

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO DE PESCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA**

**UTILIZAÇÃO DE MALHA DE COBRE PARA O CONTROLE DE  
INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS**

**Ana Paula dos Santos**

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

**São Paulo**

**Dezembro – 2017**

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO DE PESCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA**

**UTILIZAÇÃO DE MALHA DE COBRE PARA O CONTROLE DE  
INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS**

**Ana Paula dos Santos**

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

**São Paulo**

**Dezembro – 2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação. Instituto de Pesca, São Paulo

S337u

Santos, Ana Paula dos

Utilização de malha de cobre para o controle de incrustações biológicas /  
Ana Paula dos Santos. – São Paulo, 2017  
vii, 45f. ; il. ; gráf. ; tab.

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA - Secretaria de Agricultura e  
Abastecimento.

Orientador: Eduardo Gomes Sanches

1. Malhas de nylon. 2. Tanques-rede. 3. Maricultura. 4. Piscicultura marinha.  
5. Bioincrustação. I. Sanches, Eduardo Gomes. II. Título.

CDD 639.3

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
**INSTITUTO DE PESCA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

“UTILIZAÇÃO DE MALHA DE COBRE PARA O CONTROLE DE  
INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS”

**AUTORA:** Ana Paula dos Santos

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de  
MESTRE EM AQUICULTURA E PESCA, Área de Concentração em  
Aquicultura, pela Comissão Examinadora:



---

Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches



---

Profa. Dra. Vanessa Villanova Kuhnen



---

Prof. Dr. Rodrigo Schweitzer

Data da realização: 06 de dezembro de 2017



---

Presidente da Comissão Examinadora  
Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches

A minha filha Alice.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e saúde que me possibilitam trabalhar e estudar; por iluminar o meu caminho.

Aos meus pais que sempre me incentivaram, apoiaram e com todo amor não mediram esforços para que eu pudesse concluir essa etapa importante para minha vida profissional.

A minha família da casa do tio João Donato que me apoiaram nessa caminhada sempre que precisei.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Gomes Sanches, por ter me aceitado como aluna, pelos conhecimentos que obtive no laboratório, por todo apoio e dedicação especialmente nas aulas de sexta-feira que foram importantíssimas para minha formação.

Aos alunos do Laboratório de Piscicultura Marinha – LAPIM/Ubatuba com os quais convivi, pela amizade, cooperação e por compartilharem conhecimento. Aprendi muito com cada um.

Aos amigos e funcionários do Instituto de Pesca de Ubatuba pela convivência e apoio. Vocês são especiais.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação pelo apoio e por contribuírem valiosamente com minha formação.

Aos membros examinadores da minha qualificação Dra. Vanessa Villanova Kuhnen e Dr. Vander Bruno dos Santos pelas críticas construtivas e sugestões valiosas. Especialmente à Dra Vanessa, que esteve sempre disposta a me ajudar com a escrita científica, estatística e apresentação.

A CAPES pela bolsa concedida durante a realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Sumário.....	iii
Índice de tabelas e figuras.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Introdução geral.....	01
Objetivo.....	11
Referências.....	12
Artigo – UTILIZAÇÃO DE MALHA DE COBRE PARA O CONTROLE DE INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS.....	17
Resumo.....	18
Abstract.....	19
Introdução.....	19
Material e Métodos.....	22
Resultados.....	24
Discussão.....	27
Conclusões.....	31
Referências.....	31
Considerações finais.....	36

## ÍNDICE DE TABELAS E FIGURAS

Figura 1. Estrutura de Tanques-rede.....	01
Figura 2. Diversidade de organismos incrustantes.....	02
Figura 3. Desenvolvimento da comunidade incrustante.....	03
Figura 4. Panagem de nylon multifilamento com bioincrustação.....	04
Figura 5. Processo de limpeza da panagem.....	07
Figura 6. Tanque-rede com malha de cobre.....	09
Figura 7. Variação de peso dos diferentes materiais testados ao longo de 180 dias. Diferentes letras indicam diferenças significativas entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ). As barras indicam desvio padrão.....	25
Tabela 1. Variáveis de qualidade da água e do ambiente durante o período experimental de 180 dias.....	24
Tabela 2. Biomassa de organismos incrustantes acumulados nos materiais e coletados no último dia do experimento. Foram identificados a nível de Filo.....	27

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar o efeito de diferentes materiais utilizados em tanques-rede na redução das incrustações biológicas. Foram avaliadas panagens de nylon multifilamento, nylon monofilamento e uma liga de cobre com e sem a utilização de anodo de zinco. Os materiais foram mantidos no mar por 180 dias tendo seu peso mensurado no início, a cada 30 dias e no final do período experimental. As variáveis ambientais (temperatura, pluviometria, salinidade, oxigênio dissolvido, pH, ORP (Potencial de oxido-redução), amônia e variação de marés) foram mensurados durante a realização do experimento. Foram calculados os custos de cada material visando subsidiar futuros estudos de viabilidade econômica. Expressiva biomassa de organismos incrustantes foi observada nas panagens de nylon, sendo que o monofilamento apresentou menor quantidade e diversidade de organismos comparativamente ao multifilamento. A malha de cobre manteve-se sem acúmulo de biomassa de organismos incrustantes. Não foram observadas diferenças para malhas de cobre com ou sem anodo de zinco. Foi possível comprovar que a malha de cobre é eficaz como agente anti-incrustante mesmo em clima tropical onde a bioincrustação se desenvolve mais rapidamente.

**Palavras-chave:** malhas nylon; tanques-rede; maricultura; piscicultura marinha; bioincrustação

## ABSTRACT

This study aims analyzes the effect of different mesh used in floating net cages in the reduction of the biofouling. Nylon multifilament, nylon monofilament and a copper alloy mesh were evaluated with and without the use of zinc anode. The panels were kept in the sea for 180 days and their weight measured at the beginning, every 30 days and at the end of experimental period. The environmental variables (temperature, rainfall, salinity, oxygen, pH, ORP, ammonia and tides) were measured along the experiment. The costs of each mesh were calculated seeking to subsidize studies of economical viability. Expressive biomass of fouling organisms was observed in nylon net pens, and the monofilament presented significantly less amount and diversity of organisms compared to the multifilament. The copper mesh remained without accumulation of biomass of fouling organisms. No differences were observed for copper meshes with or without zinc anode. It was possible to prove that the copper mesh is effective as an antifouling agent even in a tropical climate where biofouling develops more rapidly.

**Keywords:** nylon net pens; net-cage; mariculture; marine finfish; biofouling

## . Introdução Geral

A estagnação da pesca extrativista em todo o mundo, aliada ao aumento populacional a uma taxa média de 1,2% ao ano, tem contribuído para que a aquicultura se estabeleça como o setor de produção de alimentos que mais cresce em todo o mundo, sendo considerada como a principal fonte de proteína animal para a humanidade nas próximas décadas (FAO, 2012). O cultivo de peixes marinhos em tanques-rede (Figura 1) é realizado com sucesso em vários países (SANCHES, 2006), e representou o maior fator de impulso para o crescimento da piscicultura mundial na década de 80 (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004). A adoção de tanques-rede apresenta vantagens tais como o menor investimento inicial comparativamente a sistemas de recirculação de água e/ou viveiros escavados (LEKANG *et al.*, 2016). O cultivo em tanques-rede é classificado como um regime intensivo de produção, necessitando de elevada e contínua renovação de água para manutenção da qualidade adequada para os peixes (HALWART *et al.*, 2007).



Figura 1 – Estrutura de Tanques-rede

[www.angra.rj.gov.br](http://www.angra.rj.gov.br)

Um dos maiores desafios que afetam o cultivo de peixes marinhos em tanques-rede reside no controle das incrustações biológicas (Figura 2), também denominadas como *biofouling* (ALDRED e CLARE, 2014). O *biofouling* pode ser definido como a colonização de bactérias, algas e invertebrados sobre superfícies submersas sejam elas naturais ou introduzidas pelo homem (LEJARS, 2012). Toda superfície submersa está sujeita à adesão de microrganismos, que produzem um biofilme capaz de alterar as propriedades da superfície condicionando-a para a fixação de organismos de maior porte (COMPERE *et al.*, 2008), caracterizando a sucessão ecológica.

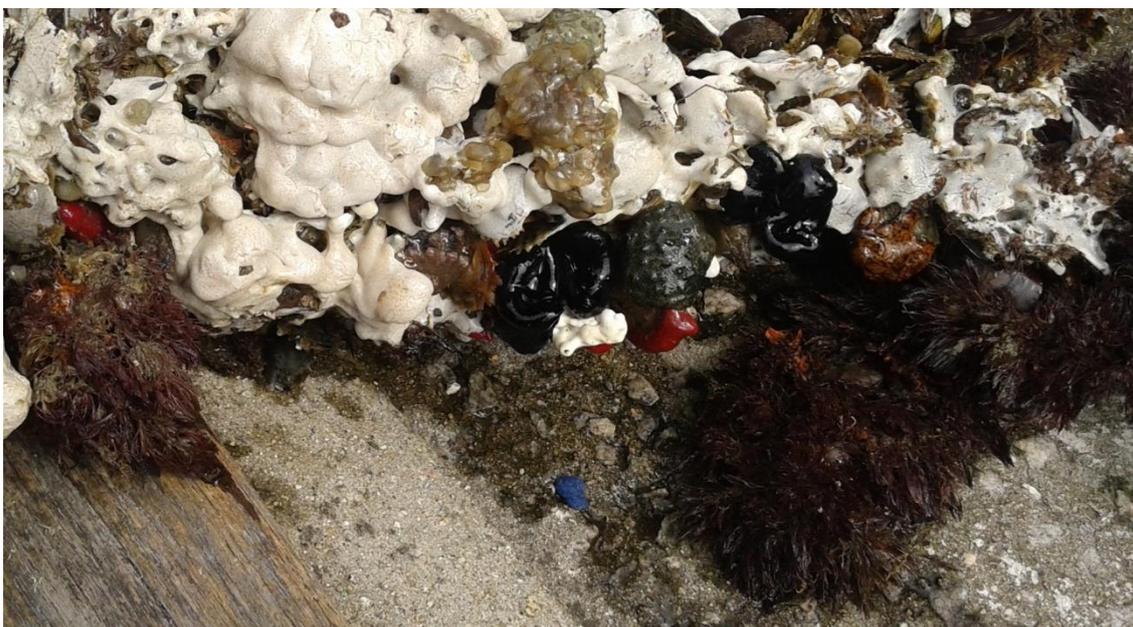


Figura 2 – Diversidade de organismos incrustantes.

Arquivo pessoal

O desenvolvimento dessa sucessão é um processo complexo, mas pode ser resumido em quatro fases principais: condicionamento bioquímico (adsorção de macromoléculas); colonização bacteriana; colonização por eucariontes unicelulares e colonização por eucariontes multicelulares (RAILKIN, 2004; YEBRA *et al.*, 2004; CHAMBERS *et al.*, 2006) (Figura 3). Cada fase condiciona a superfície para a fase seguinte, o que significa que a ocorrência de uma fase vai favorecer o desenvolvimento da fase seguinte (RAILKIN, 2004; YEBRA *et al.*, 2004; CHAMBERS *et al.*, 2006). Toda essa sequência de assentamento depende de alguns fatores e pode ter modificações de acordo com a região geográfica, o tempo e a profundidade que a estrutura ficou submersa, temperatura e circulação da água e a dinâmica

do ecossistema na qual a comunidade incrustante está inserida (HOWES *et al.*, 2007; GUENTHER *et al.*, 2010).

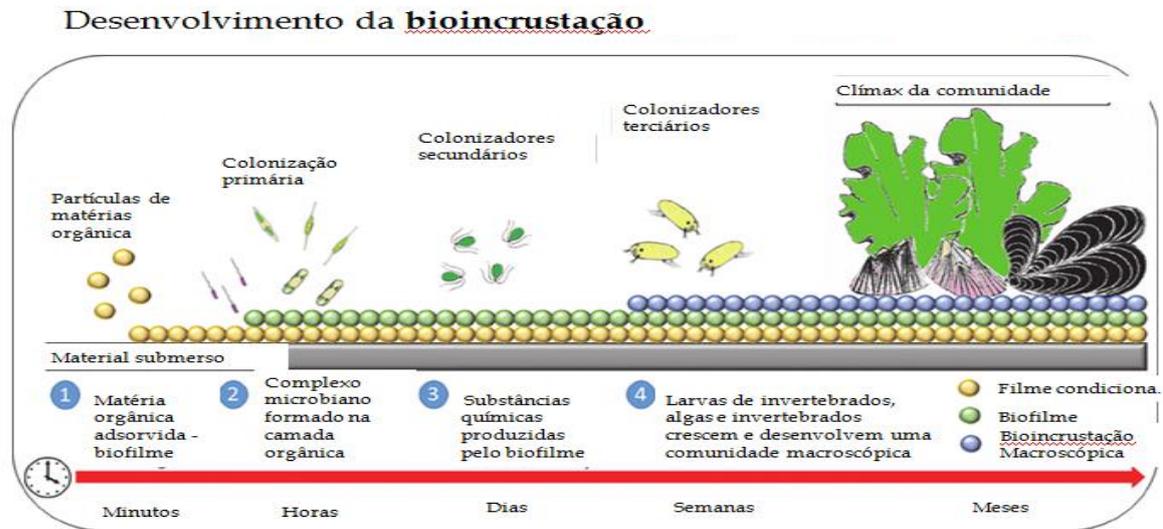


Figura 3 – Desenvolvimento da comunidade incrustante.

Adaptado - <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123652>

O crescimento da comunidade incrustante que ocorre nas malhas dos tanques-rede pode levar a obstrução da abertura de malha (Figura 4), resultando em acúmulo de fezes, sobras de alimento e redução da troca de água no interior do tanque, seguindo-se um ambiente com baixo teor de oxigênio dissolvido. O excesso de peso nas estruturas de cultivo contribui para o rompimento das redes e a deformação das gaiolas, resultando em uma densidade de estocagem inadequada, afetando o bem-estar dos peixes e conseqüentemente o bom desempenho zootécnico (LADER *et al.*, 2008; OPPEDAL, 2011; FITRIDGE *et al.*, 2012).



Figura 4 – Panagem de nylon multifilamento com bioincrustação.

[www.biofoulingolutions.com.au](http://www.biofoulingolutions.com.au)

Os custos associados ao controle da bioincrustação com troca periódica de redes, remoção física dos organismos incrustantes, utilização de tintas com biocida entre outros métodos representam até 10% do custo total de produção na criação de peixes marinhos (FITRIDGE *et al.*, 2012). O que também deve ser considerado é o fato de que a manutenção das estruturas de cultivo pode comprometer a qualidade do pescado (GONZÁLES *et al.*, 2013), uma vez que influencia diretamente na sanidade e redução do crescimento do peixe (SHAINEE *et al.*, 2013), afetando a rentabilidade do cultivo.

Há algum tempo a maricultura passou a utilizar tecnologia de outros setores marítimos como estratégias anti-incrustantes, sendo que tais técnicas baseiam-se na utilização de compostos químicos como as tintas biocidas usadas na superfície dos transportes marítimos (YEBRA *et al.*, 2004; DURR e WATSON, 2010). Em 1961, foi desenvolvida a primeira tinta incorporando um composto organoestânico como biocida. O tributilestanho (TBT) foi utilizado por um longo período, devido a sua eficiência em reduzir consideravelmente a adesão de incrustações (TOLOSA *et al.*, 1996). No entanto, a partir de 2006 seu uso foi proibido pelo Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho (MEPC) devido sua toxicidade e agressividade ao ambiente marinho, sendo o prazo

limite para a circulação de navios contendo esses compostos aplicados em seus cascos até 2008 (CHAMP, 2003).

Esses compostos organoestânicos são considerados uma ameaça à vida marinha, pois podem ocasionar mudanças hormonais em diversos organismos agindo como disruptores endócrinos em invertebrados (Da COSTA *et al.*, 2008). Em algumas espécies de gastrópodes provocam um fenômeno conhecido como “imposex” que é uma manifestação de alterações endócrinas induzidas pela exposição aos organoestânicos. Esta anormalidade é o resultado de um processo de sobreposição de caracteres sexuais masculinos, tais como pênis e canal deferente em fêmeas de moluscos, afetando a reprodução e levando ao declínio da população ou até a extinção da espécie (NAKANISHI, 2008; HORIGUCHI *et al.*, 2006).

Atualmente, tintas anti-incrustantes utilizadas quase que exclusivamente na maricultura são fabricadas contendo apenas cobre sob a forma de óxido cuproso (BRAITHWAITE *et al.*, 2007). Contudo, essas tintas não possuem a mesma eficiência no combate à bioincrustação, se comparadas ao TBT (LIMAVERDE *et al.*, 2007). Durante o manuseio ocorre a lixiviação das partículas de cobre na água, reduzindo drasticamente sua capacidade anti-incrustante. Em aproximadamente quatro a seis meses, o produtor precisa realizar limpeza e re-pintura das panagens (DWYER e STILLMAN, 2009).

A busca por alternativas aos organismos incrustantes tem crescido bastante nos últimos anos, levando pesquisadores a concentrar esforços no desenvolvimento de substâncias naturais menos danosas à biota marinha (FUSETANI, 2004). Alguns grupos de organismos expressam características próprias muito importantes, como a capacidade de impedir a formação de epibioses. Algumas espécies de algas, esponjas, corais, ascídias, e muitos outros invertebrados são frequentemente encontrados desprovidos de epibiontes na natureza, devido à produção de metabólitos que apresentam propriedades anti-incrustantes (BURGESS *et al.*, 2003), tornando-se alvos promissores para novos produtos anti-incrustantes (MEDEIROS *et al.*, 2007). Esse sistema de defesa é, provavelmente, uma resposta evolutiva às desvantagens ecológicas impostas pela epibiose, particularmente em organismos fotossintetizantes (Da GAMA *et al.*, 2008). Entretanto, o desenvolvimento de tintas a base de substâncias naturais ainda não se

encontra plenamente disponível (MEDEIROS *et al.*, 2007; FITRIDGE *et al.*, 2012).

Um exemplo de biocontrolador é a anêmona do mar *Anthothoe albocincta* Hutton 1878, que reduz em 35% a colonização do briozoário *Bugula neritina* Linnaeus, 1758 (ATALAH *et al.*, 2014). Recentemente foi observado que gastrópodes *Haliotis iris* Gmelin, 1791 e *Cookia sulcata* Gmelin, 1791 podem reduzir o estabelecimento das incrustações biológicas em mais de 55% (ATALAH *et al.*, 2014). Contudo, a utilização de biocontroladores ainda não é viável fora da escala de laboratório.

O processo de trocas periódicas das panagens, seguido de lavagem e escovação (Figura 5), é um método eficiente para o controle da bioincrustação, contudo o manuseio dos peixes acarreta riscos de escape, estresse e diminuição do ganho de peso, aumentando os custos operacionais (BEVERIDGE, 2008). Uma alternativa consiste na técnica da limpeza das panagens *in loco*, onde mergulhadores utilizam equipamentos especializados para direcionar jatos de água removendo a maioria dos organismos ligados à rede. A escovação somente do lado externo foi comprovado como não eficiente na redução da bioincrustação (SANCHES *et al.*, 2007), uma vez que este processo faz com que as larvas dos organismos incrustantes permaneçam no entorno do cultivo, iniciando rapidamente uma nova recolonização (GREENE e GRIZZLE, 2007).



Figura 5 – Processo de limpeza da panagem.

Arquivo pessoal

Outra abordagem da indústria da aquicultura marinha para contornar o problema da bioincrustação é a utilização de diferentes materiais para a confecção dos tanques-rede. A malha de *nylon* monofilamento, que apresenta superfície lisa e dificulta a fixação de organismos incrustantes foi pesquisada por SANCHES *et al.*, (2007) com resultados positivos, aumentando o tempo de permanência das redes na água em comparação com a utilização de malha multifilamento. Outro material é aço inoxidável que é utilizado devido a sua durabilidade, facilidade de limpeza, resistência a degradação química e resistência a corrosão. No entanto, estudos demonstraram que o aço inoxidável não é o metal mais adequado para a utilização em ambiente marinho, devido sua fraca ação antibacteriana e conseqüentemente na redução do biofilme que dá início à sucessão ecológica da comunidade incrustante. Dessa maneira as pesquisas se voltaram para as ligas de cobre, que podem superar esta limitação (WILKS *et al.*, 2005).

Na água salgada o cobre metálico oxida para óxido cuproso ( $\text{CuO}$ ) e se dissocia para liberar o íon cuproso ( $\text{Cu}^+$ ). Este íon oxida novamente para o íon cúprico ( $\text{Cu}^{+2}$ ), que é o principal responsável pela toxicidade aos organismos

incrustantes (DWYER e STILLMAN, 2009). Os íons ( $\text{Cu}^{+2}$ ) impedem a formação do biofilme pelas bactérias (NOYCE *et al.*, 2007). Além disto, a toxicidade do cobre em invertebrados marinhos ocorre pela absorção dos íons ( $\text{Cu}^{+}$ ) e ( $\text{Cu}^{+2}$ ), provocando um desbalanço iônico intracelular de  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$  e inibição da enzima anidrase carbônica, afetando o equilíbrio ácido-base (LOPES *et al.*, 2011).

O cobre ocorre naturalmente na água do mar, nos sedimentos e organismos, sendo um micronutriente essencial para o crescimento normal de plantas e animais (CHESTER, 1990). Contudo, é imprescindível investigar se a utilização de malha de cobre eleva o teor desse metal na água e se ocorre fixação do cobre pelos peixes acarretando risco de contaminação. A acumulação de metais em diferentes espécies de peixes pode ser afetada por diversos fatores, como tamanho, maturidade sexual, mudanças sazonais, hábitos alimentares, qualidade da água e contaminação ambiental (ADHIKARI *et al.*, 2009).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, (FAO, 1983) a concentração máxima de cobre permitida para o cultivo de organismos aquáticos é de 0,02 mg/L. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA/MS), segundo a portaria n.º 685/98 (1998), os limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos, no caso do cobre em peixes é de 30,00 µg/g.

A utilização de tanques-rede confeccionados com malha de cobre (Figura 6) tem sido realizada em países como Coréia, Austrália, Japão, Chile, China, Turquia, EUA, Canadá, Reino Unido, Grécia, África do Sul e Moçambique (MOON *et al.*, 2016). Um estudo realizado com bacalhau do Atlântico *Gadus morhua* Linnaeus, 1758 por CHAMBERS *et al.* (2012) comparando cultivos em tanques-rede com malha de cobre e de *nylon*, demonstrou que não houve diferença entre a porcentagem de fixação de cobre nos peixes dos dois tratamentos e a quantidade absorvida de metal pelos peixes não prejudicou o crescimento e a sobrevivência. O efeito tóxico das ligas de cobre que provoca o efeito anti-incrustação é limitado aos organismos que estão em contato com a superfície ou numa proximidade muito estreita da malha de cobre (DWYER e STILLMAN, 2009).



Figura 6 – Tanque-rede com malha de cobre.

[www.press-n-relations.com](http://www.press-n-relations.com)

O Chile e a Noruega vêm testando tanques-rede confeccionados com malha de cobre obtendo resultados positivos.

DWYER e STILLMAN, (2009) cultivaram salmão do Atlântico *Salmo salar* Linnaeus, 1758, em tanques-rede com malha de cobre e registraram redução de conversão alimentar (15%) e da mortalidade (35%). Na Coreia gaiolas de liga de cobre resistiram aos efeitos de dois grandes tufões durante o verão de 2012 (CHA *et al.*, 2013) devido a sua característica semi-rígida que não apresenta distorções.

Uma das vantagens da malha de liga de cobre é ser um material 100% reciclável, sendo que redes tradicionais de nylon acabam sendo descartadas em aterros locais, enquanto que tanques confeccionados com malha de cobre permitem a utilização por mais de 20 anos trazendo benefícios ambientais (DWYER e STILLMAN, 2009) e compensando os custos iniciais investidos. A viabilidade econômica da utilização das malhas de liga de cobre na piscicultura de trutas no Chile foi comprovada com o estudo de GONZÁLES *et al.* (2013), onde destacaram redução da mortalidade e elevação da performance produtiva dos peixes.

A salinidade é um dos principais fatores que influenciam a corrosão do metal em ambientes oceânicos (ZHANG *et al.*, 2014). Entretanto, as ligas de cobre utilizadas na aquicultura marinha apresentam baixas taxas de corrosão (POWELL e STILLMAN, 2009) devido à formação da patina que age como uma película protetora (WALLINDER *et al.*, 2014). Ânodos de zinco são utilizados para proteger navios e estruturas portuárias através da proteção catódica onde o zinco, sendo o metal que possui maior capacidade de doar elétrons, oxida-se no lugar do metal a ser protegido, no entanto, o aumento da concentração de zinco na água pode ser potencialmente tóxico para o ambiente marinho (ROUSSEAU *et al.*, 2009)

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização da malha de cobre na redução das incrustações biológicas comparativamente a diferentes malhas de nylon utilizadas para a produção de peixes marinhos em tanques-rede. Como resultado é esperado abrir caminhos para novas pesquisas onde possa ser avaliada a aplicabilidade de tanques-rede confeccionados com malha de cobre e assim contribuir para o desenvolvimento de uma nova tecnologia de produção no Brasil.

## **OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho foi avaliar se o uso da malha de cobre com e sem a presença de anodo de zinco reduzem as incrustações biológicas em tanques-rede.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Testar a eficácia da malha de cobre em ambiente tropical na redução de organismos incrustantes;
- b) Avaliar a eficiência do anodo de zinco para proteger a malha de cobre da corrosão.

## REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, S.; GHOSH, L.; GIRI, B.S.; AYYAPPAN, S. 2009 Distributions of metals in the food web of fishponds of Kolleru Lake, India. *Ecotoxicology\_and Environmental\_Safety*, 72(4): 1242-1248.
- ALDRED, N.; CLARE, A.S. 2014 Mini-review: impact and dynamics of surface fouling by solitary and compound ascidians. *Biofouling*, 30(3): 259-270.
- BEVERIDGE, M.C.M. 2008 *Cage aquaculture*. 5<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, New Jersey.
- BRAITHWAITE, R.A.; MCEVOY, L.A. 2004 Marine biofouling on fish farms and its remediation. *Advances in marine biology*, 47: 215-252.
- BURGESS, J.G.; BOYD, K.G.; ARMSTRONG, E.; JIANG, Z.; YAN, L.; BERGGREN M. 2003 The Development of a marine natural product-based antifouling paint. *Biofouling*, 19: 197-205.
- CHAMBERS, L.D.; STOKES, K.R.; WALSH, F.C.; WOOD, R.J.K. 2006 Modern approaches to marine antifouling coatings. *Surface & Coatings Technology*, 201: 3642-3652.
- CHAMBERS, M.; BUNKER, J.; WATSON, I.I.; HOWELL, W.H. 2012 Comparative growth and survival of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) cultured in copper and nylon net pens. *Journal of Aquaculture & Research Development*, 3(5):31-42.
- CHAMP, M.A. 2003 Economic and environmental impacts on ports and harbors from the convention to ban harmful marine anti-fouling systems. *Marine pollution bulletin*, 46(8): 935-940.
- CHESTER, R. 1990 *Marine Geochemistry*. Allen & Unwin, Australia. 698p.
- COMPÈRE, C.; LEHAITRE, M.; DELAUNEY, L. 2008 Biofouling and underwater measurements. Real-time observation systems for ecosystem dynamics and harmful algal blooms: Theory, instrumentation and modelling. *Oceanographic Methodology Series*. UNESCO, Paris, p. 463-493.

Da COSTA, M.B.; FERNANDEZ, M.A.; BARBIERO, D.C.; De MELO, F.T.V.; OTEGUI, M.B.P.; FERREIRA, B.S.; 2008 First Record of imposex in *Thais deltoidea* (Lamarck, 1822) (Mollusca, Gastropoda, Thaididae) in Vitória, ES, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 56(2): 145-148.

Da GAMA, B.A.P.; CARVALHO, A.G.V.; WEIDNER, K.; SOARES, A.R.; COUTINHO, R.; FLEURY, B.G. 2008 Antifouling activity of natural products from Brazilian seaweeds. *Botânica Marina*, 51: 191-201

DÜRR, S.; WATSON, D.I. 2010 Biofouling and antifouling in aquaculture. *Biofouling*, 267-287.

DWYER, R.L. e STILLMAN, H. 2009 Environmental performance of copper alloy mesh in *Marine Fish Farming* 1-18.

Food and Agricultural Organisation (FAO), 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fisheries Circular 464, 5.

FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2012 The State of the World Fisheries and Aquaculture

FITRIDGE, I.; DEMPSTER, T.; GUENTHER, J.; de NYS, R. 2012 The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling*, 28(7): 649–669.

FUSETANI, N. 2004 Biofouling and antifouling. *Natural Product Reports*, 21: 94-10.

GREENE, J.K.; GRIZZLE, R.E. 2007 Successional development of fouling communities on open ocean aquaculture fish cages in the western Gulf of Maine, USA. *Aquaculture*, 262(2): 289-301.

GUENTHER, J.; MISIMI, E.; SUNDE, LM. 2010 The development of biofouling, particularly the hydroid *Ectopleura larynx*, on commercial salmon cage nets in Mid-Norway, *Aquaculture*, 300: 120–127.

HALWART, M.; SOTO, D.; ARTHUR, J.R. 2007 Cage aquaculture – Regional reviews and global overview. FAO Fisheries Technical Paper, nº. 498. Rome. 241p.

HORIGUCHI, T.; KOJIMA, M.; HAMADA, F.; KAJIKAWA, A.; SHIRAISHI, H. M. 2006 Impact of Tributyltin and Triphenyltin on Ivory Shell (*Babylonia japonica*) Populations. *Environmental Health Perspectives*, 114: 13-19.

HOWES, S.; HERBINGER, C.M.; DARNELL, P.; VERCAEMER, B. 2007 Spatial and temporal patterns of recruitment of the tunicate *Ciona intestinalis* on a mussel farm in Nova Scotia, Canada, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342: 85–92.

LADER P.; DEMPSTER T.; FREDHEIM A.; JENSEN Ø 2008 Current induced net deformations in full-scale cages for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Engineering*, 38: 52–65.

LEJARS, M.; MARGAILLAN, A.; BRESSY, C. 2012 Fouling release coatings: a nontoxic alternative to biocidal antifouling coatings. *Chemical reviews*, 112(8): 4347-4390.

LEKANG, O.I.; SALAS-BRINGAS, C.; BOSTOCK, J. C. 2016 Challenges and emerging technical solutions in on-growing salmon farming. *Aquaculture International*, 24(3): 757-766.

LIMAVERDE, A.M.; WAGENER, A. D. L. R.; FERNANDEZ, M. A.; SCOFIELD, A. D. L.; COUTINHO, R. 2007 *Stramonita haemastoma* as a bioindicator for organotin contamination in coastal environments. *Marine Environmental Research*, 64(3): 384-398.

LOPES, T.M.; BARCAROLLI, I.F.; OLIVEIRA, C.B.; SOUZA, M.M.; BIANCHINI, A. 2011 Effect of copper on ion content in isolated mantle cells of the marine clam *Mesodesma mactroides*. *Environmental Toxicology Chemistry*, 30: 1582–1585.

MEDEIROS, H.E.; Da GAMA, B.A.P.; GALLERANI, G. 2007 Antifouling activity of seaweed extracts from Guarujá, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(4): 257-264.

MOON, S.K.; KIM, I.S.; HONG, S.N.; JEONG, B.Y. 2016 A comparison of food components of Red Sea bream (*Pagrus major*) cultured in copper alloy (Brass) and nylon net cages. *Journal of Agriculture & Life Science*, 50(1): 233-242.

NAKANISHI, T. 2008 Endocrine disruption induced by organotin compounds; organotins function as a powerful agonist for nuclear receptors rather than an aromatase inhibitor. *The Journal of Toxicological Sciences*, 33: 269-276

NOYCE, J.O.; MICHELS, H.; KEEVIL, C.W. 2007 Inactivation of influenza A virus on copper versus stainless steel surfaces. *Applied and environmental microbiology*, 8: 2748–2750.

OPPEDAL, F.; DEMPSTER, T.; STIEN, L.H. 2011 Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture*, 311(1): 1-18.

POWELL, C. e STILLMAN, H. 2009 Corrosion Behaviour of Copper Alloys Used in Marine Aquaculture. *International Copper Association, Ltd.*, New York, 1-3p.

RAILKIN, A.I. 2004 Marine biofouling; colonization process and defenses. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Reserarch*, 20: 129-131.

ROUSSEAU, C.; BARAUD, F. LELEYTER, L.; GIL, O. 2009 Cathodic protection by zinc sacrificial anodes: Impact on marine sediment metallic contamination. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1): 953-958.

WILKS, S.A.; MICHELS, H.T.; KEEVIL, C.W. 2006 Survival of *Listeria monocytogenes* Scott A on metal surfaces: implications for cross-contamination. *International Journal of Food Microbiology*, 111: 93-98.

SANCHES, E.G. 2006 Boas perspectivas para o cultivo de meros, garoupas e badejos no Brasil. *Panorama da Aquicultura*, 16(93): 44-51.

SANCHES, E.G.; VON SECKENDORFF, R.W.; BASTOS, G.C.C. 2007 Eficiência de panagens de monofilamentos de nylon na redução das incrustações biológicas em tanques-redes. *Bioikos*, 21(1): 33-44.

SHAINEE, M.; ELLINGSEN, H.; LEIRA, B.J.; FREDHEIM, A. 2013 Design theory in offshore fish cage designing. *Aquaculture*, 392: 134-141.

TOLOSA, I., READMAN, J.W.; BLAEVOET, A.; GHILINI, S.; BARTOCCI, J.; HORVAT, M. 1996 Contamination of Mediterranean (Côte d'Azur) coastal waters by organotins and Irgarol 1051 used in antifouling paints. *Marine Pollution Bulletin*, 32(4): 335-341

YEBRA, D.M.; KIIL, S.; DAM-JOHANSEN, K. 2004 Antifouling technology- past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, 50: 75-104.

WALLINDER, I.O.; ZHANG, X.; GOIDANICH, S.; Le BOZEC, N.; HERTING, G.; LEYGRAF, C. 2014 Corrosion and runoff rates of Cu and three Cu-alloys in marine environments with increasing chloride deposition rate. *Science of the Total Environment*, 472: 681-694.

ZHANG, X.; WALLINDER, I. O.; LEYGRAF, C. 2014 Mechanistic studies of corrosion product flaking on copper and copper-based alloys in marine environments. *Corrosion Science*, 85: 15-25.

ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. 2004 Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C., FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.) Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: Tec Art, 249-254p.

**Artigo para Publicação**

UTILIZAÇÃO DE MALHA DE COBRE PARA O CONTROLE DE  
INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS

Artigo redigido nas normas do periódico científico

**Aquaculture Engineering**

QUALIS A2

## **Utilização de malha de cobre para o controle de incrustações biológicas**

Ana Paula dos SANTOS <sup>1</sup>; Eduardo Gomes SANCHES <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento do Litoral Norte, Instituto de Pesca/APTA/SAA. Rua Joaquim Lauro Monte Claro Neto, 2275 – Itaguá – CEP: 11.680-000 – Ubatuba - SP – Brasil. e-mail: esanches@pesca.sp.gov.br

### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo analisar o efeito de diferentes materiais utilizados em tanques-rede na redução das incrustações biológicas. Foram avaliadas panagens de nylon multifilamento, nylon monofilamento e uma liga de cobre com e sem a utilização de anodo de zinco. As panagens foram mantidas no mar por 180 dias tendo seu peso mensurado no início, a cada 30 dias e no final do período experimental. As variáveis ambientais (temperatura, pluviometria, salinidade, oxigênio dissolvido, pH, ORP (Potencial de oxido-redução), amônia e variação de marés) foram mensuradas durante a realização do experimento. Foram calculados os custos de cada material visando subsidiar futuros estudos de viabilidade econômica. Expressiva biomassa de organismos incrustantes foi observada nas panagens de nylon, sendo que a de monofilamento apresentou menor quantidade e diversidade de organismos comparativamente ao multifilamento. A malha de cobre manteve-se sem acúmulo de biomassa de organismos incrustantes. Não foram observadas diferenças para malhas de cobre com ou sem anodo de zinco. Foi possível comprovar que a malha de cobre é eficaz como agente anti-incrustante mesmo em clima tropical onde a bioincrustação se desenvolve mais rapidamente.

**Palavras-chave:** malhas nylon; tanques-rede; maricultura; piscicultura marinha; bioincrustação

## ABSTRACT

This study aims analyzes the effect of different mesh used in floating net cages in the reduction of the biofouling. Nylon multifilament, nylon monofilament and a copper alloy mesh were evaluated with and without the use of zinc anode. The panels were kept in the sea for 180 days and their weight measured at the beginning, every 30 days and at the end of experimental period. The environmental variables (temperature, pluviometria, salinity, oxygen, pH, ORP, ammonia and tides) were measured along the experiment. The costs of each mesh were calculated seeking to subsidize studies of economical viability. Expressive biomass of fouling organisms was observed in nylon net pens, and the monofilament presented significantly less amount and diversity of organisms compared to the multifilament. The copper mesh was maintained without significant accumulation of biomass from fouling organisms. No differences were observed for copper meshes with or without zinc anode. It was possible to prove that the copper released by the mesh was effective as an antifouling agent, preventing the colonization of the structures. The use of copper mesh in net cages is a promising strategy to mitigate the problems of biofouling in marine fish farm.

**Keywords:** nylon net pens; net-cage; mariculture; marine finfish; biofouling

## Introdução

A aquicultura cresce mundialmente como uma alternativa eficiente para suprir a demanda por proteína de origem animal (FAO, 2012). Como um dos ramos da aquicultura, o cultivo de peixes marinhos, em sua maior parte efetuado em tanques-rede, é realizado com sucesso em vários países, contudo, um dos maiores desafios enfrentados por este setor produtivo reside nos custos associados ao controle das incrustações biológicas (Beveridge, 1996; Fitridge et al., 2012; Aldred and Clare, 2014).

A bioincrustação é a colonização de bactérias, algas e invertebrados sobre superfícies submersas sejam elas naturais ou introduzidas pelo homem (Lejars, 2012). Nesse processo, a comunidade se transforma a partir de um nível de organização simples para uma comunidade mais complexa, em um processo de sucessão ecológica (Chambers et al., 2006). A diversidade e a intensidade da bioincrustação na aquicultura estão relacionadas com diversos fatores, tais como: a estação climática, a localização geográfica e condições ambientais do local, o tempo e a profundidade que a superfície ficou submersa, a disponibilidade de luz, temperatura e circulação da água e a dinâmica do ecossistema na qual a comunidade incrustante está inserida (Greene and Grizzle, 2007; Howes et al., 2007; Guenther et al., 2010). Estudos sobre a sucessão e composição da comunidade incrustante contribuem na busca por alternativas que possam inibir ou controlar o desenvolvimento da bioincrustação.

Os efeitos da bioincrustação no cultivo de peixes marinhos exigem o manejo e a limpeza periódica das gaiolas. Isso ocorre devido ao acúmulo de organismos fixados nas malhas, que causam obstrução impedindo o fluxo de água e reduzindo a disponibilidade de oxigênio para os peixes (Oppedal, 2011; Fitridge et al., 2012). O incremento do peso das estruturas de cultivo eleva o risco de rompimento e fuga dos peixes e em determinados casos a bioincrustação deforma as malhas das panagens, causando deformações na estrutura do tanque-rede, que consiste no não aproveitamento total do espaço interno do tanque, concentrando os peixes a uma densidade inadequada (Klebert et al., 2013; Jackson et al., 2015). A somatória desses fatores no ambiente de confinamento torna-o propício para o abrigo de patógenos como vírus e bactérias, afetando o bem-estar e comprometendo o desempenho zootécnico dos peixes (Lader et al., 2008; Fitridge et al., 2012). Além disto, os custos associados ao controle da bioincrustação podem ser bastante elevados (Bloecher et al., 2013), de maneira que ainda persiste como um dos maiores entraves para a piscicultura marinha em todo o mundo (Willemsen, 2005).

Atualmente, são utilizadas diversas alternativas para o controle da bioincrustação na piscicultura como escovação e troca periódica das panagens (Greene and Grizzle, 2007; Sanches et al., 2007a), limpeza *in situ* através de aparelhos controle remoto ou manualmente com mergulhadores (Fitridge et al.,

2012), exposição das panagens ao ácido acético (Guenther et al., 2011) e utilização de tintas biocidas (Durr and Watson, 2010). No entanto, com a legislação ficando cada vez mais restritiva, torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias anti-incrustantes inovadoras que gerem o mínimo de impacto ambiental (Fitridge et al., 2012; Ayer et al., 2016).

Recentemente, como alternativa para a problemática da bioincrustação, ligas de cobre têm sido fabricadas para utilização como rede de contenção em tanques-rede. O cobre libera os íons cúpricos ( $\text{Cu}^{+2}$ ) que atuam reduzindo a fixação de bactérias que dão início à sucessão ecológica das incrustações biológicas (Noyce et al., 2007). Na água salgada o cobre metálico oxida para óxido de cobre ( $\text{CuO}$ ), este se dissocia para liberar o íon de cobre ( $\text{Cu}^{+}$ ). Este íon de cobre oxida novamente para o íon cúprico ( $\text{Cu}^{+2}$ ), que é o principal responsável pela toxicidade aos organismos incrustantes (Dwyer and Stillman, 2009). O mecanismo de toxicidade dos íons ( $\text{Cu}^{+}$  e  $\text{Cu}^{+2}$ ) nos invertebrados marinhos está associado à inibição de  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$  causando desequilíbrio de íons intracelulares e a inibição da atividade enzimática de anidrase carbônica, prejudicando a troca gasosa e a regulação ácido-base (Lopes et al., 2011).

A utilização de malhas de cobre poderia afetar a saúde dos peixes devido à toxicidade do íon cúprico, entretanto estudos demonstraram que esta toxicidade é reduzida devido à dissolução dos íons de cobre pelas correntes marítimas, reduzindo completamente a possibilidade de toxidade para os peixes (Ayer et al., 2016; Kalantzi et al., 2016). O cobre, por outro lado, possui propriedades antimicrobianas contra várias bactérias patogênicas, incluindo *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni* (Noyce et al., 2007).

A proteção catódica é amplamente utilizada para reduzir a corrosão das estruturas de metal introduzidas em ambiente marinho (Rousseau et al., 2009). A corrosão é o processo natural de perda de elétrons da estrutura para o meio que ocorre devido à alta condutividade elétrica da água do mar. A proteção ocorre quando liga-se o metal a ser protegido a metais menos nobres, tais como zinco, magnésio ou alumínio (Shehadeh and Hassan, 2013). Dessa forma, visando à redução da perda de peso das malhas de cobre, pelo efeito da corrosão, alguns trabalhos apontam a utilização de ligas de cobre com

inclusão de zinco em sua composição (Powell and Stillman, 2009; WALLINDER et al., 2014).

O Chile e a Noruega, países de clima temperado, já vêm utilizando malhas de cobre para o cultivo de salmões, obtendo redução das incrustações biológicas e das ocorrências de doenças, comparativamente a malhas de nylon (Yigit et al., 2016). Considerando as diferenças existentes nos processos que ocorrem em regiões tropicais, bem como a inexistência de estudos avaliando a eficácia do cobre em clima tropical, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização da malha de cobre na redução das incrustações biológicas e a eficiência do anodo de zinco para proteger a malha de cobre da corrosão. Nossa hipótese é de que a malha de cobre seja mais eficiente na redução das incrustações biológicas do que as malhas utilizadas correntemente em tanques-rede em ambientes marinhos. Paralelamente, a utilização de anodos de zinco pode ser efetiva para evitar a redução de peso das malhas de cobre pelo efeito da corrosão.

### **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no mar, em uma área em frente ao Laboratório de Piscicultura Marinha, do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento do Litoral Norte, do Centro Avançado de Pesquisa e Tecnologia do Agronegócio do Pescado Marinho, localizado em Ubatuba (SP/Brasil), do Instituto de Pesca/APTA/SAA.

Foram avaliados os níveis de incrustações biológicas em quatro materiais utilizados como rede de contenção em tanques-rede: o nylon multifilamento (padrão 210/18, espessura próxima de 0,89 mm), o nylon monofilamento (fio transparente, espessura 0,20 mm) e o aramado de cobre (fio 2,0 mm) com e sem a utilização de anodo de zinco. Para testar cada um dos materiais foram confeccionados quadros com medidas de 0,5 x 0,5m, com abertura de malha de 25 mm. Foram confeccionados três quadros para cada material, totalizando doze quadros. Cada quadro foi fixado em aros de polietileno com 70 cm de diâmetro, preenchidos com areia em sua parte interna para impossibilitar a flutuabilidade. Para evitar a linha eventual de água doce das chuvas e o efeito das ondas os quadros permaneceram imersos a 1,0m de profundidade.

Todos os quadros foram identificados com etiquetas numeradas e submetidos a um banho em água salgada com duração de uma hora, para a absorção completa da água pelos filamentos das panagens. Após esse período, os quadros foram estendidos à sombra por trinta minutos para drenar o excesso de água e em seguida pesados em balança digital. Posteriormente, os quadros foram levados para o mar e fixados em um espinhel linear de 20 metros fundeado por duas ancoras de 30 kg em cada extremidade.

Os quadros permaneceram no mar por 180 dias (entre março e agosto de 2015). Mensalmente para escorrer o excesso de água, os quadros foram retirados do mar, estendidas à sombra, por trinta minutos, e pesados, para a obtenção do peso úmido de cada uma delas, avaliando-se a eficiência do tratamento. Para avaliar o desgaste e corrosão, os anodos foram pesados separadamente.

Para identificação em nível de Filo e quantificação dos organismos incrustantes, ao final do período experimental amostras de 100 cm<sup>2</sup> foram coletadas manualmente dos materiais de cada tratamento, fixadas com formol a 10% e posteriormente embaladas separadamente em sacos plásticos identificados. O conteúdo de cada embalagem foi seco em estufa a 60° C por 72 horas e a seguir pesado em balança eletrônica com precisão de 0,01 g.

As condições ambientais foram monitoradas diariamente como temperaturas máximas e mínimas da água, utilizando um termômetro mergulhado na água à profundidade de 100 cm, temperatura do ar com o termômetro instalado na rampa de acesso ao mar, pH, ORP, teor de oxigênio dissolvido da água e saturação foram monitorados com um oxímetro Hanna 9828 (Hanna, São Paulo, Brasil), amônia total foi monitorada pelo método colorimétrico, com um Tetratest® Kit (Tetra Werke, Melle, Germany), salinidade com um refratômetro óptico F3000 (Bernauer Aquacultura, Blumenau, Brasil, pluviometria foi consultado os dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE e amplitude das marés foi utilizada a tábua de marés da Marinha do Brasil.

Visando subsidiar futuros estudos de viabilidade econômica, os custos dos diferentes materiais foram avaliados considerando os gastos necessários para a confecção de 1 m<sup>2</sup> de rede de cada material. Foram considerados

apenas os custos de aquisição do material. Para a confecção de redes seria necessário acrescentar o custo do entalhe e os custos laborais.

Os quadros foram dispostos aleatoriamente no espelho, foram quatro tratamentos e três repetições. Todos os dados foram testados para normalidade e homocedasticidade das variâncias. Em seguida unifatorial dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância ANOVA, para comparação entre os tratamentos. Posteriormente, para comparação das médias, foi aplicado o teste de Bonferroni. Valores de  $P < 0,05$  foram considerados significantes.

### **Resultados**

Os parâmetros da qualidade da água e do ambiente que caracterizam o local onde foi realizado o experimento são apresentados na Tabela 1. As avaliações foram realizadas entre as estações de outono e inverno. Durante o período experimental não houve grande variação na amplitude de maré.

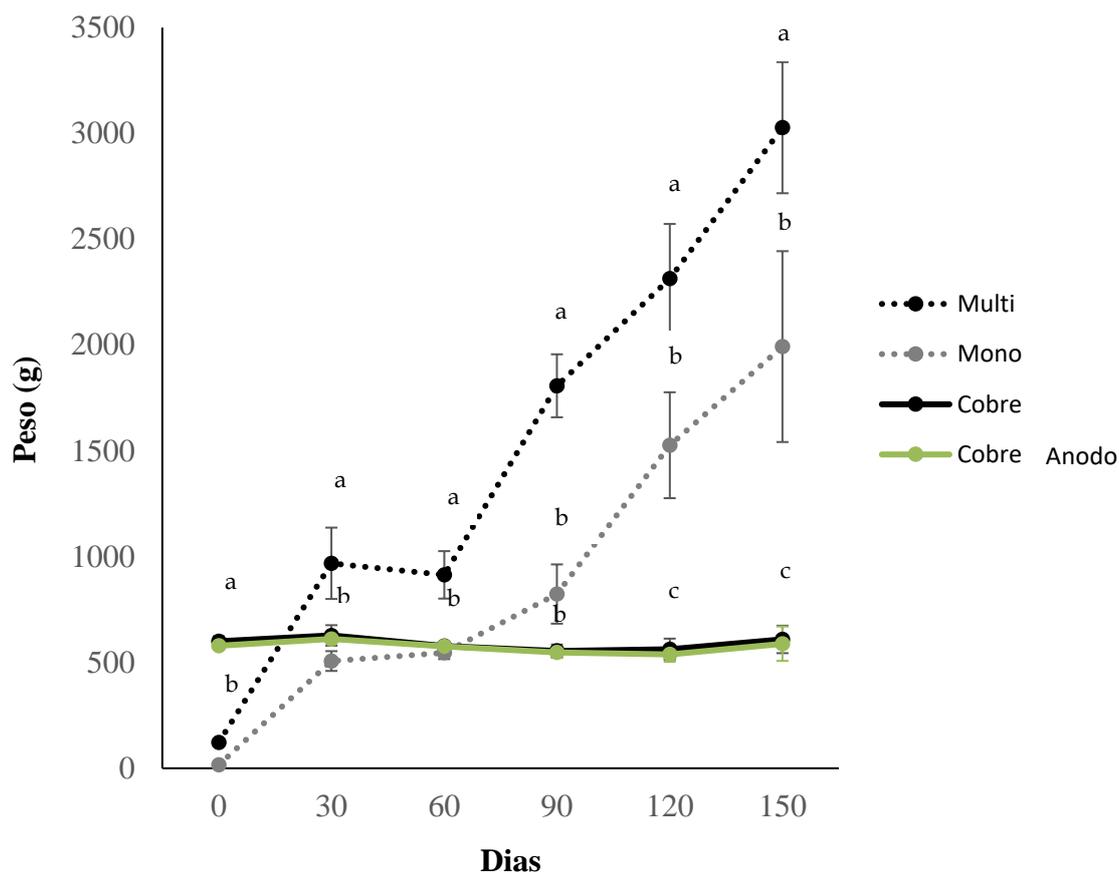
**Tabela 1.** Variáveis de qualidade da água e do ambiente durante o período experimental de 180 dias.

<b>Variáveis</b>	<b>Média ± EP</b>
Temperatura (°C)	25,1 ± 3,2
Temperatura Água (°C) Máxima	21,7 ± 2,0
Temperatura Água (°C) Mínima	17,2 ± 0,8
Pluviometria (mm)	657,1 ± 342,3
Salinidade	30,6 ± 1,9
Oxigênio dissolvido (g L <sup>-1</sup> )	6,5 ± 0,9
Saturação (%)	97,2 ± 2,5
Amônia Total (mg L <sup>-1</sup> )	0,1 ± 0,1
pH	8,0 ± 0,9
Amplitude de Maré Alta (m)	1,0 ± 0,2
Amplitude de Maré Baixa (m)	0,4 ± 0,1
ORP* (μS cm <sup>-1</sup> )	215,3 ± 9,9

\* ORP = potencial de óxido-redução

No dia 0 a diferença de peso entre as malhas de cobre e as panagens de nylon é decorrente das características de cada material. Após 30 dias de submersão o nylon multifilamento apresenta elevada colonização pelos bioincrustantes aumentando significativamente o peso em relação às malhas de cobre e o nylon monofilamento. As panagens de monofilamento não registraram elevação significativa de peso até 90 dias em relação às malhas de cobre (Figura 1).

Não houve diferença entre os pesos médios das malhas de cobre comparativamente à malha de cobre com anodo de zinco. Não houve efeito de corrosão nas malhas de cobre ou nos anodos de zinco ao longo do período amostrado (Figura 1).



**Figura 1.** Variação de peso dos diferentes materiais testados ao longo de 180 dias. Diferentes letras indicam diferenças significativas entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ). As barras indicam desvio padrão. Médias  $\pm$  DP.

Os organismos incrustantes apresentaram expressiva diversidade e diferenças significativas entre os Filos e as diferentes panagens de nylon avaliadas. A panagem de multifilamento apresentou a maior biomassa acumulada, com destaque para os filios Mollusca e Chordata (Tabela 2). A panagem de monofilamento apresentou maior fixação do filo Cnidária. As malhas de cobre (incluindo as que contavam com anodos de zinco) não apresentaram fixação de organismos incrustantes.

**Tabela 2.** Biomassa de organismos incrustantes acumulados nos materiais e coletados no último dia do experimento. Foram identificados em nível de Filo.

	Monofilamento	Multifilamento	Cobre	Cobre com anodo
Arthropoda	0,55 ± 0,43 <sup>b</sup>	1,93 ± 1,59 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>
Mollusca	2,12 ± 1,61 <sup>b</sup>	5,79 ± 0,90 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>
Cnidária	0,57 ± 0,50 <sup>a</sup>	0,09 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>
Ectoprocta	3,22 ± 2,02 <sup>a</sup>	3,70 ± 2,08 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
Chordata	4,06 ± 3,03 <sup>b</sup>	22,76 ± 7,98 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
Annelida	0,00 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,05 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
Chlorophyta	0,55 ± 0,21 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,42 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
Phaeophyta	0,36 ± 0,34 <sup>a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>b</sup>
Rhodophyta	0,13 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,27 ± 0,24 <sup>a</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,0 ± 0,0 <sup>c</sup>

Diferentes letras indicam diferenças significativas entre os tratamentos (P<0,05). Médias ± DP.

## Discussão

A manutenção das estruturas de cultivo é um dos critérios determinantes na viabilidade econômica no cultivo de peixes marinhos (Shainee et al., 2013). Os custos econômicos com o controle de incrustações biológicas podem representar até 10% do custo total de produção na maricultura, sendo realizado, nos dias atuais, através da remoção física e da utilização de tintas anti-incrustantes. Entretanto, com o incremento de legislações mais restritivas, é necessário o desenvolvimento de estratégias inovadoras (Fitridge et al., 2012). Os resultados obtidos com as malhas de cobre neste estudo foram positivos, visto que não ocorreu fixação de organismos incrustantes comparativamente às panagens tradicionais de nylon.

A eficiência da malha de cobre observada no presente trabalho indica que o material tem potencial para ser utilizado em tanques-rede como já vem sendo utilizado parcialmente em alguns cultivos em países de clima temperado como Coréia, Austrália, Japão, Chile, China, Turquia, EUA, Canadá, Reino Unido, Grécia e Moçambique (Moon et al., 2016). Este é o primeiro estudo em águas tropicais, onde o desenvolvimento da bioincrustação ocorre mais rapidamente, o que demonstrou que mesmo em condições de temperaturas da água mais elevadas o cobre pode manter sua eficácia no controle das bioincrustações. Em clima temperado, o bacalhau do Atlântico *Gadus morhua* foi cultivado em tanques-rede de malha de cobre que manteve-se sem incremento de bioincrustantes (Chambers et al., 2012). Em um cultivo de trutas, no Chile, houve redução da mortalidade e melhorias no desempenho produtivo das trutas cultivadas, demonstrando os resultados positivos da utilização das malhas de cobre na piscicultura marinha (Gonzáles et al., 2013).

Os impactos das malhas de cobre sobre a ecotoxicidade marinha, deposição de metais e a perda de cobre para a água são inferiores às malhas de nylon revestidas com pintura anti-incrustante (Ayer et al., 2016). A possibilidade de reciclagem das telas de cobre eleva a sustentabilidade da atividade, já que as malhas de nylon pintadas com tinta anti-incrustantes são o mais constante e expressivo material de descarte nos cultivos. Além disto, a liberação de cobre pelas malhas é sete vezes menor do que malhas de nylon pintadas com tinta anti-incrustante (Ayer et al., 2016).

A toxicidade do cobre em invertebrados marinhos ocorre pela absorção de  $\text{Cu}^+$  e  $\text{Cu}^{+2}$ . Além disto ocorre um desbalanço iônico intracelular e a inibição da enzima anidrase carbônica, afetando o balanço de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  e a regulação do equilíbrio ácido-base (Lopes et al., 2011). Posteriormente a eficiência do íon cuproso ( $\text{Cu}^+$ ) como agente anti-incrustante foi observada em tintas biocidas no Canadá (Edwards et al., 2015)

Fatores sazonais podem influenciar o tempo de importantes parâmetros biológicos como reprodução, recrutamento, sobrevivência e taxa de crescimento dos organismos incrustantes (Underwood and Anderson, 1994). Dessa maneira, o desenvolvimento da comunidade incrustante observado neste trabalho representa os resultados para as condições ambientais de outono e inverno caracterizadas durante o experimento, podendo apresentar

resultados diferentes se o experimento for realizado durante outra estação do ano. A temperatura do ar apresentou característica de clima tropical, ou seja, acima de 20°C. Os valores aferidos caracterizam uma região de baía abrigada, com intensa renovação de água. O índice pluviométrico foi elevado, típico da região de Ubatuba (SP/Brasil).

Uma expressiva variedade de organismos incrustantes tem sido registrada nas estruturas utilizadas para aquicultura em todo o mundo, sendo que mais de noventa espécies foram identificadas formando as comunidades bioincrustantes em panagens de tanques-rede na Noruega (Bloecher et al., 2013), esta diversidade torna complexo o desenvolvimento de estratégias de controle das incrustações biológicas. A organização das comunidades varia de acordo com fatores bióticos e abióticos (Braithwaite et al., 2004), tornando-se mais agressivo em regiões tropicais do que em zonas temperadas (Madin et al., 2009).

Observou-se neste estudo, uma grande diversidade de organismos incrustantes nas panagens de nylon mono e multifilamento, sendo o clímax da comunidade dominado pelos Filos Chordata e Mollusca, que são os organismos que representam maior agregação de peso e causa a obstrução das panagens, além de queimaduras na pele dos peixes pelos organismos do Filo Chordata como as ascídias. Estes resultados corroboram outras pesquisas que descreveram predominância de tunicados e ascídias (Chordata) e mexilhões e ostras (Mollusca) (Greene and Grizzle, 2007; FitrIDGE et al., 2012). A diversidade de espécies dominantes da comunidade incrustante e sua abundância podem variar entre as estações seca e úmida, uma vez que as precipitações intensas influenciam a salinidade alterando a homeostase das espécies marinhas (Madin et al., 2009).

As panagens de multifilamento de nylon apresentaram maior biomassa e diversidade de organismos incrustantes. Os fios do nylon monofilamento são extremamente lisos, proporcionando dificuldade de fixação para os organismos incrustantes, enquanto que a rugosidade superficial das redes de nylon multifilamento favorece a formação do biofilme e a sustentação das comunidades incrustantes (Sanches et al., 2007b). Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que as panagens de nylon monofilamento podem ser utilizadas, desde que com intervalos de submersão de até 90 dias, como

alternativa às malhas de cobre, indicadas para intervalos mais longos de submersão.

A utilização de anodos de zinco no presente estudo não se mostrou adequada, provavelmente devido ao reduzido tempo de submersão (180 dias). Entretanto, o anodo não interferiu na eficácia do cobre em manter suas propriedades anti-incrustantes, contrastando com estudos que evidenciaram que o uso de proteção catódica pode inibir a resistência do cobre à bioincrustação, uma vez que impede a liberação dos íons cuproso ( $\text{Cu}^+$ ) e cúprico ( $\text{Cu}^{+2}$ ) (Powell and Stillman, 2009). Recomendam-se estudos futuros de longa duração para que seja possível avaliar o efeito da utilização de anodos em malhas de cobre. Avaliações de curto prazo (menos de um ano) com cobre em água do mar podem ser enganosos para estimar a vida útil do material, sendo que somente dados sobre a taxa de corrosão em longo prazo podem fornecer projeções de tempo de vida útil para o metal (Drach et al., 2013).

A avaliação dos custos de cada material apontou que a malha de cobre tem um preço inicial de aquisição de quase o dobro da panagem de nylon multifilamento. Entretanto, a malha de liga de cobre é utilizável por mais de 20 anos e 100% reciclável (Dwyer and Stillman, 2009) compensando os custos iniciais investidos. A viabilidade econômica da utilização das malhas de cobre na piscicultura de trutas no Chile foi comprovada, baseada nos expressivos resultados de redução da mortalidade e na elevação do desempenho produtivo dos peixes (González et al., 2013).

A utilização de malha de liga de cobre em tanques-rede é uma prática promissora para reduzir as desvantagens causadas pelas panagens de nylon tradicionais (Dwyer and Stillman, 2009; Powell and Stillman, 2009; GONZÁLES *et al.*, 2013). Os fatores limitantes para a utilização desta nova tecnologia são o custo inicial dispendioso e as dificuldades na instalação pelo elevado peso inicial (Drach et al., 2016). Entretanto, observamos neste trabalho que após um mês de imersão a malha de nylon multifilamento apresentou elevação significativa no peso em relação à malha de cobre devido às bioincrustações aderidas, enquanto que a malha de cobre manteve-se na média do peso inicial durante os seis meses.

Considerando os benefícios aliados à inibição da bioincrustação como redução de gastos com limpeza e manutenção, melhora na saúde e qualidade

dos peixes, redução de insumos alimentares, prevenção da perda de peixes através de escapes e ataques de predadores (Moe et al., 2010; Gonzáles et al., 2013), além do fato do cobre ser 100% reciclável e proporcionar uma vida útil de mais de 20 anos (Dwyer and Stillman, 2009), o custo inicial elevado pode ser amortizado ao longo do ciclo produtivo do empreendimento (Ayer et al., 2016).

A utilização de íons de cobre vem sendo uma das grandes inovações na piscicultura marinha visando atenuar os custos envolvidos no controle das incrustações biológicas. Inovações como a incorporação de íons de cobre nos tubos PEAD dos flutuadores dos tanques-rede fazem parte deste novo momento da cadeia produtiva (Vucko et al., 2012). Desenvolver estratégias anti-incrustantes inovadoras que satisfaçam critérios ambientais e econômicos e que sejam eficazes contra o assentamento e o desenvolvimento da bioincrustação é imprescindível para o avanço e fortalecimento da cadeia produtiva da piscicultura marinha.

Os resultados deste estudo indicaram que a malha de cobre foi eficaz como agente anti-incrustante abrindo caminhos para futuras investigações que possam verificar os efeitos da liga de cobre sobre a fisiologia dos peixes de interesse para cultivo, bem como quantificar os impactos ambientais no ambiente de cultivo relacionados à utilização de tanques-rede com malha de cobre em clima tropical, indicando novas possibilidades para mitigar os problemas advindos da bioincrustação no campo da piscicultura marinha.

### **Conclusões**

A malha de cobre é mais eficiente do que as panagens de nylon na redução das incrustações biológicas.

A utilização de anodo de zinco não se mostrou necessária para a malha de cobre que permaneça submersa por até 180 dias.

Para períodos de submersão de até 90 dias, a panagem de monofilamento de nylon apresenta melhor relação de custo-benefício.

### **Referências**

Aldred, N. and Clare, A.S., 2014. Mini-review: Impact and dynamics of surface fouling by solitary and compound ascidians. *Biofouling* 30 (3), 259-270.

- Ayer, N., Martin, S., Dwyer, R.L., Gace, L., Laurin, L., 2016. Environmental performance of copper-alloy net-pens: Life cycle assessment of Atlantic salmon grow-out in copper-alloy and nylon net-pens. *Aquaculture* 453 (1), 93-103.
- Beveridge, M.C.M., 1996. *Cage aquaculture*, segunda ed. Oxford: Fishing News Book, p. 346
- Bloecher, N., Olsen, Y., Guenther, J., 2013. Variability of biofouling communities on fish cage nets: A 1-year field study at a Norwegian salmon farm. *Aquaculture* 416, 302-309.
- Braithwaite, R.A., McEvoy, L.A., 2004. Marine biofouling on fish farms and its remediation. *Adv. Mar. Biol.* 47, 215-252.
- Chambers, L.D., Stokes, K.R., Walsh, F.C., Wood, R.J.K., 2006. Modern Approaches to Marine Antifouling Coatings. *Surf. Coat. Technol.* 201, 3642-3652.
- Chambers, M., Bunker, J., Watson, I.I., Howell, W.H., 2012. Comparative growth and survival of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) cultured in copper and nylon net pens. *J. Aquac. Res. Development* 3 (5).
- Drach, A., Tsukrov, I., Decew, J., Aufrecht, J., Grohbauer, A., Hofmann, U., 2013. Field studies of corrosion behaviour of copper alloys in natural seawater. *Corrosion Sci.* 76, 453-464.
- Drach, A., Tsukrov, I., Decew, J., Celikkol, B., 2016. Engineering procedures for design and analysis of submersible fish cages with copper netting for exposed marine environment. *Aquac. Eng.* 70, 1-14.
- Durr, S., Watson, D.I., 2010. Biofouling and antifouling in aquaculture. *Biofouling* 267-287.
- Dwyer, R.L. and Stillman, H., 2009. Environmental performance of copper alloy mesh in marine fish farming. 1-18p.
- Edwards, C.D., Pawluk, K.A., Cross, S.F., 2015. The effectiveness of several commercial antifouling treatments at reducing biofouling on finfish aquaculture cages in British Columbia. *Aquac. Res.* 46 (9), 2225-2235.
- FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2012. *The State of the World Fisheries and Aquaculture*
- Fitridge, I., Dempster, T., Guenther, J., Nys, R., 2012. The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling* 28 (7), 649-669.

- González, E.P., Hurtado, C.F., Gace, L., Augsburger, A., 2013. Economic impacts of adopting copper alloy mesh in trout aquaculture: Chilean example. *Aquac. Econ. Manag.* 17 (1), 71-86.
- Greene, J., Grizzle, R.E., 2007. Successional development of fouling communities on open ocean aquaculture fish cages in the western Gulf of Maine, USA. *Aquaculture* 262, 289-301.
- Guenther, J., Fitridge, I., Misimi, E., 2011. Potential antifouling strategies for marine finfish aquaculture: the effects of physical and chemical treatments on the settlement and survival of the hydroid *Ectopleura larynx*. *Biofouling* 27 (9), 1033-1042.
- Guenther, J., Misimi, E., Sunde, L.M., 2010. The development of biofouling particularly the hydroid *Ectopleura larynx*, on commercial salmon cage nets in Mid-Nowway. *Aquaculture* 300, 120-127.
- Howes, S., Herbinger, C.M., Darnell, P., Vercaemer, B., 2007. Spatial and temporal patterns of recruitment of the tunicate *Ciona intestinalis* on a mussel farm in Nova Scotia, Canada. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 342, 85-92.
- Jackson, D., Drumm, A., McEvoy, S., Jensen, O., Mendiola, D., Gabina, G., Borg, J.A., Papageorgiou, N., Karakassis, Y., Black, K.D., 2015. A pan-European valuation of the extent, causes and cost of escape events from sea cage fish farming. *Aquaculture* 436, 21-26.
- Kalantzi, I., Zeri, C., Catsiki, V.A., Tsangaris, C., Strogyloudi, E., Kaberi, H., Tsapakis, M., 2016. Assessment of the use of copper alloy aquaculture nets: Potential impacts on the marine environment and on the farmed fish. *Aquaculture* 465, 209-222.
- Klebert, P., Lader, P., Gansel, L., Oppedal, F., 2013. Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Eng.* 58, 260-274.
- Lader, P., Dempster, T., Fredheim, A., Jensen, O., 2008. Current induced net deformations in full-scale sea-cages for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquac. Eng.* 38, 52-65.
- Lejars, M., Margailan, A., Bressy, C., 2012. Fouling release coatings: a nontoxic alternative to biocidal antifouling coatings. *Chem. Rev.* 112 (8), 4347-4390.

- Lopes, T.M., Barcarolli, I.F., Oliveira, C.B., Souza, M.M., Bianchinil, A., 2011. Effect of copper on ion content in isolated mantle cells of the marine clam *Mesodesma mactroides*. *Environ. Toxicol. Chem.* 30, 1582–1585.
- Madin, J., Chong, V.C., Basri, B., 2009. Development and short-term dynamics of macrofouling assemblages on fish-cage nettings in a tropical estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 83 (1), 19-29.
- Moe, H., Fredheim, A., Hopperstad, O.S., 2010. Structural analysis of aquaculture net cages in current. *J. Fluids Struct.* 26, 503–516.
- Moon, S.K., Kim, I.S., Hong, S.N., Jeong, B.Y., 2016. A Comparison of Food Components of Red Sea Bream (*Pagrus major*) Cultured in Copper Alloy (Brass) and Nylon Net Cages. *J. Agric. Life Sci.* 50 (1), 233-242.
- Noyce, J.O., Michels, H., Keevil, C.W., 2007. Inactivation of Influenza A Virus on Copper versus Stainless Steel Surfaces. *Appl. Environ. Microbiol.* 8, 2748–2750.
- Oppedal, F., Dempster, T., Stien, L.H., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behaviour in sea-cages: a review. *Aquaculture* 311 (1), 1-18.
- Powell, C. and Stillman, H., 2009. Corrosion Behaviour of Copper Alloys Used in Marine Aquaculture. International Copper Association, Ltd., New York, 1-3p.
- Rousseau, C., Baraud, F., Leleyter, L., Gil, O., 2009. Cathodic protection by zinc sacrificial anodes: Impact on marine sediment metallic contamination. *J. Hazard. Mater.* 167 (1), 953-958.
- Sanches, E.G., Neto, J.S., Liberatil, L., Costa, M.R., 2007a. Eficiência da escovação no controle das incrustações biológicas em tanques-rede. *Arq. Cienc. Mar* 40 (2), 37-41.
- Sanches, E.G., Von Seckendorff, R.W., Bastos, G.C.C., 2007b. Eficiência de panagens de monofilamentos de nylon na redução das incrustações biológicas em tanques-redes. *Bioikos* 21 (1), 33-44.
- Shainee, M., Ellingsen, H., Leira, B.J., Fredheim, A., 2013. Design theory in offshore fish cage designing. *Aquaculture* 392, 134-141.
- Shehadeh, M., Hassan, I., 2013. Study of sacrificial cathodic protection on marine structures in sea and fresh water in relation to flow conditions. *Ships and Offshore Structures* 8 (1), 102-110.
- Underwood, A.J. and Anderson, M.J., 1994. Seasonal and temporal aspects of recruitment and succession in an intertidal estuarine fouling assemblage.

Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 74. 553–584.

Vucko, M.J., King, P.C., Poole, A.J., Carl, C., Jahedi, M.Z., De Nys, R., 2012. Cold spray metal embedment: an innovative antifouling technology. *Biofouling* 28 (3), 239-248.

Yigit, M., Celikkol, B., Bulut, M., Dwyer, R., Decew, J., Ozalp, B., Yildiz, H., 2016. Monitoring of trace metals, biochemical composition and growth of Axillary seabream (*Pagellus acarne* Risso, 1827) in offshore Copper alloy net cage. *Mediterr. Mar. Sci.* 17 (2), 396-403.

Wallinder, I.O., Zhang, X., Goidanich, S., Le Bozec, N., Herting, G., Leygraf, C., 2014. Corrosion and runoff rates of Cu and three Cu-alloys in marine environments with increasing chloride deposition rate. *Sci. Total Environ.* 472, 681-694.

Willemsen, P., 2005. Biofouling in European aquaculture: is there an easy solution. *European Aquaculture Society Special Publication* 35, 82-87.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de malha de cobre para controlar o acúmulo de organismos incrustantes nas estruturas de cultivo instaladas no mar. A bioincrustação é um dos principais problemas que afetam a rentabilidade do cultivo.

O resultado apresentado demonstrou que o objetivo foi alcançado, a malha de cobre foi eficaz mesmo em clima tropical onde a bioincrustação é mais intensa.

Futuros estudos deveriam abordar a utilização de tanques-rede com malha de cobre verificando o acúmulo de cobre nos substratos do ambiente de cultivo e a bioacumulação nas espécies que habitam no entorno do cultivo bem como nas espécies de peixes de interesse para cultivo.

Chegamos à conclusão também de que a malha de nylon monofilamento, em relação à redução da bioincrustação, apresenta benefícios para ser utilizada substituindo a tradicional malha de nylon multifilamento. E o anodo de zinco não se faz necessário a utilização para proteger a malha de cobre que permaneça por até 180 dias submersos.

Os resultados encontrados podem contribuir para o desenvolvimento do agronegócio do pescado marinho no Brasil. Esperamos que em um futuro breve a piscicultura marinha se torne uma realidade no nosso país, garantindo a sustentabilidade, a disponibilidade e a qualidade dos recursos pesqueiros.