto de sistema FVF devido ao fato de ser uma aplicação teórica e experimentalmente nova no cenário mundial. Uma análise custo-benefício seria mais eficiente após a instalação de um protótipo e coleta de dados práticos com a aplicação real do projeto.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade de Fortaleza (Unifor) pelo suporte e incentivo à pesquisa e inovação.

Referências

- Ahlert, V. S. C. (2017) Aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidrelétricas – Estudo de caso em uma hidrelétrica brasileira. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 110 f., Rio de Janeiro.
- Brasil, C. I. do (2018) Uso de energia solar no campo cresce com usinas flutuantes. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-06/uso-de-energia-solar-no-campo-cresce-com-uso-de-usinas-flutuantes/>. Acesso em: 26 de junho de 2018.
- Choi, Y.-K.; Lee, N.-H.; Kim, K.-J. (2013) Empirical Research on the efficiency of Floating PV systems compared with Overland PV Systems. *Ces-Cube*, vol. 25, p. 284-289.
- Dantas, S. P. (2017) Açudagem no nordeste brasileiro e no Ceará: estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal do Ceará, 196 f., Fortaleza.
- Dnocs. (2017) Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/barragens/castanhao/castanhao.html>. Acesso em: 08 maio 2017.
- Gama, A. F.; Oliveira, A. H. B. de; Cavalcante, R. M. (2013) Inventário de agrotóxicos e risco de contaminação química dos recursos hídricos no semiárido cearense. *Química Nova (Impresso)*, v. 36, p. 462-467.
- Gohd, G. (2018) China Has Built a Huge Floating Solar Farm on Top of a Deserted Coal Mine. Disponível em: <https://futurism.com/china-built-huge-floating-solar-farm-top-deserted-coal-mine/>. Acesso em: 26 de junho de 2018.
- Guerra, J. B. S. O. A.; Youssef, Y. A. (2011) As energias renováveis no Brasil: entre o mercado e a universidade. Universidade do Sul (Unisul), 225 p., Palhoça.
- Hartzell, T. S. (2016) Evaluating Potential for Floating Solar Installations on Arizona Water Management Infrastructure. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (College Of Architecture), University Of Arizona, Arizona.
- Hijo, C. A. G. (2009) Quantificação do efeito do açude Castanhão sobre o fluxo fluvial de material particulado em suspensão e nutrientes para o estuário do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. Dissertação (Curso de pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais), 34 f., Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Leivas, J.; Fontana, D.; Berlato, M.; Cardoso, L. (2007) Variação Diária do Albedo Sobre uma Superfície Vegetada e Sobre um Lago na Estação Experimental da UFRGS-RS. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.
- Lo, T. (2017) Is Beijing becoming a global climate leader? Chinese company builds ‘world’s largest floating solar plant that could power 15,000 homes. Disponível em: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4589114/China-builds-world-s-largest-floating-solar-plant.html>. Acesso em: 26 de junho de 2018.
- Lopes, D. G. (2013) Análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo: estudo de caso dos projetos da chamada Nº13 da ANEEL. Tese (Faculdade de Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Lopes, M. M., Souza-Junior, P.A. (2016) Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes: Análise do tema e estudo de caso para o lago da UNIFEI. X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Gramado.
- Melvin G. K. X. (2015) Experimental Study of the Effect Of Floating Solar Panels on Reducing Evaporation in Singapore Reservoirs. Trabalho de Conclusão de Curso (Engineering Department Of Civil & Environmental Engineering), University Of Singapore, 36 f., Singapore.
- Pereira, F. A. C. (2014) Uma Análise computacional e geo espacial do sistema hídrico do complexo portuário do Pecém. Dissertação (Curso de Engenharia Hidráulica e Ambiental), Universidade Federal do Ceará, 76 f., Fortaleza.
- Santafé, M. R.; Soler, J. B. T.; Romero, F. J. S.; Gisbert, P. S. F.; Gozáles, J. J. F.; Gisbert, C. M. F. (2014) Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs. *Energy*. vol.67, p. 246-255.
- Strangueto, K. M. (2016) Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas. Tese (Curso de Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, 144 f., Campinas.
- Trapani, K.; Santafé, M.R. (2014) A review of floating photovoltaic installations: 2007– 2013. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*
- Ueda, Y. et al. (2012) Five years demonstration results of floating PV systems with water spray cooling. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.