

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO: IMPLICAÇÕES PARA UM SISTEMA FLUTUANTE NO LAGO BOLONHA, BELÉM-PARÁ¹

GARDENIO DIOGO PIMENTEL DA SILVA²; MARCELO JOSÉ RAIOL SOUZA³

¹Aceito para Publicação no 1º Trimestre de 2017.

²Mestrando em Planejamento Energético e Ambiental na Universidade do Rio de Janeiro- UFRJ, gardenio.bater@hotmail.com

³Professor Adjunto II na Universidade do Estado do Pará- UEPA, mraiol@yahoo.com.br

Resumo: Uma alternativa energética bastante estudada no Brasil é o uso de tecnologia fotovoltaica para geração de energia elétrica através da energia solar, pois o país apresenta grande potencialidade de exploração desse recurso. Entretanto uma dificuldade encontrada na instalação de projetos fotovoltaicos é a questão do espaço urbano ocupado, por isso a concepção de painéis fotovoltaicos flutuantes (FVF)¹ vem sendo explorada. Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica de estudos sobre FVF, assim como busca destacar a aplicação teórica dessa nova concepção no lago Bolonha usando o software SAM versão 2015.1.30 (National Renewable Energy Laboratory, 2015). A modelagem empírica no lago Bolonha de Belém usando o SAM, mostra que a produção anual com 112 painéis de 250 Wp² seria de 38.012 kWh, o que demonstra a elevada potencialidade de aproveitamento dessa técnica para utilização da energia em larga escala ou somente na própria estação de tratamento de água no Parque Utinga. Há a necessidade de novos estudos práticos para descobrir a real capacidade de produção de um sistema fotovoltaico flutuante assim como os impactos que estes causariam no lago Bolonha ou outros lagos com características climáticas similares.

Palavras-Chaves: painéis flutuantes, energia solar, system advisor model.

¹FVF: Floating Photovoltaic do inglês

² Watt-pic: unidade de medida utilizada para painéis fotovoltaicos e significa a potência em W fornecida por um painel em condições específicas e reproduzidas em laboratório. É a potência máxima que um painel pode fornecer em condições ideais

ENERGY GENERATION STIMATIVE OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM: IMPLICATION FOR A FLOATING PROJECT ON THE BOLONHA LAKE, BELÉM- PA.

Abstract: An alternative energy source widely studied in Brazil is photovoltaic technology to generate electricity through solar energy. Because the country has great potential for exploitation of this resource. However, a difficulty encountered in the installation of photovoltaic projects is the occupied urban space. Thus the design of floating photovoltaic panel (FVF) has been explored to solve the lack of land availability. In this context, this paper presents a literature review of studies on FVF. In addition, this work sought out the theoretical application of this new design on the Bolonha Lake through SAM model version 1.30.2015 (NATIONAL REWEABLE ENERGY LABORATORY, 2015). The the empirical modeling on the lake Bologna through SAM model demonstrated that the annual production would generate 38.012kWh. Through 112 panels, of 250 Wp each one. The results demonstrate the high technical potentiality to exploit the use of this technic in large scale or only in Water Treatment Station located inside the Utinga Park. There is still need for new practical studies to find out the real production capacity of floating photovoltaic system as well as the impacts they cause in Bologna Lake or other lakes with similar climatic characteristics.

Keywords: floating panels, solar energy, system advisor model.

Introdução

Desde da crise do petróleo em 1970 o mundo passou a buscar novas fontes de geração de energia que não agredissem o meio ambiente e ao mesmo tempo pudessem atender as demandas energéticas de cada nação, com isso fontes de energia alternativas como: energia fotovoltaica, eólica, biomassa, usinas hidroelétricas, etc. passaram a ter um papel importante no cenário energético mundial.

O Brasil possui grande potencial para aproveitamento da energia solar (PERREIRA, *et al.*, 2006) e eólica em algumas regiões do país, todavia, o país possui a maior parte de sua matriz energética dependente de Usina Hidroelétrica (UHE). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2011, cerca de 80,69 GW eram provenientes de UHE, ou seja, 71,2% de toda potência elétrica brasileira (MORAES JUNIOR, *et al.*, 2012). Hidroelétricas são consideradas fontes de energia renováveis, entretanto, causam diversos impactos no meio ambiente que perduram desde de sua construção até o final da vida útil do empreendimento. Devido a crise hídrica de 2014 a 2015 ocorrida na região Sudeste, houve a necessidade de utilizar usinas termoeletricas para suprir

a demanda energética nacional, com isso percebeu-se que o Brasil precisa investir numa matriz energética mais diversificada e não só depender das UHE.

Uma alternativa bastante estudada no Brasil é o uso de tecnologia fotovoltaica para geração de energia através da energia solar, pois o país apresenta grande potencialidade de exploração desse recurso em todo o território com irradiação média de 1200 e 2400 kWh/m²/ano (LIMA, 2014). Além disso, este tipo de tecnologia não polui o meio ambiente, fato que traz benefícios ambientais e energéticos, além de operar com uma fonte inesgotável de energia (MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER, 2004). Os impactos negativos da aplicação de painéis fotovoltaicos estão mais associados com a fase de instalação do projeto onde ocorre a modificação da paisagem, todavia durante o funcionamento das placas fotovoltaicas não ocorre liberação de gases para atmosfera nem efluentes líquidos ou substâncias radioativas (TSOUTSOS, FRANTZESKAKI e GEKAS, 2005), sendo assim uma ótima opção para aproveitar a energia solar em áreas degradadas e que não possuem nenhum uso sustentável do solo.

Uma dificuldade apresentada para a aplicação de sistemas fotovoltaicos é a falta de espaço nos centros urbanos. Contudo, uma nova concepção de aproveitamento de áreas para instalação dessas alternativas vem surgindo, o sistema fotovoltaico flutuante (FVF) (TRAPANI, MILLAR e SMITH, 2013).

O grupo de pesquisa GEDAE (Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas) em parceria com o Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), instalaram na Amazônia, na pousada do flutuante Uacari, um sistema que pode lembrar a este novo conceito de instalação de painéis fotovoltaicos, pois a pousada é um local isolado, flutuante sobre um rio e que não ocupa espaço terrestre, ver (BRAGA JUNIOR *et al.*, 2013), não obstante, a tecnologia aplicada a FVF assim como a instalação e estrutura do projeto ocorrem de maneira distinta. O sistema FVF ainda é considerado um novo conceito no aproveitamento de área e energia solar, sem nenhum uso comercial até o momento e poucos projetos sendo desenvolvidos e estudados em escala global (TRAPANI, MILLAR e SMITH, 2013).

Outro obstáculo encontrado para implantação de projetos de aproveitamento energético da radiação solar, é a falta de conhecimento técnico para projetar tais sistemas. Contudo, existem diversos *softwares* (programas) criados com o propósito de guiar pessoas neste processo de

planejamento para projetos de energia solar. Por exemplo, o Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos da América (NREL), em parceria com algumas universidades, desenvolveu o modelo chamado *System Advisor Model*³(SAM) que visa auxiliar na instalação de projetos de energia renováveis. O SAM consta com uma data de dados em escala mundial sobre parâmetros como radiação global, radiação difusa, radiação no plano da matriz, temperatura ambiente, velocidade de vento, dentre outros dados. Assim como informações de painéis fotovoltaicos, inversores e outros componentes, neste pode-se escolher entre várias opções de configuração e desenvolver um sistema fotovoltaico para aplicação em diversos locais como casas e indústrias.

O presente trabalho busca estimar a quantidade de energia elétrica que seria gerada através da aplicação de um projeto fotovoltaico por meio do *software* SAM versão 2015.1.30 (National Renewable Energy Laboratory, 2015), além de apresentar uma revisão bibliográfica de estudos sobre FVF e quais seriam os benefícios e questões abordadas caso a aplicação teórica, ou estimativa, feita nesse trabalho fosse implantada sobre o reservatório do lago Bolonha em Belém-Pa como sistema fotovoltaico flutuante.

Concepção de painéis fotovoltaicos flutuantes

O sistema FVF consiste no resultado da combinação de tecnologias flutuantes e a tecnologia do sistema de painéis fotovoltaicos, gerando assim um novo e moderno conceito no desenvolvimento de tecnologias para geração de energia útil à partir da utilização de energia solar (CHOI, 2014). A estrutura flutuante que suporta os painéis pode ser feita com materiais recicláveis, como garrafas pet⁴, e aço inoxidável para assegurar a resistência dos módulos flutuantes(POLIENERGIE S.R.L., Sem Data). Esses sistemas são compostos basicamente de um sistema que flutue sobre as águas, um sistema de amarração, sistema de cabos para fixação e o sistema de placas fotovoltaicas (CHOI, LEE e KIM, 2013).

Um dos primeiros registros que se tem sobre painéis FVF foi com uma parceria entre a indústria SGPSolar e a Indústria de Tecnologias Thompson (TTI), ambas localizadas em Novato, California, Estados Unidos. Este projeto consistia na instalação de painéis em um lago de irrigação

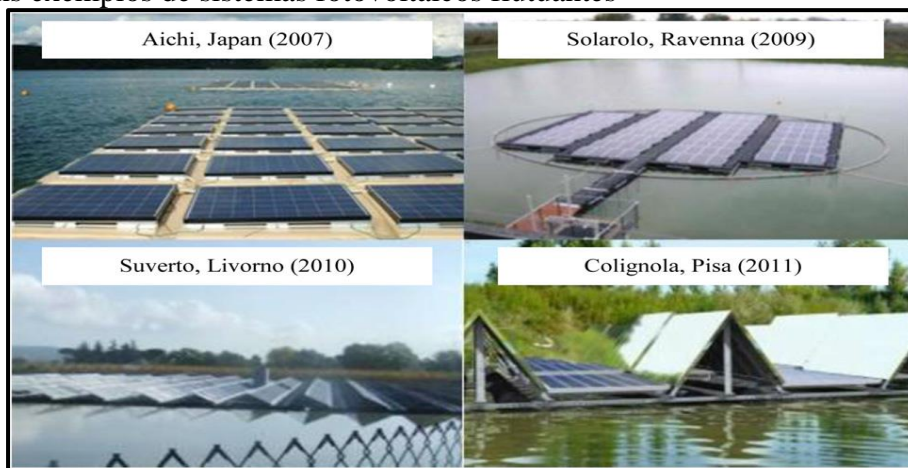
³ Sistema auxiliar para modelamento.

⁴ polietileno

de uvas em uma vinícola para atender as demandas energéticas locais, o projeto tinha capacidade de 175 kWp e teve início em 2007, em 2011 foi instalado um outro projeto protótipo de 350 Kwp em Petaluna, California, que faz parte de um plano de instalação para 1MW em sistemas futuros (TRAPANI e MILLAR, 2013). Outro projeto de 2007 que estava sendo testado foi o do Instituto Nacional de Ciência Industrial Avançada e Tecnologia do Japão, composto de um sistema de duas bases flutuantes separadas com capacidade de 10 kWp e sistema de resfriamento integrado nas placas fotovoltaicas (UEDA et al., 2008 apud TRAPANI e MILLAR, 2013).

Trapani, Millar e Smith (2013) apresentam o histórico desses projetos nos EUA, Japão e em outros lugares como na Itália. Ressalta-se que todos estes projetos foram instalados em Lagos ou reservatórios de água doce com pontes flutuantes ou estruturas rígidas, os painéis japoneses eram feitos de PF (Painel Fotovoltáico) de monocristalino enquanto que os instalados dos EUA e Itália eram de módulos de PF policristalinos. Na figura 1 são mostradas fotos desses sistemas fotovoltaicos flutuantes.

Figura 1. Alguns exemplos de sistemas fotovoltaicos flutuantes



Fonte: (TRAPANI, MILLAR e SMITH, 2013).

Além desses projetos, K-water (Korea Water Resources Corporation) em 2011 instalou um sistema FVF de 100 kW no reservatório de uma barragem de Hapcheon, uma região na Coréia do Sul, depois de instalar e obter resultados bem sucedidos foi instalado outro sistema FVF, no ano seguinte e no mesmo lago, com capacidade de 500 kW. Estes dois projetos estão gerando energia elétrica que esta sendo vendida para o sistema nacional da Korea (CHOI, 2014). A aplicação de projeto de FVF também está sendo estudada nas Ilhas de Malta, este projeto

envolve a instalação de painéis de a-Si (Silício amorfo) o que reduziu em 25% as emissões de CO₂ na ilha e ainda contribuiu para geração de energia com baixo custo (TRAPANI e MILLAR, 2013).

No Brasil encontra-se um exemplo de um projeto semelhante onde foi instalado 16 painéis do modelo M55⁵ numa base flutuante para alimentar com energia elétrica uma bomba e ajudar a transpor água de um açude, este projeto foi feito em parceria com o Centro de Pesquisas Elétrica (CEPEL), National Renewable Energy Laboratory e a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia.(AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL), 2002).

Em termos de eficiência (CHOI, LEE e KIM, 2013) relatam análises empíricas que o sistema de placas fotovoltaicas flutuantes consegue ser 11% mais eficiente que projetos instalados em terra firme, esse número parece ser considerável entretanto ainda há grande necessidade de pesquisas para se melhor comparar tais sistemas, assim como conhecer mais sobre os impactos que essa nova concepção de projetos fotovoltaicos podem trazer (positivos e negativos).

Potencial Solar em Belém

A região Amazônica possui índices de irradiação solar maiores que diversas outras regiões brasileiras e até mesmo superior aos índices de irradiação encontrados em nações europeias, onde o aproveitamento fotovoltaico acontece de forma avançada (Moraes Junior et al., 2012). Perreira *et al.*(2006) destacam que a região Norte possui variabilidade interanual de energia correspondente a uma faixa de 5,2 a 5,8 kWh/m². Além disso a aplicação de projetos de aproveitamento da energia solar já vem sendo feita em comunidades ribeirinhas isoladas na Amazônia (BRAGA JUNIOR, *et al.*, 2013).

Estes estudos aliados com a ferramenta computacional System Advisor Model desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia Renováveis dos Estados Unidos e outras organizações, demonstram que a aplicação de projetos de energia solar em Belém do Pará seria uma alternativa viável para suprimento de demandas energéticas locais. Pois Belém se encontra próxima a linha do equador, assim uma quantidade constante de radiação está disponível todo o ano nessa região. Na figura 3 mostrada essa potencialidade fazendo comparação da energia total (kWh) que chega em Belém, energia no plano da matriz (kWh/m²) que é aquela disponível para os painéis e a média diária de irradiação solar (kWh/m²/dia), usando dados disponíveis do

⁵ Fabricado pela Siemens

software SAM com o modelo PVwatts (Estima a produção e custo de energia em um sistema fotovoltaico conectado a rede), no financeiro⁶, que consiste apenas na extração de dados locais para viabilidade de implantação de um sistema. Na tabela 1 os dados de média diária de irradiação solar são mostrados (caso a visualização não seja acessível através da figura 3).

Figure 3. Dados do potencial de Belém de acordo com o SAM.

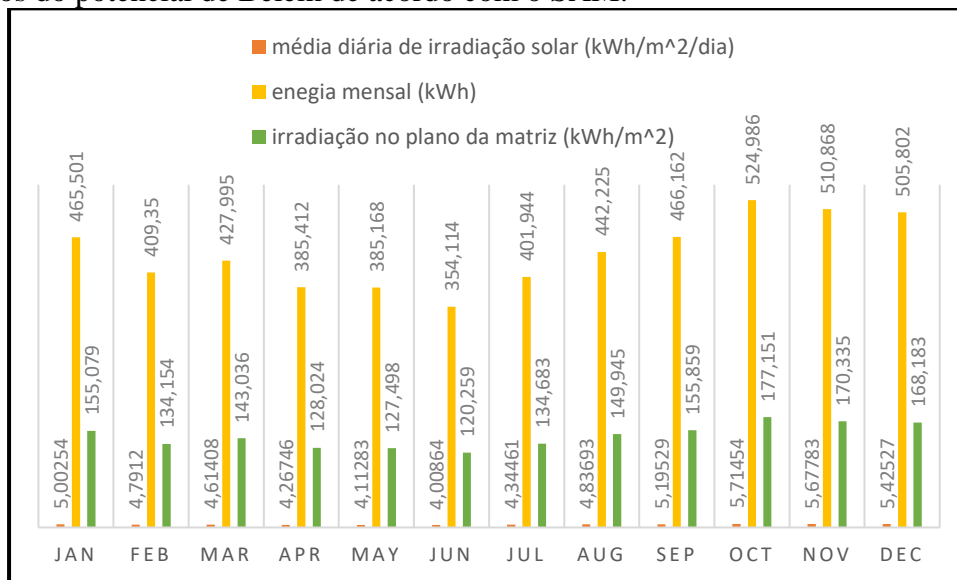


Tabela 1. Média diária de irradiação solar em kWh/m²/dia.

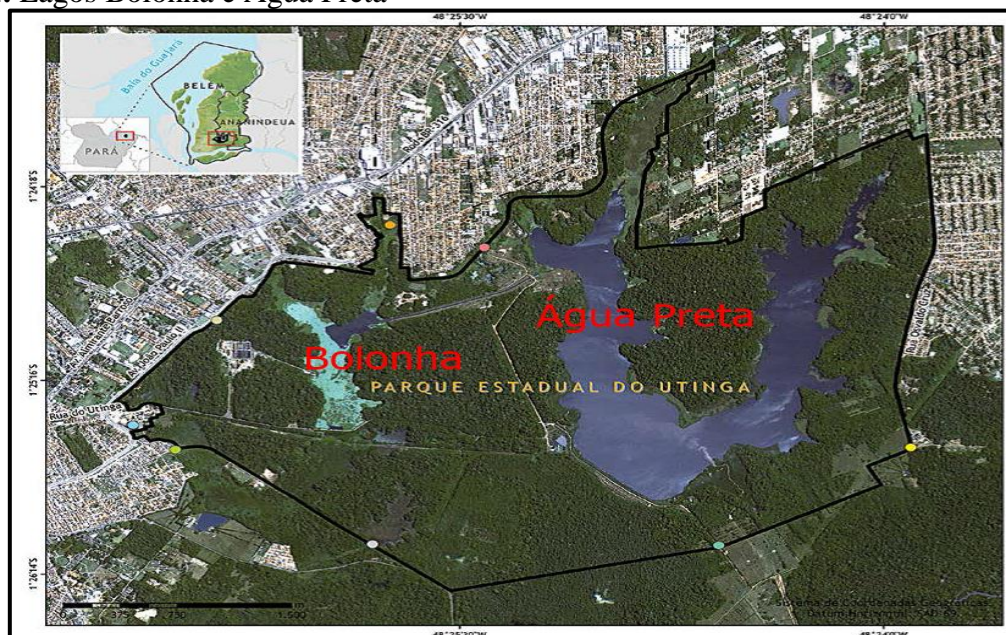
Jan	5,00
Fev	4,79
Mar	4,61
Abr	4,26
Mai	4,11
Jun	4,00
Jul	4,34
Ago	4,83
Set	5,19
Out	5,71
Nov	5,67
Dez	5,42

⁶ Não financeiro

Parque Estadual do Utinga

O Parque Estadual do Utinga (PEUT) é uma unidade de Conservação Integral, situado dentro da Área de Proteção Ambiental de Belém, e sua criação foi extremamente estratégica para o abastecimento de água do município de Belém. Dentro do parque encontram-se dois grandes lagos, o Bolonha e o Água Preta com 1.800.000 e 7.200.000 m², respectivamente (VASCONCELOS e SOUZA, 2011). Estes lagos são usados apenas para armazenar água bombeada do Rio Guamá⁷ e posteriormente sua transferência para a estação de tratamento. Na figura 4 é mostrado, os limites do parque, os lagos e a proximidade com a área urbana, adaptado de SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (2013).

Figura 4. Lagos Bolonha e Água Preta



Fonte: adaptado de SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (2013)

É possível notar que os lagos ocupam uma área extensa, a qual recebe uma grande quantidade de irradiação solar direta e atualmente só é usada para o armazenamento de água. Por isso, estes lagos possuem grande potencialidade de aproveitamento de área para aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes.

Fatores influenciadores

Assim como os sistemas fotovoltaicos instalados em terra, os sistemas fotovoltaicos flutuantes são igualmente afetados por características climáticas locais tais como latitude, longitude, nebulosidade, irradiação no plano da matriz, ângulo da placa em relação ao sol, temperatura, insolação e umidade do ar. No caso da região Amazônica brasileira ainda há influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que eleva os níveis de nebulosidade e precipitação nos meses de dezembro a fevereiro e baixos níveis desses parâmetros de setembro a novembro (MORAES JUNIOR, *et al.*, 2012). No caso dos sistemas flutuantes deve ser adicionado o efeito que o vento faz, pois pode rotacionar as placas e mudar o ângulo de incidência (CHOI, 2014) e turbulências como a vazão local que também pode movimentar o sistema flutuante e diminuir a eficiência do projeto através da alteração do ângulo das placas. A

velocidade do vento local também irá influenciar a temperatura das células fotovoltaicas de modo que se houver crescimento na velocidade do vento, a temperatura dos painéis diminuirá e a capacidade de produção de energia aumentará (ROUHOLAMINI, *et al.*, 2014).

Outro ponto importante que contribui para perda de eficiência nos módulos é a deposição de partículas de poeiras nas placas, além disso pode se destacar a perda de eficiência relacionada a umidade local a qual pode contribuir para uma maior formação de partículas suspensas devido a agregação de poeiras nas moléculas de água e a degradação que a umidade pode provocar nas placas (MEKHILEF, SAIDUR e KAMALISARVESTANI, 2012). A temperatura do ar é um parâmetro que igualmente afeta a eficiência dos painéis fotovoltaicos, por exemplo, um estudo feito na cidade Doha, Emirados Árabes, com placas de monocristalino e amorfo demonstra que a eficiência dessas placas reduziu com temperaturas acima de 40°C e umidade de 22% (TOUTATI, AL-HITMI e BOUCHECH, 2013). Entretanto, é esperado que a temperatura ambiente onde um sistema FVF esteja instalado seja amenizada devido a proximidade com a água do lago e por tanto haja uma melhora na eficiência do sistema.

Materiais e Métodos

Aplicação teórica no Lago Bolonha, Belém-PA.

Para se realizar a estimativa através do SAM, foi escolhido no software a opção de modelo fotovoltaico detalhado, não financeiro (*Photovoltaic-detailed, no financial*). O projeto tem potência instalada de 28,058 kW (corrente contínua). O painel adotado foi de policristalino da marca Yingli Energy modelo YL250P-29b (250 Wp). Na tabela 2 é mostrada algumas outras especificações desse painel de acordo com o software, todavia é importante frisar que outros painéis de outras marcas poderiam ser usados, a escolha deste modelo foi simplesmente devido ao fato que os dados já constam no aplicativo SAM. O resultado gerado pelo SAM foi de 112 painéis solares, 16 módulos em série e 7 em paralelo.

Table 2. Características do Painel Solar usado

Eficiência (%)	15,3302
Voltagem máxima de potência (V)	30,4
Corrente de curto-circuito (ampère em CC)	8,8
Potência máxima (W em CC)	250,496

Supondo que o projeto fosse instalado como um sistema conectado a rede, seria necessário adotar um inversor de corrente que estivesse na base de dados do SAM. O modelo do inversor escolhido é um Fronius Primo 3.8-1 208 V [CEC 2015]⁸. O SAM estimou que seriam necessários 7 inversores desse modelo para se ter uma conversão CC para CA próximo a taxa de 1:1. Na tabela 3 algumas características desse inversor podem ser observadas.

Tabela 3. Características do inversor adotado

Eficiência de conversão (%)	96,008
Potência máxima em CA	3.800,00
Potência máxima em CC	3.911,63
Potência consumida na operação (W em CC)	45,5528

Resultados e Discussão

De acordo com a estimativa realizada através do aplicativo SAM, a energia anual produzida nesse sistema seria de 38.012 kWh, com fator de capacidade⁹ 15,5% e taxa de performance de 0,77. O resumo desses resultados é mostrado na tabela 4.

Tabela 4. Resumo dos resultados obtidos através do SAM.

Medida	Unidade	Valor
Energia anual	kWh	38,012
Fator de capacidade	%	15,5

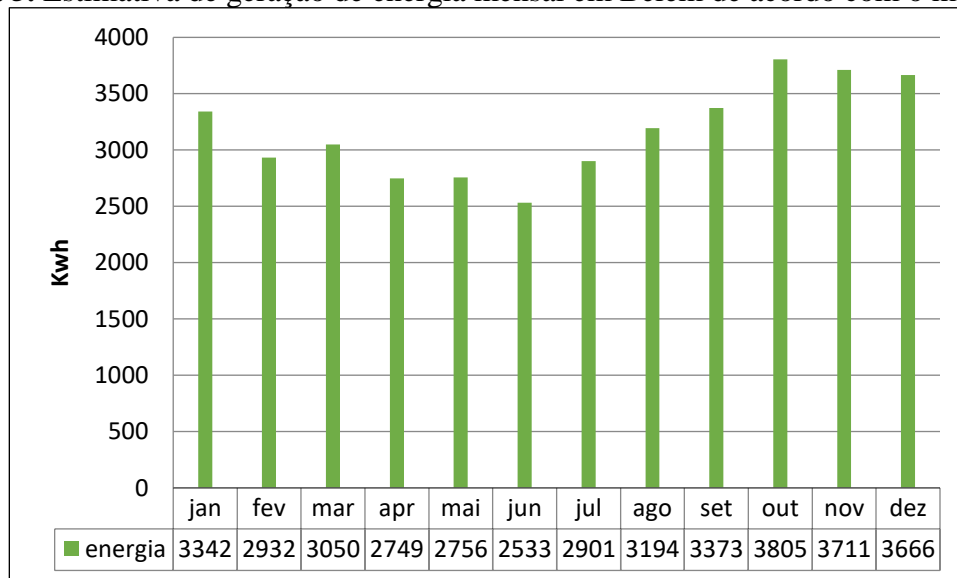
⁸ Fabricante: Fronius USA.

⁹ É a proporção entre a produção efetiva da usina em um período de tempo e a produção total máxima neste mesmo período. Por exemplo: Se uma usina de 10MW gerar 26,28GWh (26.280MWh) em 1 ano, ela terá um fator de capacidade de 30%, pois $26.280\text{MWh} / (365\text{dias} * 24\text{h} * 10\text{MW}) = 30\%$ (<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario/fator-de-capacidade>).

Primeiro ano kWhCA/kWCC	kWh/kW	1,355
Taxa de Performance		0,77

Os resultados mensais de geração de eletricidade de acordo com aplicação teórica desse sistema em Belém são apresentados na figura 5. Os valores variam com melhores resultados de 3805 KWh no mês de outubro e resultados mais baixos de 2533 KWh no mês de junho. kWhCA/kWCC representa a quantidade de energia em corrente alternada pela quantidade produzida em corrente contínua, é uma medida da eficiência que o aplicativo utiliza para o sistema.

Figura 5. Estimativa de geração de energia mensal em Belém de acordo com o modelo SAM.



É importante ressaltar que esse modelo realiza essa estimativa baseada nos dados de um sistema em terra e não necessariamente seria a performance de um sistema flutuante. Para projetos de sistemas FVF a proximidade dos painéis com a água poderia proporcionar uma menor temperatura e aumentar a produtividade (CHOI, LEE, & KIM, 2013), contudo a contribuição de resfriamento nos painéis não pode ser feita no SAM, somente com a aplicação de um projeto piloto poderia se estimar os reais benefícios ou prejuízos causados pela proximidade com a superfície do lago, entretanto, algumas considerações podem ser previstas segundo outros estudos. Por exemplo, Wu e Xiong (2014) em um estudo feito com um sistema de resfriamento

em painéis fotovoltaicos em casas verificou que houve um aumento de 33,4 kWh/ano na produção do sistema.

Outras características que foram adotadas pelo próprio sistema como temperatura ambiente, entrada de radiação, velocidade do vento, radiação global e perda de eficiência do inversor a noite são apresentados na tabela 5. Após a aplicação de um protótipo coletando dados específicos no lago como velocidade dos ventos e temperatura ambiente, alguns desses parâmetros podem ser alterados e com isso a eficiência do projeto ser, da mesma forma, modificada.

Tabela 5. Parâmetros adotados que podem influenciar na eficiência do sistema.

Parâmetro	Unidade	Valor médio
Temperatura ambiente	graus Celsius	26,46
Entrada de radiação ¹⁰	kW	135,13
Velocidade do vento	m/s	2,43
Radiação global ¹¹	kW/m ²	211,93
Perda de eficiência do inversor à noite	%	0,0031

A área de cada painel é aproximadamente 1.025 m², a área total do sistema junto que ocuparia o lago Bolonha (menor lago com 1.800.000 m²) seria de aproximadamente 183 m². Isso significa que somente 0,01% do lago seria coberto pela estrutura, assim não haveria um grande bloqueio em radiação que ainda entraria no lago e contribuiria para manutenção de espécies que necessitam de luz para fazer fotossíntese. Essa área flutuante no lago pode ser considerada menor pois os módulos flutuantes estariam separados a uma certa distância um do outro. É importante salientar que as áreas dos lagos não possuem atualmente uma destinação além de armazenamento de água, desta forma podemos considerá-las áreas “mortas” devido a ausência do desenvolvimento de atividades econômicas.

Outro importante ponto a relatar é que a produtividade do sistema varia de acordo com marca e material dos painéis, rendimento dos inversores e outras variáveis condizentes ao sistema, assim como com a quantidade de módulos instalados, por exemplo se tivermos mais módulos a geração de energia produzida seria maior que os 38.012kWh anual, além disso se fosse utilizado as áreas do lago Água Preta, ver figura 4, para instalação de módulos semelhantes a

¹⁰ Energia solar total que entra na cidade

¹¹ Energia solar disponível por metro quadrado, ou seja, aquele disponível para os painéis

produção seria, em teoria, dobrada (lembrando que a área dos módulos não cobre todo o lago e sempre com bastante espaçamento para que a radiação solar alcance as águas e contribua para manutenção da vida aquática). Devemos levar em consideração que este valor é extremamente notável visto que usa-se uma área “morta” e alcança-se uma produção de energia que poderia ser totalmente usada na demanda da estação de tratamento de água, no parque do Utinga e/ou nas comunidades que moram no interior do mesmo.

Com relação as perdas no sistema, foi optado por usar as informações padrões sobre perdas que existe no próprio SAM. Essas perdas incluem: sombreamento (0%), acumulação de poeiras (5%), perda nos módulos solares (9,952%), conexão (0,493%), fiação CC (1,973%), fiação AC (1,01%), dentre outras perdas calculadas pelo SAM.

Conclusão

A aplicação teórica dessa nova concepção de aproveitamento de lagos e reservatórios urbanos, ou de regiões alagadas não usadas economicamente, através da instalação de painéis fotovoltaicos flutuantes é extremamente viável do ponto de vista ambiental e energético, pois atribui-se uma utilidade à uma área que antes não tinha nenhum uso econômico. As análises empíricas no lago Bolonha de Belém através do modelo criado pelo SAM mostram que a produção anual com 112 painéis de 250 Wp seria de 38.012 kWh, com fator de capacidade de 15,5% e taxa de performace de 0,77. Esses resultados demonstram a potencialidade de aproveitamento dessa técnica para utilização da energia na própria estação de tratamento de água, no Parque do Utinga e até nas comunidades circunvizinhas do parque.

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.

Com relação aos impactos ambientais dos painéis fotovoltaicos, ainda se precisa de mais estudos para saber os reais impactos que os módulos causariam sobre o ecossistema aquático. Porém é importante ressaltar que a área de aplicação e cobertura é praticamente insignificante comparado a área total do lago Bolonha. Portanto, novos estudos práticos ainda são necessários para descobrir a real capacidade de produção de um sistema fotovoltaicos flutuantes assim como

os impactos que estes causariam no lago Bolonha ou outros lagos com características climáticas similares.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica**. ANEEL. Brasília, p. 153. 2002.

BRAGA JUNIOR, W. et al. **Difusão de conhecimentos em energia solar na região Norte do Brasil**. XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado- RS: COBENGE. 2013.

CHOI, Y.-K. **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, 2014. ISSN: 1738-9984.

CHOI, Y.-K.; LEE, N.-H.; KIM, K.-J. **Empirical Research on the efficiency of Floating PV systems compared with Overland PV Systems**. Ces-Cube 2013, 25, 284-289, 2013.

LIMA, Juliana Luíza Barroso. **Energia fotovoltaica como alternativa energética viável**. 2014. 48 f. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia de Materiais)- Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RUTHER, R. **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO: ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO SEDE DO CREA-SC**. I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL/X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo: claCS'04/ENTAC'04. 2004.

MEKHILEF, S.; SAIDUR, R.; KAMALISARVESTANI, M. **Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 2920-2925, 2012.

MORAES JUNIOR, Hélio de Souza; CAVALCANTE, Renato Luz; GALHARDO, Marcos André Barros; MACEDO, Wilson Negrão. **APLICAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA**. Revista GeoNorte, v. 2, n. 4, p. 1303-1309, 2012.

PERREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RUTHER, Ricardo.. **Atlas Brasileiro de Energia Solar (Brazilian Atlas of Solar Energy)**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

POLIENERGIE S.R.L. **technical and business project of a eco-friendly power production**. Polienergie. Faenza-Italy, p. 12. Sem Data.

ROUHOLAMINI, A.; POURGHARIBSHAHI, H.; FADAEINEDJAD, R.; ABDOLZADEH, M. **Temperature of a photovoltaic module under the influence of different environmental conditions-experimental and investigation.** International Journal of Ambient Energy, vol. 37, n. 3, 1-7, 2014.

SAM, System Advisor Model version 2015.1.30. Goldem, Co: National Renewable Energy Laboratory. Disponível em < <https://sam.nrel.gov/download> > acesso em 29/11/2014

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga.** Belém: IMAZON; SEMA, 2013. 376 p. Disponível em << http://ideflorbio.pa.gov.br/wp-content/uploads/2014/10/PMUtinga_26out2013.pdf >>. Acesso em 12/08/2016.

TOUTATI, F. A.; AL-HITMI, M. A.; BOUCHECH, H. J. **Study of effects of dust, relative humidity, and temperature on solar PV performance in Doha: comparison between monocrystalline and amorphous PVS.** International Journal of Green Energy, v. 10, p. 680-689, 2013. ISSN ISSN: 1543-5075.

TRAPANI, K.; MILLAR, D. L. **Proposing offshore photovoltaic (PV) technology to the energy mix of the Maltese islands.** Energy Conversion and Management, v. 67, p. 18–26, 2013.

TRAPANI, K.; MILLAR, D. L.; SMITH, H. C. M. **Novel offshore application of photovoltaics in comparison to conventional marine renewable energy technologies.** Renewable Energy, v. 50, p. 879-888, 2013.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. **Environmental Impacts from the solar energy technologies.** Energy Policy, v. 33, p. 289-296, 2005.

VASCONCELOS, V. D. M. M.; SOUZA, C. F. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil.** Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 305-324, 2011. ISSN 1980-993X.

WU, S.; XIONG, C. **Passive cooling technology for photovoltaic panels for domestic houses.** International Journal of Low-Carbon Technologies., v. 9, p. 118-126, 2014.