



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

Produção de Água em Ambientes Controlados: a geração de energias renováveis e a produção de água para irrigação agrícola e consumo humano.

HANSSEN, Alan Souza - Mestrando em Tecnologia para o Desenvolvimento Social - NIDES/CT/UFRJ - E-Mail: alansouzahanssen@gmail.com

Eixo Temático: 5. Energia, meio ambiente e sustentabilidade

RESUMO

Água e energia são dois recursos naturais essenciais para a vida no planeta e, dessa forma, para a sobrevivência humana. Assim, buscar desenvolver tecnologias sociais, capazes de garantir o amplo acesso igualitário para toda a população é fundamental. Com este compromisso, através deste Artigo, busca-se promover o diálogo entre a pesquisa científica e a observação da natureza para desenvolver uma proposta de tecnologia social a qual garanta a geração de energia renovável, assim como a produção de água. Desta forma, procura-se integrar conceitos, ações e tecnologias sustentáveis para propor uma solução capaz de produzir energia maremotriz, por meio de bombeamento solar, para gerar energia utilizada em sistema de evaporação da umidade do ar, a partir do aquecimento de água em reservatório. Ao ser posteriormente resfriada a água pode ser utilizada para a irrigação, bem como para o consumo humano. Concluiu-se que a solução proposta pode apresentar viabilidade em sistemas de pequeno porte.

PALAVRAS-CHAVE: Bombeamento Solar. Energia Solar Fotovoltaica. Energia Maremotriz. Produção de Água para Irrigação. Produção de Água Potável.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

INTRODUÇÃO

O planeta vive dois grandes desafios, diretamente interconectados e que necessitam ser solucionados de forma conjunta. A crise climática é intensamente afetada pela relação dos seres humanos com o meio ambiente, cujas práticas levam à super exploração das nossas águas, além da poluição e conseqüente redução da disponibilidade hídrica agravadas pela falta de uma gestão eficiente de suas águas (seja na agricultura/pecuária, indústria, comércio ou residências), bem como pelo consumo excessivo de energia, principalmente oriundas de fontes não renováveis. Água e energia possuem um nexo direto para nossa sobrevivência e, por isso, precisam ser tratadas de forma conjunta, integradas, pois, ambas, são amplamente necessários para a vida, não apenas humana, mas também de todos os demais seres e organismos da Terra. Porém, a desmedida utilização, ocasionada, seja pelo de fato uso necessário, seja pelo desperdício, ou pelo alto grau de poluição de seus rios, pelo saneamento precário ou, ainda, pelo uso intenso de combustíveis fósseis, entre outros modais insustentáveis de geração e distribuição, vem agravando os riscos de uma crise climática há muito tempo anunciada.

JACOBI e GRANDISOLI (2017), destacam que os níveis de exploração do meio ambiente, em muito exacerbados pelo capitalismo que leva à exploração insustentável seus recursos, vem causando diversos riscos ao equilíbrio do planeta. Idem (2017) abordam, ainda, que a “água é um recurso essencial para a produção econômica e um insumo essencial para a produção de alimentos e energia, assim como de produtos manufaturados”. Porém, as desigualdades sociais ampliam o problema, tanto da escassez, quanto do acesso à energia.

Assim, neste artigo propõe-se a construção de um sistema integrado que consiste em gerar energias renováveis, por meio do bombeamento solar da água, que, ao gerar pressão da água, permite aumentar a geração de energia maremotriz (**ETAPA 01**), para, desta forma, possibilitar a geração de água salobra, tanto para irrigação, quanto para consumo, por meio da dessalinização por evaporação. (**ETAPA 02**).



O processo, com suas etapas

Neste contexto, foi realizada uma análise da bibliografia existente, na qual podem ser verificadas soluções disponíveis, que dão suporte para o sistema apresentado nesse artigo. Assim, podemos indicar alguns conceitos compatíveis com esta proposta, com processos para dessalinizar a água do mar, bem como águas salobras de poços freáticos, por meio de um processo simples, que garante água, tanto para irrigação, quanto para o consumo humano, após passar por um processo de purificação por meio de filtro por carvão ativado. Assim, o processo, apresentado na **Figura 01**, é composto de duas etapas, descritas a seguir:

A **ETAPA 01**, composta pela geração de energia solar e maremotriz, tem como proposta a utilização de duas tecnologias de geração de energia renovável, por meio da hibridização do sistema, na qual, utiliza-se a energia solar para gerar energia para o bombeamento de água. A pressão gerada pela bomba d'água solar, será responsável por aumentar o ciclo de giro de pás submersas, possibilitando sua capacidade de geração.

Para entender o funcionamento do sistema proposto, se faz necessário entender o princípio da energia maremotriz, bem como o que vem sendo realizado de pesquisa, além das tecnologias já utilizadas no mercado. Assim, deve-se conceitualizar a energia maremotriz, segundo SOUZA FILHO e SILVA (2020), como sendo a energia oriunda do “movimento das ondas, marés e até mesmo da diferença de temperatura do oceano”. Desta forma, o sistema proposto, possui como interesse gerar a oportunidade de aumentar a eficiência na geração de energia maremotriz, na qual, tendo um aumento na força da corrente de água sobre as hélices, possa aumentar sua capacidade de geração. Este processo, para que seja facilmente visualizado, pode ser comparado com o processo de rodas d'águas.

O processo de geração desse tipo de energia limpa, se dá pela forma de conversão da força das correntes marinhas pela força hidrocínética, nas quais, segundo LEITE NETO *et all* (2011): “as correntes de marés podem ser convertidas em eletricidade através de sistemas modulares de turbinas que podem ser colocadas diretamente no leito do mar”.



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

Segundo PIACENTINI (2016), a energia maremotriz possui grandes possibilidades de utilização, as quais corroboram diretamente com a proposta deste artigo, assim, refere-se sobre as oportunidades de aplicabilidade na qual “pode ser destacada a possibilidade de abastecimento de comunidades **remotas e isoladas**, bases científicas e militares e aplicação para atividades pesqueiras e portuárias”.

Neste sentido, para uma maior eficiência no processo de geração de energia, projeta-se uma união de processos entre a energia elétrica gerada por um grupo gerador turbina tipo hélice em fluxo axial, no qual um grupo turbina gerador do tipo hélice será introduzida dentro do mar, tendo seu fluxo ampliado pela indução de torque pela pressão d`água proveniente do jato gerado pela bomba d`água solar fotovoltaica.

A **ETAPA 02** trata-se de um processo com diversas pesquisas já sendo desenvolvidas, inclusive no nordeste brasileiro, como o caso do “Dessalinizador Solar da Água”, como pode ser observado em VIANA *et al* (2018), no qual trata a dessalinização por meio de uma construção, em alvenaria, onde são postos vidros inclinados para receber a irradiação solar e, assim, garantir a dessalinização da água salobra. Os autores fazem indicação sobre a importância e a eficiência do processo de evaporação, onde “as moléculas de água se desprendem da fase líquida e deixam para trás a maior parte das impurezas presentes, resultando, quando condensada, em uma água com grau de pureza satisfatório”.

Outros autores, SENS *et all* (2004), também abordam sobre a possibilidade de dessalinização por sistemas de baixo custo, compostos por painéis fotovoltaicos e da imitação da circulação natural da água. Segundo esses autores:

O modo mais simples, a ‘destilação solar’, é utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente. A luz solar atravessa o vidro, a água do líquido bruto evapora, os vapores se condensam na parte interna do vidro, transformando-se novamente em água, que escorre para um sistema de recolhimento. Dessa forma, separa-se a água de todos os sais e impurezas (...).

(SENS et all, 2004)



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

Esses mesmos autores ainda vão além, ao indicarem outra oportunidade de se realizar a destilação solar, que possui grande semelhança com a proposta a ser apresentada nesse artigo ilustrada na **Figura 01**, onde indicam que:

Em lugares frios ou com carência de espaço, esse processo pode ser feito gerando-se calor através de energia. A melhor solução, neste caso, é a utilização de energia solar, que é mais barata, não consome recursos como petróleo e carvão e não agride o meio ambiente.

(SENS et al, 2004)

Realizando uma correlação com a produção de água a partir de estruturas flutuantes em cima do mar, podemos identificar pesquisas e tecnologias já realizadas, como pela “*Startup Manhat*”, no qual seu fundador, Saeed Alhassan Alkhazraji¹, faz a indicação sobre seu processo, onde afirma que: “É realmente semelhante ao ciclo natural da água. (...) Se você produz água (doce) na superfície do mar e a usa para agricultura, pode efetivamente permitir que as terras aráveis sejam rejuvenescidas”. Alhassan, por seu projeto, foi inclusive vencedor do prêmio “*Water Europe Innovation*”.

Outra instituição que desenvolve pesquisas, sobre o mesmo tema, de produção de água por dessalinização em cima de estruturas flutuantes é o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT)², no qual afirma:

‘servir potencialmente áreas costeiras áridas fora da rede para fornecer uma fonte de água eficiente e de baixo custo’. Pesquisadores sugeriram que ele poderia ser configurado como um painel flutuante no mar, fornecendo água doce através de tubos para a costa, ou poderia ser projetado para atender a uma única casa, usando-o em cima de um tanque de água do mar. (...) Descobriu-se que o dispositivo do MIT produz cerca de cinco litros de água doce por hora para cada metro quadrado de área de coleta solar.

Assim, conforme indicado anteriormente, foi produzido um “**Diagrama de Funcionamento**”, o qual está representado pela **Figura 01** abaixo:

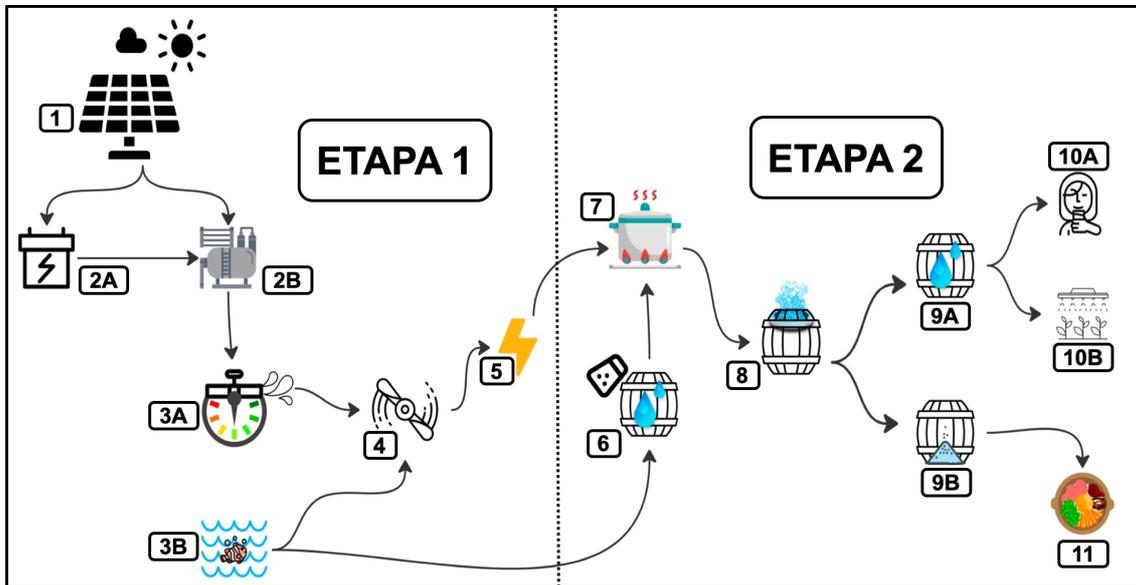


FIGURA 01: Sistema de geração de energia renovável + produção de água

Diagrama de Funcionamento: 1) Painel Solar Fotovoltaico; 2A) Bateria Solar; 2B) Bomba de Água Solar; 3A) Duto por onde passará a água pressurizada a ser direcionada para a hélice de geração de energia maremotriz; 3B) Corrente marinha a qual incidirá na hélice de geração de energia maremotriz; 4) hélice de geração de energia maremotriz; 5) Energia maremotriz gerada; 6) Água do mar (salinizada) estocada; 7) Aquecimento da água salinizada, por meio de resistência, a partir da energia maremotriz; 8) Dessalinização por evaporação da água; 9A) Tanque de armazenamento de água dessalinizada; 9B) Tanque de armazenamento do sal, após separação com a água e secagem; 10A) Água para consumo; 10B) Água para irrigação; 11) Sal para tempero de alimentos.

Fonte: Autor

METODOLOGIA

A metodologia utilizada se dá a partir da revisão bibliográfica referente ao bombeamento de água por meio da utilização de painel solar, bem como da vivência experimentada pelo próprio autor, durante o período de 7 anos morando a bordo de um veleiro, utilizando o sistema de geração de energia por meio de painel solar. Esse painel permitia a retirada de água de dentro do barco, com alta pressão, com a utilização de bombas d'água ligadas numa bateria ou diretamente ao painel fotovoltaico, quando a bateria estava destinada para outras funções como, por exemplo, a geladeira. Em seguida, a revisão da literatura especializada foi concentrada na geração de energia maremotriz, onde foi possível identificar os sistemas necessários, além das referências para construção de rodas d'água para a geração de energia, onde foi realizado uma análise sobre seus conceitos e como poderia ser possível induzir a força da corrente,



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

bem como da variação da maré, para aumentar o ciclo de giro da hélice, permitindo a capacidade de geração de energia. Em seguida, foi também utilizada a revisão da literatura, bem como a observação do funcionamento tanto de um chuveiro elétrico, por meio da utilização de uma resistência para aquecer a água, como do aquecimento da água salgada em uma panela, ao ser aquecida pelo fogo. Ambos esses processos, acrescidos da análise bibliográfica, permitiram identificar que a utilização da resistência, energizada pela energia maremotriz, dentro de um recipiente apropriado (aqui se indica uma bombona PEAD de 200 lts), envolvida internamente com um painel metálico, tendo em sua parte inferior uma resistência ligada externamente há uma corrente elétrica, seja capaz de realizar a destilação da água salgada, separando o sal da água pelo processo de evaporação. A água evaporada em contato com um conjunto de vidros, na parte superior, forma uma cúpula e irá permitir a formação de gotículas de água que escorrem para uma bandeja (como uma calha), sendo destinadas a outro recipiente, onde a água será armazenada. Assim, este processo tornaria possível a utilização desta água para a irrigação de plantas e, pós-tratamento em filtro com carvão ativado, tornar a água potável para o consumo.

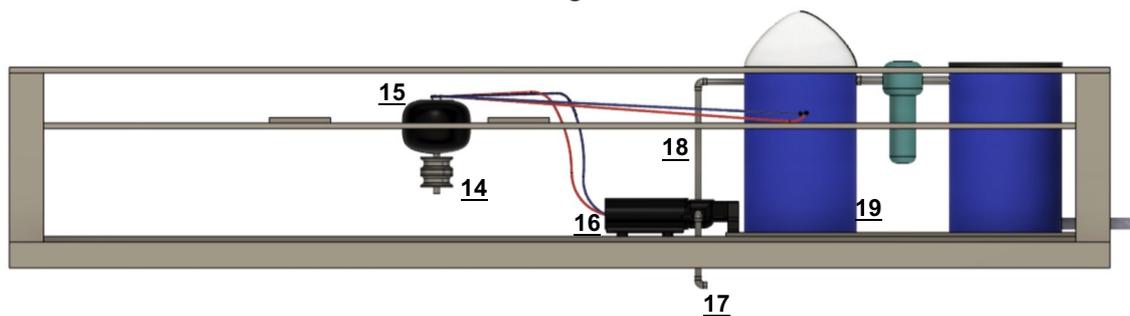
Assim, foi construída uma estrutura em 3D para um protótipo ao qual segue os parâmetros da **Figura 01**. Essa estrutura conta com os seguintes componentes, conforme a **Tabela 01**.

TABELA 01: Lista de Materiais para Construção do Sistema

ITEM	QUANTIDADE	ETAPA
Painel Solar Fotovoltaico 350w	01	01
Base p/ Painel Solar Fotovoltaico	01	01
Controlador de Bateria Digital	01	01
Bateria Estacionária Solar 220Ah	01	01AS
Bomba D'Água Autoaspirante	01	01
Fio PP 6mm Azul (Positivo)	05	01 / 02
Fio PP 6mm Vermelho (Negativo)	05	01 / 02
Canos Reto	09	01 / 02
Canos Curva	09	01 / 02
Sustentação de Cano Reto	01	01
Polia da Roda 80 cm	01	01
Polia do Mancal 15 cm	01	01
Polia do Mancal 80 cm	01	01
Polia do Gerador 8 cm	01	01

condições climáticas, uma vez que, quando da falta da luz solar, o funcionamento ocorrerá por intermédio da **Bateria Estacionária Solar 220Ah (03)**, a qual terá armazenado a energia gerada pelo **Painel Solar Fotovoltaico 350w (01)**. Seguindo o processo de funcionamento, a **Bomba D'Água Autoaspirante (04)** irá captar a água do mar, por meio de um **Cano Submerso $\frac{3}{4}$ (05)** e lançará, com alta pressão, a água bombeada em direção das **Hélices Maremotriz (06)**, possibilitando que o fluxo de água, corrente marinha + bombeamento, lançado pelo **Cano Sustentado Submerso $\frac{3}{4}$ (07)**, aumente tanto a velocidade do giro, quanto a força cinética obtida por esse processo, aumentando a eficiência da geração de energia maremotriz, a qual possibilitará que o **Eixo de Roda (08)** gire a **Polia da Roda 80 cm (09)**, a qual ligada a **Polia Mancal 15 cm (10)**, por meio da **Correia Dentada (11)**, fará com que o **Eixo de Transmissão (12)** gire a **Polia Mancal 80 cm (13)** e esta, por sua vez, fará com que a **Polia do Gerador 8 cm (14)** gire constantemente com maior força cinética, possibilitando que o **Gerador da Turbina (15)**, gere energia elétrica maremotriz, a qual será responsável para ativar a **ETAPA 02**, conforme podemos verificar, abaixo, por meio da **Figura 03**.

FIGURA 03: Imagem 2D da ETAPA 02

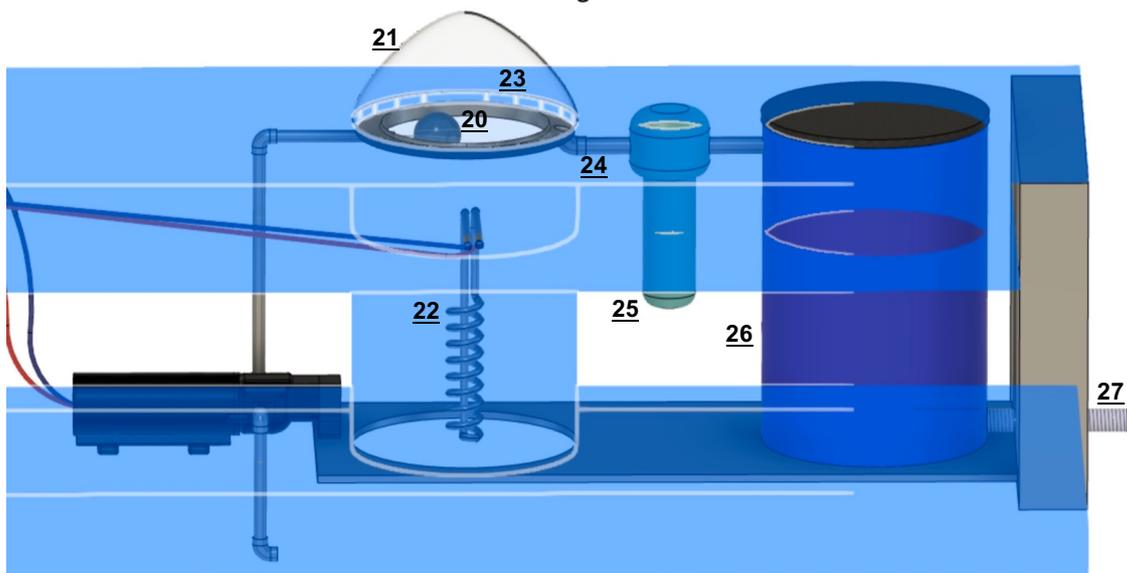


Fonte: Autor

Na **Figura 03**, a qual mostra apenas (ocultando o processo da **ETAPA 01**) a **ETAPA 02**, encontra-se o Sistema de Dessalinização e Purificação da Água (**ETAPA 02**). Esta etapa do processo ocorre através da energia maremotriz, na qual é responsável por enviar energia para uma **Bomba D'Água Diafragma 12V (16)**, a qual puxará a água do mar através de um **Cano Submerso $\frac{1}{2}$ (17)** e levará a água do mar, por meio de um **Cano $\frac{1}{2}$ (18)**, para a **1ª Bombona PEAD 200 lts (19)**. Conforme é possível verificar na **Figura**

04, uma **Boia de Nível (20)** será responsável por delimitar a quantidade de água a ser enviada para dentro da **1ª Bombona PEAD 200 lts (19)**, evitando que haja transbordamento e que a água salgada tenha contato com a água dessalinizada, após sua evaporação. O processo de separação do sal da água, ocorrerá, como dito anteriormente, por meio da evaporação, tanto pelo aquecimento do sol, ao incidir na **Cúpula de Vidro (21)**, quanto pelo aquecimento por meio de **Resistência Elétrica Tubular (22)**, conforme também pode ser visto na **Figura 04**, a qual mostra apenas (ocultando o processo da **ETAPA 01**) a **ETAPA 02**:

FIGURA 04: Imagem 3D da ETAPA 02

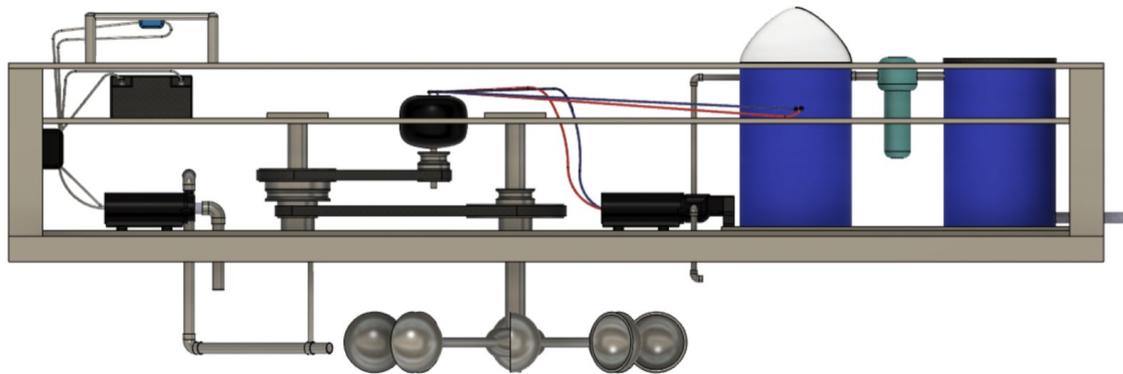


Fonte: Autor

Ao aquecer, a água salgada irá evaporar e, na **Cúpula de Vidro (21)**, serão formadas gotículas de água, as quais escorrerão até chegarem à **Calha Arredondada com Inclinação (23)**, na qual escorrerá até o **Cano de Escoamento (24)**. Assim, a água, já dessalinizada, passará por uma purificação dentro de um **Filtro de Carvão Ativado (25)**, sendo, posteriormente, encaminhada para a **2ª Bombona PEAD 200 lts (26)**, a qual poderá ser utilizada posteriormente, tanto para a irrigação de cultivos, quanto para o consumo humano, acesso a água por um **Nípel (27)** na parte inferior da **2ª Bombona PEAD 200 lts (26)**.

Desta forma, o Sistema de Produção de Energia e Água em Ambientes Controlados, proposto neste artigo, pode ser representado conforme as **Figura 05**, **Figura 06** e **Figura 07**, as quais mostram o sistema completo, utilizando uma estrutura de madeira em 3 andares (térreo, andar 1 e cobertura) com, aproximadamente, 1,60 de altura, na parte fora d'água, e 1,20 na parte submersa. Nessa parte submersa, a manutenção, poderá ser facilmente realizada por qualquer adulto com mínimo conhecimento de elétrica e hidráulica, além de experiência em mergulho em apneia.

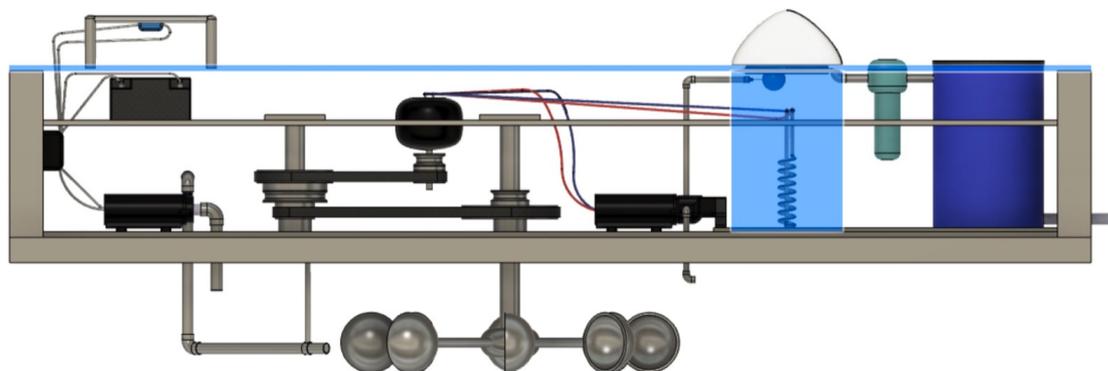
FIGURA 05: Imagem 3D da ETAPAS 01 e 02



Fonte: Autor

A **Figura 05** mostra o sistema completa em sua estrutura, assim, impede que partes internas fiquem escondidas, não sendo capazes de ser representadas visualmente. Desta forma, para que seja possível uma visão geral, a **Figura 06**, abaixo, mostra os itens suprimidos na **Figura 05**.

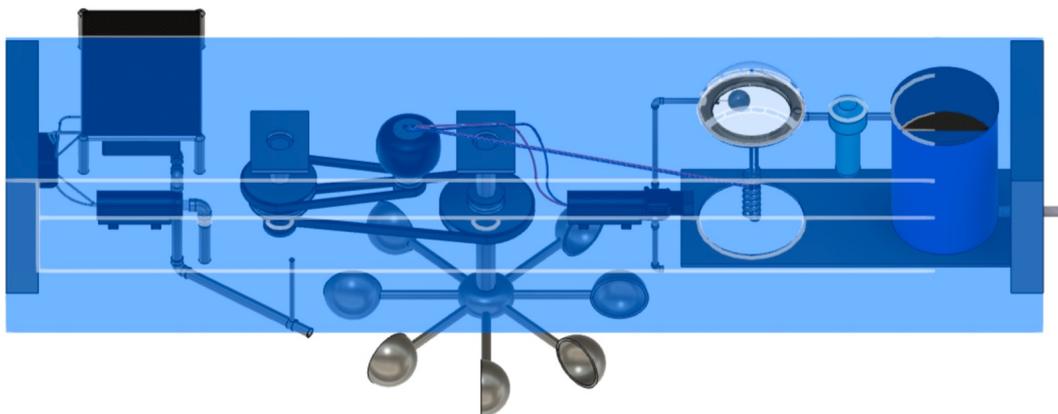
FIGURA 06: Imagem 3D da ETAPAS 01 e 02



Fonte: Autor

Como já mencionado, a **Figura 06** traz elementos ocultados pela parede da **1ª Bombona PEAD 200 lts**, utilizada para o processo de evaporação da água, como já explicado. Desta forma, permite que seja revelado, tanto a resistência, responsável pelo aquecimento da água, como a **Boia de Nível**, responsável por garantir que não haja o transbordamento acima da borda da **1ª Bombona PEAD 200 lts**, passando pela **Calha Arredondada com Inclinação**, o que resultaria no contato da água já dessalinizada com a água do mar, o que impediria o processo de purificação da água. Faz-se necessário explicar que a linha azul transparente, representa a parte mais alta (cobertura) da estrutura, a qual foi assim indicada para melhorar o entendimento.

FIGURA 07: Imagem 3D da ETAPAS 01 e 02



Fonte: Autor

Já, a **Figura 07**, transforma as partes estruturais, ou seja, o corpo ao qual recebe o sistema, em cor azul transparente, assim como na Cobertura da Figura 06. A proposta é mostrar todo o sistema, em cada andar, de forma que possa ser possível obter uma maior compreensão do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a bibliografia referente aos temas de geração de energia maremotriz, bombeamento solar e dessalinização solar, além de temas complementares como a construção de uma roda d'água e aquecimento de água, foi possível identificar sinergias



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

para a proposição do sistema indicado neste artigo, tornando-o um mecanismo de simples aplicação para pessoas que residam próximo ao litoral ou, ainda, em cima do mar, através de residências flutuantes. Da mesma forma, serve como um importante mecanismo para gerar água para produção de alimentos em estruturas em cima do mar.

Desta forma, cumpriu-se o propósito de apresentar uma solução de baixo a médio custo, com baixa complexidade de construção. Assim, este artigo, propõe que sejam realizados os levantamentos dos custos totais e testes piloto para a utilização em ambientes controlados, de forma a confirmar a funcionalidade real do sistema apresentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1) Institute of Refrigeration and Cryogenics, School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China. 2) Research Center of Solar Power and Refrigeration of Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China. 3) These authors contributed equally: Tingxian Li, Minqiang Wu, Jiaying Xu

Inbar, O.; Gozlan, I.; Ratner, S.; Aviv, Y.; Sirota, R.; Avisar, D. Producing Safe Drinking Water Using an Atmospheric Water Generator (AWG) in an Urban Environment. *Water* 2020, 12, 2940

JACOBI, Pedro Roberto; GRANDISOLI, Edson. - Água e sustentabilidade: desa4os, perspectivas e soluções / Pedro Roberto Jacobi, Edson Grandisoli – São Paulo: IEE-USP e Reconnectta, 2017. 1ª Edição.

LEITE NETO, Pedro Bezerra; SAAVEDRA, Osvaldo Ronald; CAMELO, Nelson José; RIBEIRO, Luiz A. de Souza; FERREIRA, Rafael M. – Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências - *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 19 Nº 2, 2011, pp. 219-232

PIACENTINI, P. Faltam estratégias no Brasil para gerar energia das marés. *Cienc. Culto. São Paulo*, v. 68, n. 3, p. 11-13, setembro de 2016.

SENS, Prof. Dr. Maurício Luiz; SOARES, Eng^a Msc. Clarissa; LUCA, Felipe Vieira de; BÖELL, Heloiza Rachel; ANDRADE, Prof. Msc. Cícero de Onofre - Produção De Água Potável Através Da Destilação Solar Natural - Relatório Final - Programa De Pesquisa Em Saúde E Saneamento – Florianópolis - Novembro/2004



XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

Crise e Transição: Engenheirando Alternativas

30 de Outubro a 01 de novembro de 2023

Belo Horizonte - MG, Brasil

SOUZA FILHO, Roberto Carlos Costa de; SILVA, Leonardo Magalhães Xavier. - UM ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE FORÇA MAREMOTRIZ PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. – UFERSA – 2020

VIANA, Mickael Gomes; SANTOS, Priscylla Ferreira; ALVES JUNIOR, Isau de Souza; SCARAMUSSA, Simone Aparecida de Lima; SANTOS JUNIOR, Jorge Vieira; ARAUJO, Paulo Mário Machado. Estudo de um dessalinizador solar de água visando aplicações na área de tecnologia social - Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe (2018).

Saeed Alhassan Alkhazraji¹ / Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT)² - <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/como-a-luz-solar-pode-transformar-agua-do-mar-em-potavel-para-populacao-costeira/> - Acesso: 24/04/2023