

# Aerador Autônomo para Aquacultura

Rilene Carolina Goelzer, Douglas Garcia Göebel Júnior, Letieri Avila e Vinícius Menezes de Oliveira

**Abstract**—A aquacultura recorreu ao uso da tecnologia para controlar variáveis importantes e melhorar a produção. Existem dois problemas observados na Estação Marinha de Aquacultura - EMA da Universidade Federal do Rio Grande (Brasil), mais especificamente relacionados à aeração dos viveiros para piscicultura e carcinicultura. Em primeiro lugar, identificou-se o alto consumo de energia elétrica pelos aeradores de pás, devido à necessidade contínua de oxigenar a água. Posteriormente, observou-se que os aeradores estáticos não oxigenam a água uniformemente e exigem que seu deslocamento seja realizado manualmente por técnicos ou assistentes. Assim, como solução para a primeira problemática, o artigo propõe o projeto de um aerador autônomo em energia elétrica proveniente de um sistema de geração solar fotovoltaica. Para a segunda problemática, propõem-se o deslocamento autônomo do aerador ao longo do viveiro.

**Index Terms**—Energia Solar, Aquacultura, Aerador

## I. INTRODUÇÃO

A demanda energética brasileira tem crescido gradativamente nos últimos anos. A exemplo de países europeus a matriz energética nacional vem sendo acrescida de fontes renováveis de geração de energia elétrica. Isto se deve principalmente à preocupação com meio ambiente, redução das emissões de gases do efeito estufa, diversificação da matriz energética, entre outros. Diante das constantes crises hídricas e das transformações que ocorrem no setor energético brasileiro, as energias renováveis tem ganhado espaço [1]. Em 2007, como pode ser visto na Figura 1, a matriz energética brasileira era composta por aproximadamente 74% de geração hidrelétrica, enquanto que fontes como solar e eólica eram praticamente inexistentes.

Atualmente, nota-se na Figura 2, por mais que houve aumento da geração por usinas termelétricas, a geração através de solar e eólica tem ganhado espaço. Percebe-se que 70% da energia gerada no Brasil provem de fontes renováveis, mas desses, apenas 0,02% refere-se a solar e 6,94% a eólica, [2]. Figuras 3. Na Figura 3, tem-se o previsto para os próximos anos. Pode-se observar um aumento da geração de energia por fontes solar e eólica, provavelmente devido a fatores como: incentivos governamentais, preocupação com o meio ambiente e crises hídricas.

Rilene Carolina Goelzer e Douglas Garcia Göebel Júnior são estudantes do curso de Engenharia de Automação, do Centro de Ciências Computacionais - C3 da Universidade Federal do Rio Grande - FURG Letieri Avila é mestre pelo Programa de PósGraduação em Computação - Mestrado em Engenharia de Computação, do Centro de Ciências Computacionais - C3 da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Vinícius Menezes de Oliveira é Professor Doutor do Centro de Ciências Computacionais C3 - na Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

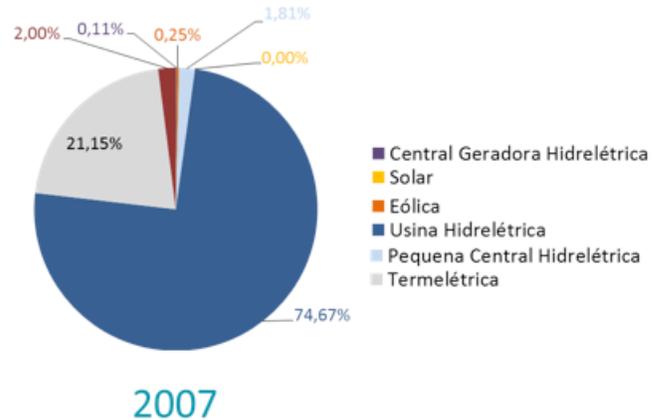


Fig. 1. Gráfico comparativo da matriz energética brasileira (ANEEL) em 2007

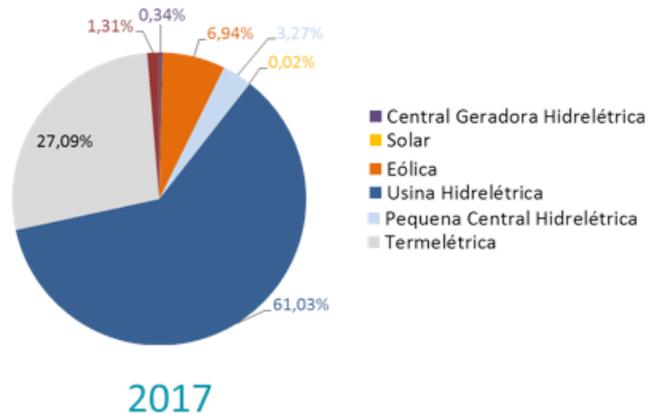


Fig. 2. Gráfico comparativo da matriz energética brasileira (ANEEL) em 2017

Sabe-se que quase todas as fontes de energia, seja ela hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e afins, são formas indiretas de energia solar. Dessa forma, a radiação solar constitui uma opção limpa e renovável de produção de energia, [3]. Apesar das diferentes características climáticas do Brasil, observa-se que o mesmo possui uma média anual de irradiação solar bastante uniforme, quando comparado com outros países. O Instituto Ideal de Santa Catarina indica que o menor nível de irradiação solar no Brasil é 40% superior ao maior nível de irradiação solar na Alemanha, país que é um dos líderes mundiais no aproveitamento de energia solar e cujo território equivale ao estado de São Paulo, [4].

Mesmo com o baixo incentivo e aproveitamento, o potencial de aplicações para energia solar no Brasil é bastante expressivo. Toma-se como exemplo um caso hipotético, no qual caso fossem instalados sistemas fotovoltaicos sobre o lago

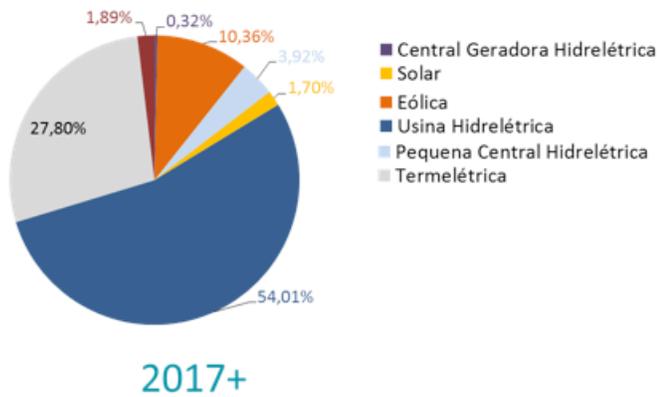


Fig. 3. Gráfico comparativo da matriz energética brasileira (ANEEL) para o esperado pós 2017

da Usina Hidrelétrica de Itaipu cuja área é de  $1.350\text{km}^2$ , a energia elétrica gerada seria equivalente à metade da demanda nacional [5]. Além disso, a estimativa da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê que até 2050, 13% de todo o abastecimento das residências no Brasil seja feita pelos módulos fotovoltaicos que aproveitam a energia solar [1].

Dentre as principais formas de conversão, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocado pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares [2]. A primeira célula solar preparada a base de silício foi desenvolvida por cientistas da Bell Labs em 1954, possuindo 6% de eficiência energética [6]. Desde o seu surgimento, houve grande avanço nas questões estruturais da mesma, chegando a uma média de 16% de eficiência de conversão.

Um módulo fotovoltaico é composto pela associação série de várias células fotovoltaicas que podem ser monocristalinas ou policristalinas. A diferença encontra-se nos aspectos construtivos e tem relação com a pureza dos elementos. Por mais que as células monocristalinas sejam mais eficientes, podendo representar uma diferença de geração de energia em sistemas grandes, o mercado atualmente é dominado pelas células policristalinas, devido a relação custo e benefício [7]. Na Figura 4, observa-se um módulo fotovoltaico. As potências dos módulos variam conforme o número de células e área de exposição à irradiação solar. A eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos pode ser utilizada para diferentes finalidades. As aplicações mais difundidas são: eletrificação rural, telecomunicação, transportes, bombeamento de água, conexão a rede de internet e afins.

Incorporar fontes de energias renováveis ao cotidiano vem sendo um grande desafio para o mercado, uma vez que o custo inicial de investimentos de aerogeradores e módulos fotovoltaicos ainda é bastante elevado. No entanto, diante da escassez hídrica e do nível de poluição de outras fontes comuns de energia, faz-se necessário o constante investimento e pesquisa no desenvolvimento de alternativas para geração de energia. Uma das áreas que merece destaque e possui grande potencial de inovação é a Aquicultura, visto que além de ser



Fig. 4. Módulo fotovoltaico policristalino

uma importante atividade econômica, constitui também em importante fonte de renda para países como o Brasil.

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em projetar um aerador de pás movido a energia solar, de forma a não depender de cabos ou de energia da rede elétrica convencional. Além disso, propõem-se que o aerador possua deslocamento autônomo ao longo do tanque. Para que seja plausível assumir o comportamento do aerador com deslocamento, sugere-se uma alteração estrutural, na qual as pás do aerador são divididas em dois conjuntos e adição de mais um motor. Cada conjunto de pás, por sua vez, será movido por um motor e o deslocamento ocorre devido a ação diferencial das pás.

## II. AQUACULTURA

A aquicultura consiste na produção de organismos aquáticos, como peixes, moluscos, crustáceos, anfíbios, répteis e plantas aquáticas para uso do homem. Já é responsável pela produção de mais da metade dos peixes e moluscos consumidos diretamente pela população mundial, além de ser considerada a atividade agropecuária que mais cresce no Brasil e no Mundo [8]. De acordo com os dados disponíveis, a produção de peixes por meio da aquicultura triplicou entre 1995 e 2007, [9]. Outros dados mostram que a produção mundial de pescados tem crescido a uma taxa média anual de 3,2% nos últimos 50 anos, superando o incremento populacional do mesmo período em 1,6%, [10].

Segundo a FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, a produção mundial de animais aquáticos destinados a alimentação por meio da aquicultura cresceu de 32.418.000 toneladas no ano de 2000 para aproximadamente 76.600.000 toneladas no ano de 2015, um crescimento de aproximadamente 136%. Dentre os produtores destaca-se o continente asiático com 68.392.710 toneladas em 2015, seguido pelas Américas, com apenas 3.273.375 toneladas. A diferença entre a produção por meio de aquicultura e captura se torna cada vez menor, no ano de 2000 a pesca teve uma produção em torno de 60 mil toneladas a mais que a aquicultura. Já no ano de 2015, a diferença foi em torno de 15 mil toneladas.

Previsões indicam que no ano de 2030 a produção será de 83 milhões de toneladas tornando-se uma importante ferramenta

para geração de empregos e uma nova opção sócio-econômica para comunidades litorâneas, [11]. Entre as diversas atividades aquícolas, a carcinicultura destaca-se no setor devido ao alto valor comercial que os crustáceos atingem no mercado, em 2008 sua produção gerou US\$ 22,7 bilhões, [8]. O Brasil insere-se no contexto internacional como um dos países com maior potencial para o desenvolvimento da aquacultura. Além do seu extenso território, suas condições climáticas e hidrológicas favorecem essa atividade.

Segundo relatório da FAO, os 13 principais países produtores na aquacultura em 2012 são apresentados no Gráfico 5. A China é o principal país na produção de pescados em cativeiro, produzindo 41.108,306 toneladas em 2012, o que representa 45% da produção mundial. A posição do Brasil em 12º lugar merece destaque, uma vez que a maioria dos países são asiáticos, além de apresentar um dos menores índices de consumo per capita de pescados do mundo, ocupando o 10º lugar na América do Sul. O relatório da FAO de 2016 aponta que a produção da pesca e aquacultura deve crescer mais de 100% até 2015.

Além disso, o aumento na produção brasileira será o maior registrado na região, seguido de México (54,2%) e Argentina (53,9%) durante a próxima década. Dessa forma, entende-se a importância que esse ramo tem para a economia do Brasil, uma vez que é praticada em todos os estados brasileiros. A aquacultura abrange principalmente as seguintes criações: de peixes (piscicultura); camarões (carcinicultura); rãs (ranicultura) e moluscos: ostras e mexilhões (malacocultura). Outros cultivos aquáticos, como o cultivo de algas, são praticados em menor escala, [12]. A aquacultura pode ocorrer tanto em águas doces quanto salgadas. Com o aumento da área cultivada de aquacultura, o país terá condições de desenvolver ainda mais, de forma sustentável, seu potencial na atividade.

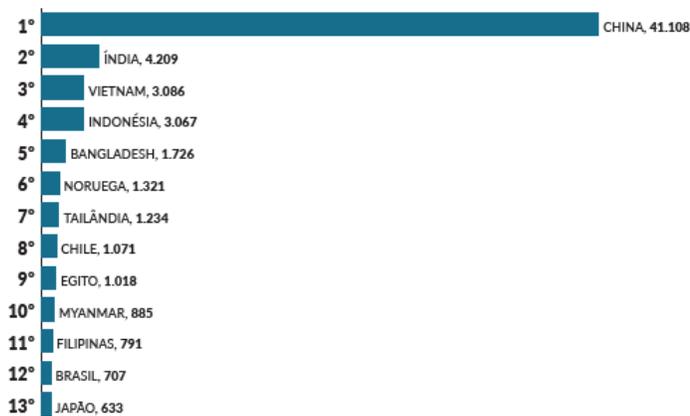


Fig. 5. Ranking dos 13 principais países em produção aquícola em 2012. Os Dados estão em toneladas. Fonte: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fishstat, 2014.

A região sul do estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente a cidade do Rio Grande, merece destaque nesse contexto, uma vez que sua localização geográfica faz da cidade um importante polo na produção de pescados e hortifrutigranjeiros. Dessa forma, a pesca artesanal e a agricultura familiar são as principais atividades de exploração primária

deste município. No entanto, as duas atividades enfrentam fragilidade no processo de estabilização econômica, uma vez que, na pesca existe o período de redução de matéria-prima nas águas de exploração coletiva, e a agricultura familiar sofre com períodos de estiagem, chuvas intensas e afins.

A particularidade das condições geoclimáticas do Município do Rio Grande/RS, somada aos esforços de pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), vista na Figura 6 potencializa-se a ação de fortalecimento da aquacultura na cidade e região, através da disseminação de tecnologia específica para criação de camarão marinho. A Estação Marinha de Aquacultura – EMA da FURG destaca-se por ser um dos centros pioneiros de novas tecnologias em aquacultura. Além de ser pioneira na produção super-intensiva de camarões marinhos (*Litopenaeus Vannamei*) em sistemas de bioflocos, com mínima troca de água, a EMA tem uma história significativa de reprodução e de crescimento de peixes, especialmente Linguado (*Paralichthys Orbignianus*) e Bijupirá (*Rachycentron Canadum*), e também alguns estudos com reprodução e larvicultura de moluscos nativos na região.



Fig. 6. Estação Marinha de Aquacultura FURG

Existem basicamente dois sistemas fechados para criação de camarões: os sistemas de recirculação e os sistemas com bioflocos (BFT). Os sistemas que utilizam BFT caracterizam-se por altas densidades de estocagem, manejo adequado de ração, aeração intensiva e formação de flocos microbianos [13]. Anteriormente ao sistema BFT, a renovação dos grandes volumes de água dos tanques implicavam em um grande problema da criação de camarões. Os sistemas de criações convencionais com recirculação requerem grandes volumes de água, sendo necessários de 20 a 64 metros cúbicos para produzir 1 quilograma de camarões. Vantajosamente, os sistemas com BFT necessitam apenas de 1% desse volume [14], com a grande vantagem da reutilização da água por diversos ciclos de produção. Por outro lado, o excesso de bioflocos formado ao longo do ciclo de produção passa a ser um problema.

Em todos os segmentos da aquacultura um dos maiores objetivos consiste produzir um maior número de espécies em um menor volume de água [15]. Isto implica em algumas estratégias de manejo no processo de criação como, por exemplo, o povoamento regular, alimentação, monitoramento sanitário e de qualidade da água, proteção contra predadores, entre outros. Paralelamente, uma série de variáveis do processo

devem ser controladas, tais como: temperatura da água, nível de oxigênio dissolvido, pH e turbidez do meio. Tais condições são imprescindíveis para o aumento da produção [16]. Neste trabalho, a variável de maior importância será o nível de oxigênio dissolvido.

Para que o controle de tantos processos de criação e variáveis seja viável, a inserção de tecnologias tem ganhado espaço. Não apenas por tornar possível a monitoração paralela de inúmeras variáveis, mas também por viabilizar a produção de uma grande quantidade de organismos aquáticos em um baixo volume de água. Atualmente, tem-se conhecimento de trabalhos que focam na automação do processo de alimentação dos viveiros de aquacultura, como em [17] que apresenta um alimentador automatizado e aleatório, com aplicação programável para o tipo de espécie cultivada, tamanho, temperatura da água e afins.

Já em [18] apresenta-se um sistema de monitoramento do ambiente aquático baseado em redes neurais, que utiliza múltiplos fatores de água para avaliar se o ambiente aquático é adequado para o crescimento do camarão. Inúmeros outros exemplos de aplicações existem, como por exemplo para controle de temperatura [19], comportamento dos peixes [20], aquecimento da água através de módulos fotovoltaicos [21], e mostram a importância da melhoria no desempenho de sistemas de aquacultura com utilização de tecnologias.

#### A. Oxigênio dissolvido

O oxigênio é essencial à vida dos organismos aquáticos e baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) na água podem causar atraso no crescimento, redução na eficiência alimentar dos peixes, aumento na incidência de doenças e na mortalidade dos peixes, resultando em sensível redução na produtividade desses sistemas [22]. O consumo de OD varia com a espécie, o tamanho, o estado nutricional e o grau de atividade dos peixes, a concentração de oxigênio e a temperatura da água, entre outros. No cultivo de grande escala a variável OD é extremamente importante, visto que com uma grande concentração da espécie por metro quadrado, o oxigênio pode acabar em poucos minutos [13].

Em viveiros e tanques de camarões, as concentrações de OD são variáveis, podendo ter tanto ciclos diários, diferenças entre o dia e a noite, como uma estratificação vertical que é a variação entre a superfície e o fundo do viveiro [23]. Tais alterações estão atreladas a fotossíntese e a respiração dos camarões e de outros organismos aquáticos (como por exemplo: bactérias e plânctons). Estas variações refletem normalmente as condições ambientais do viveiro, uma vez que a solubilidade do oxigênio na água é afetada pela temperatura, pressão atmosférica, salinidade, quantidade de matéria orgânica, como também pelas taxas fotossintéticas [24].

Durante o dia, em um viveiro onde predominam organismos fotoautótrofos (fitoplâncton), há uma diminuição na concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na água, ocorrendo uma maior produção de oxigênio (O<sub>2</sub>), como resultado da atividade fotossintética. À noite, devido a ausência de luz solar (energia luminosa), o fitoplâncton passa a obter sua energia a partir de processos respiratórios, resultando no consumo de oxigênio e na liberação de CO<sub>2</sub> [22].

Existem duas formas de obtenção de oxigênio: por difusão direta e por processo de fotossíntese. A difusão direta caracteriza-se pelo contato e penetração direta do ar atmosférico na água, enquanto que o processo de fotossíntese consiste na liberação de oxigênio na água mediante processo fotossintético pelo fitoplâncton (algas especiais) [16]. Uma das formas de suprir a quantidade de oxigênio necessária para o cultivo ideal de peixes se dá através do processo de aeração.

A aeração consiste em colocar a água em contato estreito com uma fase gasosa, geralmente o ar, para transferir substâncias solúveis do ar para a água, aumentando seus teores de oxigênio e nitrogênio, [25]. Além da demanda de oxigênio necessária para a sobrevivência dos camarões, a criação com baixa ou nenhuma renovação de água necessita de um aporte extra que é consumido pelo fitoplâncton e na respiração dos bioflocos que devem estar em constante suspensão na coluna d'água, [26]. Os aeradores também são responsáveis pela mistura do volume de água do tanque combinando os níveis de oxigênio dissolvido entre as camadas superiores e inferiores.

Uma aeração adequada proporciona o aumento da produtividade aquícola, assegura melhor qualidade da água, além de possibilitar a redução de custos e evitar perdas desnecessárias, [24]. Para este processo existem vários aeradores mecânicos disponíveis no mercado, tais como: propulsores de ar, bombas verticais, bombas aspersoras, aeradores de pás, entre outros, que serão detalhados na Seção III.

### III. AERADORES

Uma forma de aumentar a taxa de oxigênio dissolvido nos tanques e viveiros de aquacultura ocorre através do uso de aeradores mecânicos. Na maioria dos casos, o objetivo principal é permitir um aumento nas densidades de estocagem para se alcançar produtividades mais elevadas [23]. Além disso, a aeração mecânica é comumente utilizada em sistemas super-intensivos para suspender o material e criar comunidades microbianas heterotróficas no viveiro, com o intuito de purificar a água e reciclar proteína não utilizada. Outros objetivos incluem a circulação de água, a estratificação de viveiros com renovação zero e a redução da região de acúmulo de sedimentos no viveiro [27].

Os aeradores de aquacultura são semelhantes aos utilizados na aeração de águas residuais ou sistemas de tratamento de esgoto. No entanto, tais aeradores são muito caros para serem utilizados na aquacultura, por isso, ao longo do tempo foram modificados. Todos os tipos básicos de aeradores mecânicos foram utilizados na aquacultura, mas será dada maior detalhamento aos aeradores mais comuns em viveiros e / ou lagos, que são: bombas verticais, propulsores de ar, sistemas de ar difuso e aeradores de pás.

Testes de desempenho em viveiros indicam que aeradores de pás são mais eficientes em transferência de oxigênio e circulação de água que outros tipos citados acima, como pode ser visto na Tabela I.

Além disso, faz-se fundamental um bom posicionamento dos aeradores dentro dos tanques de cultivo. Os mesmos devem estar afastados das laterais dos viveiros para evitar a erosão dos diques assegurando que os mesmos produzam

TABLE I  
TAXA PADRÃO DE TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO (SOTR) E EFICIÊNCIA PADRÃO DE AERAÇÃO (SAE) DE DIFERENTES AERADORES [27]

Tipos de aeradores	Número de aeradores testados	SOTR Kg.O <sub>2</sub> /horas	SAE média Kg.O <sub>2</sub> /hp.h
Aeradores de pás	24	2,5 a 23,2	1,64
Propulsores de ar	11	0,1 a 24,4	1,19
Bombas verticais	15	0,3 a 10,9	1,04
Ar difuso	5	0,6 a 3,9	0,67

um movimento da água sobre o fundo dos viveiros suficiente para evitar zonas anaeróbicas na interface solo e água [28]. Boyd observou a circulação da água em tanques retangulares onde aeradores foram instalados e acionados em diferentes posições, como pode ser visto na Figura 7. Observa-se que os aeradores colocados no centro de uma das margens mais longas do viveiro, promoveram uma circulação mais uniforme da água. Quando dois ou mais aeradores são usados num mesmo viveiro, estes podem ser dispostos em série, de modo a promover a circulação da água.

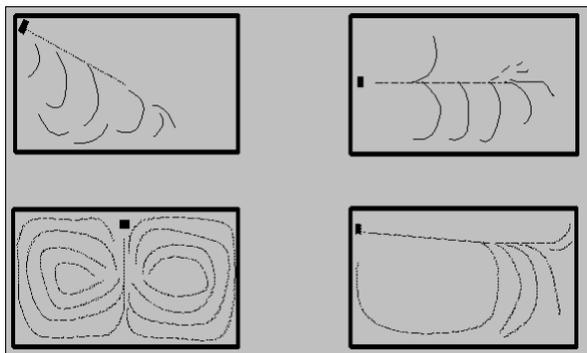


Fig. 7. Posição de aeradores e circulação de água em viveiros retangulares (Boyd 1990)

Atualmente no mercado existem diversos tipos de aeradores cuja potência, preço e modelo variam de acordo com o tamanho dos tanques, espécies cultivadas e outros fatores. Na bibliografia, encontrou-se projetos tais como: [29] e [30], que utilizam módulos fotovoltaicos para o fornecimento de energia, mas em ambos artigos os módulos localizam-se ao lado de fora dos tanques. Isto implica na necessidade por ligação cabeada para o funcionamento do mesmo.

#### IV. PROJETO DE AERADOR AUTÔNOMO

As Seções anteriores tiveram como objetivo contextualizar o assunto e dar fundamentação teórica para o desenvolvimento e aplicação do conteúdo. Inicialmente, nesta Seção, será apresentado o dimensionamento energético e alterações estruturais necessárias para considerar o aerador de pás um Veículo Autônomo de Superfície

##### A. Dimensionamento Energético

Para o projeto do aerador com módulos fotovoltaicos foi necessário primeiramente conhecer a energia que seria demandada pelo mesmo. Usualmente, assumindo alta saturação de

oxigênio e um grande volume de produção aquícola por metro quadrado, os aeradores devem operar por volta de 10 horas/dia. No entanto para projetar um aerador com operação diária de 10 horas, considerando a potência total de 0,5 hp, seria necessário gerar e armazenar mais de 3730W. A impossibilidade para esse período de operação diário é sustentada, principalmente pela massa que o aerador poderia sustentar e pela área disponível à instalação dois módulos fotovoltaicos de 1,65m<sup>2</sup> com potência de 275W.

Além disso com base em um banco de dados de testes e cálculos das médias de radiação solar e geração de energia elétrica de um módulo fotovoltaico na cidade de Rio Grande (sul do Brasil), obteve-se uma geração anual média de 28300W por mês ou 933W por dia. Com base nessas informações, projetar um aerador para operação de 10 horas diárias, tornou-se inviável.

Entretanto, pensando em um aerador cujo objetivo seria operar como um reserva, em situações como manutenção de outros aeradores ou cultivo elevado de espécies, optou-se pelo projeto de um aerador para 4 horas de funcionamento diário. Assim, assumindo que cada motor de 1/4 hp requer 186,5 W para funcionar durante uma hora, a potência utilizada por motor diariamente será de 746W. Logo, os dois motores consumirão, durante as 4 horas diárias, 1492W.

Considerando que cada módulo gera, em média, 933W por dia aleatoriamente, faz-se necessário uma bateria para armazenamento dessa energia. As baterias de descarga profunda também chamadas de estacionárias ou seladas, suportam descarga de até 80% com redução do número de ciclos de carga conforme Figura 8. São baterias difundidas para utilização de sistemas de energia fotovoltaica isolados ou *off grid*. Logo, dimensionar uma bateria que acumule e forneça a potência necessárias aos motores depende diretamente do número de ciclos de carga pretendidos. Para fins de dimensionamento será adotado uma descarga de 40% para garantir aproximadamente dois anos de vida útil com carregamentos diários. Então, a Equação 1 demonstra os cálculos para o dimensionamento da bateria com relação à capacidade máxima de fornecimento.

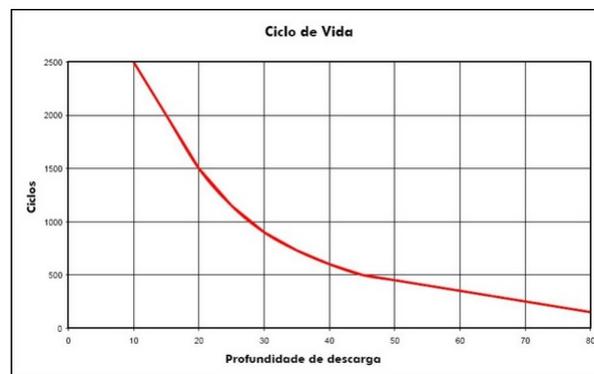


Fig. 8. Curva típica do ciclo x profundidade de descarga de uma bateria estacionária.

Para atender a potência diária dos motores (1472W) e considerando a descarga de 40% do sistema de armazenamento (baterias), foram dimensionadas duas baterias comerciais com

capacidades de 1800Wh: 150Ah (Ampères hora) e tensão contínua de 12V. A potência máxima que poderá ser fornecida aos motores é dada por:

$$Capacidade_{fornecimento} = 2 \cdot (1800 \cdot 0,40) = 1440Watts \quad (1)$$

Como a capacidade de armazenamento e a potência diária necessária são muito próximas considera-se, para fins de implementação, que o fator de descarga será um pouco maior. Será necessário projetar também um controlador de carga que envia a tensão contínua normalizada, através de métodos tipo PWM e MPPT (seguidor do ponto de máxima potência), dos módulos fotovoltaicos para as baterias e um inversor de tensão senoidal para converter a tensão contínua armazenada nas baterias em alternada para acionamento dos motores das pás. As perdas oriundas dos processos de carga e transformação de energia são contabilizados na pequena elevação do fator de descarga previamente descrito.

Portanto, o dimensionamento do sistema fotovoltaico é composto de:

- 2 motores de corrente alternada com  $\frac{1}{4}$  hp cada;
- 2 módulos fotovoltaicos de 275W com área de  $1,65m^2$ ;
- 2 baterias seladas estacionárias de 12V/150Ah;
- 1 controlador de carga para 100V/10A; e
- 1 inversor de tensão onda senoidal pura de 1000W.

A massa total aproximada dos equipamentos dimensionados, segundo os catálogos dos fabricantes, é de 60kg. A massa do próprio aerador não está considerada. A Figura 9 demonstra um esquema genérico do projeto dimensionado.



Fig. 9. Sistema de geração fotovoltaica *off grid* típico.

## B. Estrutura

A aeração mecânica vem se tornando popular no Brasil em comparação aos outros países produtores de camarão da América Latina provavelmente pela facilidade de obter eletricidade em áreas rurais. A eletricidade gerada por hidroelétricas é também mais barata quando comparada a outras fontes de

energia. Enquanto isso, os custos com diesel variaram de US\$ 0,31-0,40/L (8% dos casos) a US\$0,41-0,50/L. Fontes alternativas de energia como a energia solar e a energia eólica devem ser consideradas como importantes áreas de investigação no futuro.

Para o projeto e alteração na estrutura do aerador fez-se necessária atenção, uma vez que o equipamento possui alta rotação. Basicamente, sua estrutura é composta por dois motores elétricos, eixo prolongado horizontal com um rotor tipo caracol, dois flutuantes e estrutura suporte. O aerador trabalha ininterruptamente com velocidade angular constante e a maioria das falhas podem ocorrer no ponto da cinta da palheta que está em contato com o eixo rotativo. Tais falhas, conseqüentemente, afetam na diminuição da oxigenação de aeração, diminuição da atividade microbiológica neste local e altos custos anuais com manutenção.

Como dito anteriormente, o mesmo é composto por dois flutuadores: um principal, que leva o motor; e um auxiliar, utilizado para equilíbrio. O flutuador auxiliar é acoplado a um mancal, um rotor em caracol com 30 graus de diferença entre os conjuntos de pás e dois módulos fotovoltaicos posicionados paralelamente ao rotor do equipamento. Esta distribuição permite que ocorra geração de energia fotovoltaica sem a influência da agitação e respingos de água. Após a geração, armazena-se a energia em duas baterias alocadas nos flutuadores.

Aconselha-se a supervisão e checagem do funcionamento dos equipamentos, principalmente em fases críticas do cultivo. Uma forma simples de determinar se os aeradores estão funcionando no período noturno, é tentar ouvir o barulho gerado pela agitação da água como também a reflexão de pequenas bolhas de ar na superfície do viveiro. Ao longo do ciclo de produção, o gerente de produção deve também inspecionar o bom funcionamento dos equipamentos. Alguns produtores experientes avaliam a eficiência do aerador pelo comprimento da corrente formada na superfície da água pelo equipamento.

Dessa forma, levando em conta o dimensionamento realizado e as alterações estruturais propostas, apresenta-se o projeto de um modelo de aerador que pode ser visualizado na Figura 10.

## C. Sensoriamento

O aerador deverá ser composto por inúmeros sub-sistemas que garantem sua independência. Como principais sub-sistemas tem-se o sistema de navegação, sistema de suprimento de energia, sistema de comunicação e sistema de Processamento Embarcado que são detalhados nas subseções abaixo.

1) *Sistema de Navegação*: Este sistema é responsável pela determinação da posição e velocidade lineares e angulares de um corpo relativamente a um referencial. Fornece ao estimador de estados do sistema, como filtro de Kalman ou filtro de partículas, dados relevantes para que este possa estimar precisamente o estado da embarcação como: velocidades, rumo e posição [31]. Para que isso seja possível, recorre a um conjunto de sensores internos como: giroscópio, acelerômetros, profundidade, efeito Doppler, magnetômetro, entre outros; ou

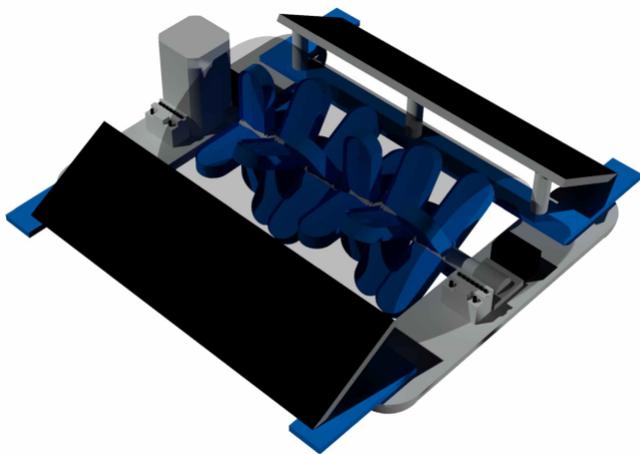


Fig. 10. Desenho de aerador proposto

a fontes de informação externa: posicionamento global por satélite, sistema de posicionamento acústico do tipo *Long Base Line*, sonar, e assim por diante.

2) *Sistemas de Suprimento de Energia*: Este sistema controla a distribuição de energia para os sistemas elétricos e mecânicos instalados a bordo do veículo, e monitora o consumo energético, em outras palavras, são encarregados por todos o suprimento de energia dos demais equipamentos.

3) *Sistema de Comunicação*: Faz a gestão das comunicações entre o operador e o veículo ou entre este e outros sistemas ou veículos com os quais alguma forma de cooperação está prevista no decorrer da missão [32]. Esta comunicação poderá ocorrer com base em duas diferentes tecnologias: *Wi-Fi* para comunicações a curta distância e rádio para comunicações a média distância [33].

4) *Sistema de Processamento Embarcado*: Esta classe varia conforme a arquitetura, podendo ser uma arquitetura distribuída e neste caso são utilizados FPGA's, DSP's, microcontroladores, interligados por meio de uma rede, conhecida por CAN [32].

## V. CONCLUSÃO

Atualmente, no mercado existem diversos tipos de aeradores cuja potência, preço e modelo variam de acordo com o tamanho dos tanques, espécies cultivadas e outros fatores. Na bibliografia, encontrou-se projetos tais como [29] e [30] que utilizam módulos fotovoltaicos para o fornecimento de energia, mas em ambos artigos os módulos localizam-se ao lado de fora dos tanques. Isto implica na necessidade por ligação cabeada para o funcionamento do mesmo. Desta forma, o aerador proposto diferencia-se dos existentes nos seguintes aspectos:

- possibilita o uso em regiões em que não se possui abastecimento de energia elétrica, permitindo o cultivo e aeração da água mesmo em locais remotos;
- economia nos custos com energia elétrica, uma vez que não se faz mais necessário o consumo de energia da rede elétrica;
- uso de energia renovável através dos módulos fotovoltaicos, uma forte tendência para os próximos anos;

- sem necessidade de ligação cabeada para fornecimento de energia, de modo que a posição do aeradores não esteja mais atrelada ao comprimento do cado do aerador;
- deslocamento autônomo. Através da atuação diferencial dos motores faz-se possível o deslocamento do aerador ao longo do tanque, permitindo uma aeração mais equilibrada e conseqüentemente, um melhor e mais uniforme desenvolvimento das espécies;
- passa a precisar de apenas um aerador que se desloque por tanque, no lugar de dois ou três estáticos, para fazer a aeração uniforme.

Este artigo apresenta o projeto de um aerador autônomo movido a energia solar, que permitirá o deslocamento e navegação do mesmo ao longo do tanque. Tal projeto se mostra bastante importante uma vez que resolve duas grandes problemáticas da aquicultura: alto gasto energético e aeração não uniforme. Somente na EMA, como pode ser observado na Figura 6, existem 10 tanques com 2 aeradores cada. O custo com energia elétrica anual dos 20 aeradores é aproximadamente de R\$70.898,40 anuais, considerando o valor de KWh R\$0,55. Tendo em vista que aeradores são utilizados em diversas áreas, como mineração, tratamentos de efluentes e afins, acredita-se que o mesmo possa ser usado em outros ambientes com custo energético muito menor. Por fim, com o avanço da tecnologia e maior eficiência dos módulos fotovoltaicos, objetiva-se que o aerador funcione por maior período de tempo.

## VI. TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista que o projeto ainda encontra-se em desenvolvimento, ainda não se possui protótipo do aerador. Além disso, faz-se necessário que seja feita a modelagem cinemática e dinâmica do mesmo, para compreender os movimentos e limitações do mesmo. Para que isso seja possível, objetiva-se tomar como base a modelagem de Veículos Autônomos de Superfícies, também conhecidos como *Autonomous Surface Vessel* (ASV), que possuem algumas características comuns. Posteriormente, foca-se no desenvolvimento e aplicação de leis de controle. A última parte do projeto, consiste na implementação prática e desenvolvimento de protótipo.

## REFERENCES

- [1] FEDERAL, M. de Minas e E. G. *Energia Solar no Brasil e Mundo Ano de referência - 2015*. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar++Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+29/>>.
- [2] ELÉTRICA, A. N. de E. *DBIG - Banco de Informações de Geração*. ANEEL, 2016. Disponível em: <[www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm)>.
- [3] BANDEIRA, F. d. P. M. O aproveitamento da energia solar no brasil-situação e perspectivas. Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2012.
- [4] KEMERICH, P. D. da C. et al. Paradigmas da energia solar no brasil e no mundo. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.
- [5] ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no brasil. *Revista do BNDES, Rio de Janeiro*, n. 40, p. 85-113, 2013.
- [6] FONSECA, A. F. V. da. Nanofios de zno contendo íons eu 3 para aplicação em células solares.
- [7] GREENPRO, A. P. C. Energia fotovoltaica-manual sobre tecnologias, projecto e instalação. *Europa: Comissão Europeia*, 2004.

- [8] NATIONS, F. ad Agriculture Organization of the U. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. 2010. Disponível em: <<http://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0250e/i0250e.pdf>>.
- [9] ASSAD, L. T.; BURSZTYN, M. Aquicultura no brasil: bases para um desenvolvimento sustentável. CNPq, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000.
- [10] BRABO, M. F. et al. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no brasil e no estado do pará: ênfase na aquicultura. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, v. 4, n. 2, p. 50–58, 2016.
- [11] NATIONS, F. ad Agriculture Organization of the U. *Shrimp fisheries under scrutiny*. 2009. Disponível em: <[www.fao.org](http://www.fao.org)>.
- [12] CASTELLO, J. P. O futuro da pesca da aquicultura marinha no brasil: a pesca costeira. *Ciência e Cultura*, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 62, n. 3, p. 32–35, 2010.
- [13] SERRA, F. da P.; POERSCH, L. H.; JR, W. W. Sistema de bioflocos a importância e manejo dos sólidos suspensos. 2012.
- [14] FOES, D. D. K. D. G. *Utilização de Aeradores Mecânicos para o aumento de produtividade na Piscicultura*. 2015. Disponível em: <<http://trevisan.ind.br/blog/utilizacao-de-aeradores-mecanicos-para-o-aumento-de-produtividade-na-piscicultura/2/>>.
- [15] AQUICULTURA no Brasil, série estudos mercadológicos. *Bibliotecas do Sebrae*. Disponível em: <<http://www.bibliotecas.sebrae.com.br>>.
- [16] SILVA, V. K.; FERREIRA, M. W.; LOGATO, P. V. R. Qualidade da água na piscicultura. 2007.
- [17] CALIL, B. M. *AUTOMAÇÃO DE PISCICULTURA E TANQUES ARTIFICIAIS*. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, 2005.
- [18] SHEN, X.; CHEN, M.; YU, J. Water environment monitoring system based on neural networks for shrimp cultivation. In: IEEE. *Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009. AICI'09. International Conference on*. [S.l.], 2009. v. 3, p. 427–431.
- [19] FONSECA, L. et al. Implementation of a temperature control system for the culture of aquatic plants. In: IEEE. *Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2015 CHILEAN Conference on*. [S.l.], 2015. p. 61–65.
- [20] XIAO, G. et al. Online monitoring system of fish behavior. In: IEEE. *Control, Automation and Systems (ICCAS), 2011 11th International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1309–1312.
- [21] BAYRAK, G.; LEBELI, M. A pv based automation system for fish farms: An application study. In: IEEE. *Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2011 7th International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1–23.
- [22] KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes—parte iii (final). *Panorama Aquicultura*, v. 8, p. 35–43, 1998.
- [23] NUNES, A. J. Aeração mecânica na engorda de camarões marinhos. *Panorama Aquicultura*, v. 70, 2002.
- [24] KUBITZA, P. D. F. Manejo na produção de peixes. *Panorama da Aquicultura*, v. 18, n. 109, p. 26 – 30, 2008.
- [25] SIPAUBA-TAVARES, L.; LIGEIRO, S.; DURIGAN, J. Variação de alguns parâmetros limnológicos em um viveiro de piscicultura em função da luz. *Acta Limnol. Bras*, v. 7, p. 138–150, 1995.
- [26] WASIELESKY, W. et al. Cultivo de camarões em sistema de bioflocos: realidades e perspectivas. *Rev. ABCC*, v. 15, n. 2, p. 30–36, 2013.
- [27] BOYD, C. E. Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering*, Elsevier, v. 18, n. 1, p. 9–40, 1998.
- [28] NETTO, J.; VINATEA, L. Analise da eficiencia de duas disposicoes de aeradores, tipo paddlewheel, em viveiros de cultivo de camarao litopenaeus vannamei. *Boletim do Instuto de Pesca*, v. 31, n. 2, p. 163–169, 2005.
- [29] SONG, J.; CHOI, Y. Design of photovoltaic systems to power aerators for natural purification of acid mine drainage. *Renewable Energy*, Elsevier, v. 83, p. 759–766, 2015.
- [30] SEGUNDO, D. N.; MOTA, M. A. Aerador de piscicultura alimentado com fonte de energia solar. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 4, n. 2, 2015.
- [31] CARDEIRA, B. M. S. C. *Arquitecturas para navegação inercial/gps com aplicação a veículos autônomos*. Tese (Doutorado) — Master's thesis, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1, 2009.
- [32] ALVES, J. P. P. CyberNav um sistema de navegação pra veículos autônomos. In: *CyberNav um sistema de navegação pra veículos autônomos*. [S.l.: s.n.], 2004.
- [33] PASCOAL, A. et al. Marius: an autonomous underwater vehicle for coastal oceanography. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, IEEE, v. 4, n. 4, p. 46–59, 1997.