



TÉCNICO
LISBOA

**A Aquacultura e os Materiais
do Passado ao Presente**

Abílio Manuel Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Materiais

Orientador: Prof. João Carlos Moura Bordado

Júri

Presidente: Prof. José Paulo Sequeira Farinha

Orientador: Prof. João Carlos Moura Bordado

Vogal: Prof. João Carlos Salvador Santos Fernandes

janeiro 2021

À minha esposa,

Méquita

pelo incentivo e disponibilidade sempre demonstrados; amor e
companheirismo de uma vida.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. João Moura Bordado, pela sua insistência e incentivo.

À Prof. Dr^a. Maria Teresa Dinis, com seus ensinamentos e amizade, despertou o meu interesse pela Aquacultura, o meu reconhecimento e agradecimento.

Ao Prof. Dr. Pedro Pousão Ferreira e à sua equipa, pela sua disponibilidade e pelo muito que aprendi no contacto com a Estação de Aquacultura de Olhão.

Abstract

A journey into the past of aquaculture, to its deep roots, gives us an understanding of the present and a conscious vision of the future.

The history of aquaculture, recently with references to the Neolithic, shows a long way, not always very different from what are the current solutions, safeguarding the proper proportions.

Knowledge of the equipment used in aquaculture shows the existing solutions and gaps.

During the past century, advances in the area of Synthesis Chemistry and the reliability of the produced Metal Alloys, knowledge of the properties and prediction of in-service behaviour of the materials, allowed important advances in the construction of safe equipment for various purposes in general and Aquaculture in particular.

The materials identified in all areas of aquaculture systems are associated with the purpose of the solutions and open perspectives of the identification of new materials to be used in the future.

The study of a real case in aquaculture shows the need for the careful choice of materials to be used in each situation.

Keywords:

Materials, aquaculture, polymers, cables, nets, cages

Resumo

Uma viagem ao passado da aquacultura, às suas raízes profundas, dá-nos a compreensão do presente e uma visão consciente do futuro.

A história da aquacultura, recentemente com referências ao neolítico, mostra um longo caminho, nem sempre muito diferente do que são as soluções atuais, salvaguardando as devidas proporções.

O conhecimento dos equipamentos utilizados em aquacultura mostra as soluções e as lacunas existentes.

Durante o século passado os avanços na área da Química de Síntese e da fiabilidade das Ligas Metálicas produzidos, o conhecimento das propriedades e previsão de comportamento em serviço dos materiais, permitiu avanços importantes na construção de equipamentos seguros para diversos fins em geral e Aquacultura em particular.

Os materiais identificados em todas as áreas dos sistemas aquícolas, estão associados à finalidade das soluções e abrem perspectivas da identificação de novos materiais a serem utilizados no futuro em sensores e um importante crescimento da automação, monitorização dos equipamentos e segurança biológica nos equipamentos e instalações.

O estudo de um caso real em aquacultura, constante nesta tese mostra a necessidade da escolha criteriosa dos materiais a utilizar em cada situação.

Palavras-chave:

Materiais, aquacultura, polímeros, cabos, redes, jaulas.

Índice

Agradecimentos.....	III
Abstract.....	IV
Resumo	V
Índice	VI
Lista de Figuras.....	IX
Lista de Tabelas	XII
Nomenclatura.....	XII
1. Introdução.....	1
2. Estado da Arte	2
2.1 Aquacultura – Jaulas e outros dispositivos- Definição	3
Na Ásia e África	4
Na Europa.....	7
Aquacultura pré-moderna – século XIX.....	8
Aquacultura moderna – século XX - XXI	9
Aquacultura RAS – Aquacultura em Sistema de Recirculação	13
Aquacultura em Nearshore e Offshore	14
O Conceito Multi-Usos.....	17
Aquacultura multitrófica integrada (IMTA).....	18
2.2 Aquacultura - Redes.....	18
3. Equipamentos de Aquacultura Offshore	20
3.1 Jaula - estrutura + rede (sistema de contenção).....	22
Unidades de Reprodução	22
Unidades de Crescimento e Engorda	23
3.1.1. As Jaulas	24
Jaulas Flutuantes ou de Superfície	25
Novos tipos de jaulas de superfície (para grande produção).....	26
Jaulas Semi-submersíveis e Submersíveis	27
3.1.2. As Redes	32
3.2 Sistema de amarração	34

3.3	Sistema de alimentação	35
	Sistemas de Alimentação Manuais e Semiautomáticos	35
	Sistemas de Alimentação Automáticos	36
3.4	Sistema de Limpeza de biofouling	37
	Limpeza de biofouling - Manuais	38
	Limpeza de biofouling - Semiautomáticos	38
	Robotizadas	38
3.5	Sistema de captura	39
3.6	Sistema de controlo	39
3.7	Embarcações	41
4.	<i>Materiais utilizados nos equipamentos de Aquacultura</i>	42
4.1.	Aprestamentos (Redes, fios e cabos)	44
	Nylon – PA-Poliamida	45
	Nylon 66 ou 6,6	48
	Nylon 11	48
	Poliéster	51
	PP - Polipropileno	52
	Polysteel - Fios metálicos de aço e cobre	52
	PE - Polietileno	53
	HDPE - Polietileno de alta densidade	55
	HPPE - Dyneema® - Polietileno de alta performance	56
	Degradação de polímeros	58
4.2.	O Material das Estruturas	58
	Componentes de jaulas flutuantes.....	59
	O Biofouling	62
	Proteção Anti UV	64
	Redes predadoras.....	65
	Redes de pássaros	65
	Redes de tubarão	66
4.3.	O Material das Amarrações e outros Apetrechos	66
	Amarrações	66
	Outros Apetrechos	68
4.4.	O Material dos Barcos de Apoio	69
	Barças em aço	69
	Barcos em alumínio	70

Barcos em fibra de vidro	72
5. Conclusões.....	73
6. Visão futura.....	75
7. Referências Bibliográficas	77
8. ANEXOS	81
❖ Anexo 1 – Caso Study.....	81
Situação da jaula pós estadia no mar	83
O presente estudo visa esclarecer a fratura do tirante	85
Conclusões do Case Study	88
❖ Anexo 1.1 – DRX – Incrustações Tubo.....	89
❖ Anexo 1.2 – DRX – Cobre.....	91
❖ Anexo 1.3 - SEM – EDS – Lado 1	92
❖ Anexo 1.4 - SEM – EDS – Lado 2	94
❖ Anexo 1.5 - SEM – EDS – Porca	95

Lista de Figuras

Fig. 1 – Altura das ondas no mar de Peniche	1
Fig. 2 - Percentagem da altura significativa das ondas	1
Fig. 3 – Mapa de extensão da plataforma continental	1
Fig. 4 – Explorações de campos aquáticos /arrozais	5
Fig. 5 - Imperador Lee Shimin (599-649 d.C. da Dinastia Tang),	5
Fig. 6 – Jaulas em bambu.....	6
Fig. 7 - Imagem histórica de um recinto agrícola para aquicultura.....	7
Fig. 8 – Jaula submersível francesa	11
Fig. 9 – Jaula submersível URSS	11
Fig. 10 - Estatística da produção mundial de pescado.....	12
Fig. 11 – Esquemas de instalações RAS	14
Fig. 12 – Antiga gaiola nearshore e captura do pescado	15
Fig. 13 - The Move is Offshore	16
Fig. 14 – Comparação da Intensidade dos Sistemas de Produção	17
Fig. 15 – Combinação de produção Aquicultura – Energia	17
Fig. 16 - Diagrama conceptual de uma IMTA - aquicultura multitrófica integrada	18
Fig. 17 – Modelo concetual de IMTA	18
Fig. 18 - Biofouling na gaiola Sea Station 3000 na zona APPA	21
Fig. 19 – Projeto Mermaid – Conclusões	22
Fig. 20 – Maternidade (tanques de fibra).....	23
Fig. 21 – Tanques de pré-engorda e engorda	23
Fig. 22 – Tanques de terra	23
Fig. 23 – Jaulas flutuantes.....	23
Fig. 24 – Jaula submersível	24
Fig. 25 – Jangadas para criação de bivalves	24
Fig. 26 – Bóias de Longlines para criação de bivalves.....	24
Fig. 27 – Unidade de produção de ostras em zona intermarés no rio Sado	24
Fig. 28 – Jaulas de superfície, em localização costeira ou nearshore.....	26
Fig. 29 – Jaula Offshore de superfície, em mar não longe da costa (máx. 8 km).....	27
Fig. 30 - Uma plataforma flutuante para piscicultura.....	27
Fig. 31 – Campo de Lanternas de Vieiras gigantes	28
Fig. 32 – Long lines de Mexilhão	28
Fig. 33 - Projeto Offshore de produção de salmão em Portugal	28
Fig. 34 - Jaulas Offshore submersíveis	29
Fig. 35 - Jaula Sadco-Shelf numa posição submersa.....	29
Fig. 36 – Jaula SADKO-SG imersa e submersa	30

Fig. 37 – Simplificação da submersão dum gaiola OCEANIS	30
Fig. 38 – Simplificação e real gaiola AQUAPOD	31
Fig. 39 – Jaula OceanSpar	31
Fig. 40 – Fases dum sistema submersível de aquacultura REFAMED.....	32
Fig. 41 – Rede com nós	33
Fig. 42 – Rede de malha quadrada sem nós.....	33
Fig. 43 – Malha hexagonal sem nós	34
Fig. 44 - Sistema de linhas de amarração num módulo de seis jaulas	35
Fig. 45 – Barcaça para alimentação e captura	35
Fig. 46 – Alimentação de peixe por canhão de água	36
Fig. 47 - Dispositivo usado para a administrar manualmente a ração a uma jaula offshore.....	36
Fig. 48 - Canhão de alimentação conectado à bomba de água do barco.	36
Fig. 49 – Barcaças com stock de ração,	37
Fig. 50 – Sistema de alimentação automática.....	37
Fig. 51 - Incrustações em infraestruturas de aquicultura	37
Fig. 52 – Método manual de limpeza de fouling	38
Fig. 53 –Limpeza de fouling in situ	38
Fig. 54 – Sequência de Limpeza Automática AKVA de Rede.....	38
Fig. 55 – Fases dum esquema de confinamento do peixe para captura	39
Fig. 56 - Pesca de peixes de uma gaiola flutuante.....	39
Fig. 57 – Esquema de sistema integrado de software – controlo à distância – sensores; camara de vídeo	40
Fig. 58 – Sistema integrado de software – controlo - sensores	40
Fig. 59 – Fibra ótica integrada no fabrico de materiais compósitos	40
Fig. 60 - Embarcação “Puntazzo” usada pelo IPIMAR para operar as jaulas Sea Station	42
Fig. 61 – Embarcações para aquacultura.....	42
Fig. 62 – Fios entrançados de vários materiais: a - Nylon b – Dyneema® c – Poliéster	44
Fig. 63 - Estrutura química típica da Poliamida	45
Fig. 64 - Esquema de absorção de água pelas poliamidas	46
Fig. 65 - Absorção de água (%) de diferentes poliamidas	46
Fig. 66 - Reação de hidrólise das poliamidas.....	47
Fig. 67 - Rompimento das ligações de hidrogénio entre cadeias	47
Fig. 68 – Estrutura molecular primária da fibroína.....	48
Fig. 69 – Estrutura molecular do Nylon 6,6	48
Fig. 70 - Síntese da PA-11 a partir do ácido ω -aminoundecanóico	49
Fig. 71 - Influência da massa molecular nas propriedades mecânicas da poliamida 11 tensão admissível	50
Fig. 72 – Formação de Poliester	51
Fig. 73 – Estrutura molecular de Poliéster	51
Fig. 74 – a) Cabo em catenária ; b) Cabo em taut-leg.....	52

Fig. 75 – Estrutura molecular do Polietileno (HDPE e HPPE)	53
Fig. 76 - Morfologia de um polímero semi-cristalino	53
Fig. 77 – Ilustração esquemática da estrutura de polietilenos	54
Fig. 78 - Representação da estrutura de um esferólito	54
Fig. 79 - Representações esquemáticas da estrutura do HDPE.....	55
Fig. 80 – Fibra de Dyneema®.....	56
Fig. 81 – Montagem de aro de gaiola em terra	58
Fig. 82 – Componentes de jaulas flutuantes	59
Fig. 83 – Tubos em HDPE utilizados em jaulas de aquacultura	59
Fig. 84 – Tubos e enchimentos de poliestireno expandido.....	60
Fig. 85 – Suportes do anel superior de jaulas flutuantes.....	60
Fig. 86 – Suportes para jaulas flutuantes, 100% em HDPE	60
Fig. 87 – Bujões em tubos de jaulas de aquacultura	60
Fig. 88 – Redes de jaulas.....	61
Fig. 89 – Jaula com rede de cobre	61
Fig. 90 – Rede imersa num tanque com antifouling	64
Fig. 91 – Jaulas protegidas com rede de pássaros	65
Fig. 92 - Projeto avançado de uma rede de tubarões.....	66
Fig. 93 – Esquema de amarração de ponto	67
Fig. 94 – Manilha tipo arco com parafuso	67
Fig. 95 – Placa de Amarração com furos para Manilhas.....	68
Fig. 96 - Barcaça AKVA para aquacultura	69
Fig. 97 – Barco em aço para apoio à aquacultura.....	69
Fig. 98 – Barco em alumínio para aquacultura.....	71
Fig. 99 - Envoltentes do sistema de aquacultura em Mar Aberto	74
Fig. 100 – Jaula semi-submersível do projeto Cage4PtSea	81
Fig. 101 – Esquema do tirante	82
Fig. 102 – Tirantes da base em vários ângulos antes da estadia no mar.....	82
Fig. 103 - Jaula quando saiu do mar após uma estadia de 6 meses.....	83
Fig. 104 – Laço de ligação do tirante à estrutura da gaiola.....	83
Fig. 105 – Esticadores na zona inferior pós estadia no mar durante 6 meses	84
Fig. 106 - Esticadores na zona superior pós estadia no mar durante 6 meses	84
Fig. 107 – Tirantes incompletos	85
Fig. 108 – Fratura do tirante	85
Fig. 109 – Fratura do tensor.....	86
Fig. 110 – Análise da zona 1.....	87
Fig. 111 – Pormenor da soldadura do cabo – Cobre.....	88
Fig. 112 - Corpo Central do tensor	88

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros e fatores	22
Tabela 2 - Classificação dos tipos de jaulas, vantagens, desvantagens e fabricantes	24
Tabela 3 - Classificação do local proposta pela FAO em 2009.....	25
Tabela 4 - Fibras têxteis, densidade e fator de multiplicação para calcular o peso na água.....	45
Tabela 5 – Monómeros dos Nylon 66 e 11	49
Tabela 6 - Principais propriedades das poliamidas 6,6 e 11	50
Tabela 7 – Propriedades do HDPE.....	56
Tabela 8 – Propriedades Mecânicas do HDPE e HPPE	57
Tabela 9 – Características químicas e físicas de fibras sintéticas	57
Tabela 10 - Composição da água do mar.....	58
Tabela 11 – Componentes do Sistema de Amarração.....	67
Tabela 12 – Composição Química (%) de Ligas de Al	70
Tabela 13 – Propriedades Mecânicas de Ligas de Al	71

Nomenclatura

BV – Bureau Veritas

DNV – Det Norsk Veritas

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

HMPE - polietileno de alto módulo ou altíssimo peso molecular

HPPE - Polietileno de alto desempenho

IMTA - Aquacultura multitrófica integrada

LRS – Loyds Register of Shipping

MRS – resistência mínima exigida

Ny - Nylon

PA - Poliamida

PE - Polietileno

PEAD ou HDPE - Polietileno de alta densidade

PP - Polipropileno

PU – Poliuretano

SWL – cargas de trabalho seguras

Tg – Temperatura de transição vítrea

UHMWPE ou UHMW - Polietileno de altíssimo peso molecular

UV – raios Ultravioletas

ZEE – Zona Económica Exclusiva

1. Introdução

Portugal sempre teve o Mar como companheiro inseparável, muito do que hoje somos e seremos está ligado indissolivelmente ao Mar.

As principais dificuldades da aquacultura nacional estão associadas à dureza do mar, bem conhecida de todos os portugueses, a exposição direta às intempéries, numa costa praticamente sem refúgios naturais. As boias multiparamétricas do mar de Peniche, evidenciam as dificuldades do mar nessa região (Fig.1) e apontam para dificuldades de implantação e acesso às jaulas, uma vez que a ondulação significativa (Fig.2) dificulta as inspeções do equipamento e operações de alimentação dos peixes e outras.

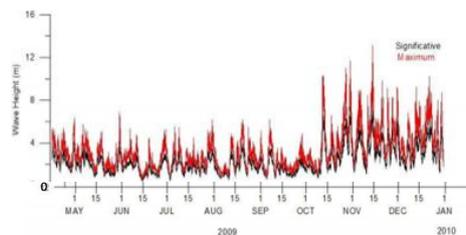


Fig. 1 – Altura das ondas no mar de Peniche

Fonte: Boias multiparamétricas localizadas entre Peniche e a Nazaré

■ $h \leq 2$ ■ $2 < h \leq 3$ ■ $3 < h \leq 4$ ■ $h > 4$

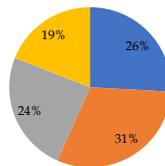


Fig. 2 - Percentagem da altura significativa das ondas

(desde 2011 até julho de 2013 no mar de Peniche)

Fonte: Boias multiparamétricas localizadas entre Peniche e a Nazaré

Por outro lado, a ZEE (Fig.3) é extensa e a plataforma continental, várias vezes a área do Continente e ilhas; tal situação torna inevitável o estudo das condições e tecnologias que permitam a exploração desse amplo território nacional, cheio de potencialidades. A extensão da nossa plataforma é um convite irrecusável. Ela não apresenta as mesmas características de ondulação vento e temperatura em toda a sua extensão, oferecendo múltiplas oportunidades e requerendo soluções tecnológicas adequadas a cada local e atividade prevista.

O conceito da utilização de plataformas autónomas multiusos, adapta-se a esta estratégia, assim como a ida da aquacultura para offshore.

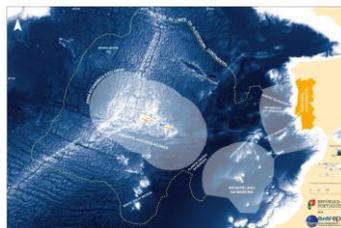


Fig. 3 – Mapa de extensão da plataforma continental

Fonte: Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental

https://docs.wixstatic.com/ugd/f3d47f_4622f20d04834af581ccfa1138f4cae0.pdf

Terão assim de serem desenvolvidos equipamentos e competências para esse objetivo, sendo

inevitável que se associem em plataformas multiuso, atividades como: aquacultura, energia, oceanografia, exploração de minérios, de entre outras.

Para dar realidade a esse objetivo, têm vindo a ser desenvolvidos conceitos de equipamentos de aquacultura de grande autonomia, com espécies adaptadas, utilizando novos materiais, soluções de automação e design, de forma a conferirem segurança e atratividade ao setor.

Estudam-se equipamentos inteligentes que, em função das condições do mar, manobram autonomamente, de forma a escolher o local e a coluna de água onde as tensões resultantes de ventos, correntes e ondas, os choques das ondas com a estrutura, não ponham em causa a segurança do equipamento e o bem-estar do peixe estabulado; em suma, soluções associadas ao desenvolvimento de jaulas inteligentes, gerindo autonomamente grande parte das manobras e tarefas de rotina.

Surge então, com uma maior abrangência, o conceito de “Plataforma Autónoma Multiusos”, em que se tem o desenvolvimento de um equipamento autónomo com disponibilidade energética para movimentar válvulas de admissão de água e de ar comprimido, disponível na plataforma, para:

- manutenção das jaulas;
- manobrar e fornecer doses de alimento ensilado;
- produção de energia renovável (por ex. eólica, fotovoltaica, ondas, H2);
- movimentação das jaulas.

aumentando dessa forma, o rendimento de utilização de um mesmo espaço marinho.

A sincronia de utilização dos muitos equipamentos que formam este sistema, ou até mesmo cada um per si, baseia-se em sofisticados sistemas de controlo, também eles alicerçados em novas técnicas e materiais.

2. Estado da Arte

O desenvolvimento histórico dos materiais utilizados em aquacultura, está intimamente ligado à sua disponibilidade na natureza e o domínio do conhecimento que permita a sua utilização para uma dada finalidade, sendo evidente que a alimentação humana constituía a sua principal preocupação, parecendo-nos por isso natural que, essa possa ser a linha condutora da abordagem do estado da arte.

Apesar da crescente importância da aquacultura nos nossos dias, na alimentação humana, nas economias e dietas em todo o mundo, as suas origens permanecem pouco claras, talvez um pouco menos agora, permitindo a sua ligação aos materiais usados nos equipamentos recolhidos em vários locais, contribuindo assim, para a compreensão do papel destes, da pré-história aos nossos dias.

As artes e os utensílios de pesca de que se dispõe atualmente - como por exemplo, as redes, linhas, anzóis, arpões, flutuadores, pesos, etc. - podem ser detetados ao longo da história do homem, desde há cerca de 10 mil anos aC, alguns deles até muito anteriores, perlongando-se a sua utilização até aos dias de hoje; o mesmo acontecendo com a aquacultura, a partir do mesolítico, atividade menos

conhecida, e que hoje se começa a esclarecer.

De épocas mais recuadas (paleolítico), há figuras rupestres datadas de há 25 000 anos atrás, representando peixes e cenas de pesca, assim como evidências da atividade recolectora nos rios e entremarés, testemunhadas por exemplo, nos concheiros de Muge e da Serra da Arrábida, entre outros.

A Alimentação Humana

Faz aproximadamente 11 000 anos (Neolítico), o gelo formado na última grande glaciação começou a retirar-se rumo ao norte, a um ritmo de 50 metros por ano. Nessa direção também, iam os animais e, atrás deles, o Homem, pois dependia destes seres para a obtenção das indispensáveis proteínas.

Naqueles remotos tempos, os seres humanos conseguiam o seu alimento mediante duas únicas formas: caça e recolção. A caça de animais selvagens era praticada exclusivamente pelos homens das tribos e, a recolção de frutos e plantas silvestres, pelas mulheres e crianças. Os concheiros, evidenciam uma atividade recolectora intensa entremarés; nos períodos estivais, quando era possível acamparem junto da água tirando proveito também dos peixes.

Mas naquela época, bem no ponto onde se unem África, Ásia e Europa (extremo oriental do Mediterrâneo), aconteceu uma pequena modificação no comportamento alimentar dos nossos ancestrais, que viria alterar todo o curso do progresso da Humanidade. Esta mudança de comportamento era, na verdade, simples, mas o seu impacto viria a ser enorme. Hoje, muita gente não lhe dá grande importância, apenas a chamam de agricultura.

A agricultura nasceu com o cultivo do trigo e da cevada silvestres, que são plantas nativas da região do Médio Oriente. Na mesma época, no continente americano, o Homem descobriu que o milho dava para ser cultivado, e, na Ásia nascia também o cultivo do arroz. O que o Homem fez, na verdade, foi iniciar um processo de desenvolvimento importantíssimo, chamado de domesticação. A domesticação consiste na transferência de organismos do seu meio ambiente natural para um ambiente de cultivo ou de cativeiro, e no isolamento reprodutivo das populações selvagens de plantas e animais. Quando o homem pré-histórico se apercebeu que as plantas podiam ser cultivadas, passaram também a domesticar animais. Primeiro foi o cão, a cabra e a ovelha, e depois, o boi e o porco. Tão afortunados foram estes cultivos e criações, em finais da Idade da Pedra que, ainda hoje, as plantas e animais que então foram domesticados, continuam sendo as mais importantes fontes de alimentos, em todas as operações agropecuárias em grande escala. No território que hoje é Portugal, há cerca de 17 500 anos, no início do neolítico, comunidades agrícolas vindas da Mesopotâmia instalaram comunidades agrícolas no ribatejo: rio Soraia e Tejo.

A domesticação de animais marinhos não será exceção, assim nascendo mais tarde a aquacultura.

2.1 Aquacultura – Jaulas e outros dispositivos- Definição

A designação aquacultura foi definida em 1990 pela FAO como "o cultivo de organismos aquáticos incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas" (BARG, 1992).

A aquacultura é uma atividade económica que abrange todas as atividades que têm como objetivo a produção controlada, transformação e comercialização de organismos aquáticos, plantas ou animais, de água doce, salobra ou salgada (Rocha e Dinis – 2019). Esta atividade é, contudo, bastante antiga, tendo-se iniciado, provavelmente, em simultâneo com a agricultura e a pecuária (PILLAY, 1990)

As origens da aquacultura podem ser encontradas em tempos muito recuados:

- **Aquacultura de água doce** - surgiu há pelo menos 3 000 anos na Ásia Oriental e no Médio Oriente. A carpa em particular tornou-se uma fonte de alimento local, muito importante para a China, que se desenvolveu significativamente nos séculos XVIII e XIX (Li, 1997).
- **Aquacultura de água salgada em terra** - vai muito longe no tempo e parece ter surgido independentemente em várias regiões. Cidades romanas confinaram lagoas para crescimento de peixes de água salgada e bivalves, pelo menos dois milénios atrás (McCann, 2003).

A cultura polinésia das Ilhas Havaianas desenvolveu extensas lagoas costeiras para aquacultura, séculos antes da chegada dos europeus (Ziegler, 2002).

- **Aquacultura marítima Costeira** - Quanto à aquacultura costeira, a mais antiga forma de cultivo, é provavelmente a ostreicultura, e tanto os Romanos como os Japoneses e os Gregos acreditam ser os mais antigos ostreicultores. Aristóteles refere a existência do cultivo de ostras na Grécia, Plínio refere o mesmo para Roma e os Japoneses afirmam cultivar ostras desde há 2 000 anos.

O cultivo de outros moluscos, como o mexilhão e as amêijoas, seguindo métodos semelhantes ao da ostreicultura, desenvolveram-se muito mais tarde (Nash, 2010, Stickney e Treece, 2012).

A história longínqua da aquacultura, como a de qualquer outro setor, vai-se fazendo à medida que as descobertas arqueológicas vão avançando, em 2019, com a participação do Instituto Marx Planck, foi possível encontrar, um dos primeiros vestígios duma estação de aquacultura em que certamente o homem participou.

Na Ásia e África

Um estudo recente, de uma equipe internacional de cientistas, que estudou um sítio neolítico em Henan, na China, encontrou evidências biológicas de espinhas de carpa entre 6200 aC e 5700 aC, semelhante às documentadas num local da Idade do Ferro em Asahi no Japão (por volta de 400 aC-100 dC) e é indicativa de um sistema de aquacultura (Nakagima et al, 2019).

Anteriormente, os chineses já utilizavam as macroalgas marinhas como fonte de alimento. Certos documentos históricos parecem sugerir que os chineses, de certa forma, cultivavam estas macroalgas em estruturas submersas na água, confeccionadas com varas de bambu. Foram as macroalgas então, os primeiros organismos aquáticos a serem cultivados pelo Homem.

Na China, o desenvolvimento da aquacultura extensiva, deu-se a partir do momento em que as populações se tornaram sedentárias e começaram a aproveitar os recursos hídricos das culturas de arroz (Fig.4) para a cultura da carpa comum.



Fig. 4 – Explorações de campos aquáticos /arrozais

Fonte: National Geographic

Em 475 aC, na China, Fan Li, um alto funcionário do Reino de Yue, escreveu o primeiro documento que se conhece sobre aquacultura, um livro intitulado “Tratado de Fan Li” que é considerado, a mais antiga monografia de cultivo de peixes, apesar do texto ser um pouco fantasiado.

É o primeiro texto que descreve a estrutura de tanques, o método de propagação da carpa e o crescimento de juvenis (Stickney, 2009; Stickney e Treece, 2012).

Este homem, era um hábil político e comerciante que, convencido de que piscicultura era uma atividade capaz de gerar riquezas e melhorar a vida da população, influenciou o Rei de Yue a construir numerosos viveiros de forma a trazer prosperidade para esta região.

No seu tratado, Fan Li recomendava a carpa comum como a espécie ideal para ser criada, uma vez que ela não praticava canibalismo, crescia facilmente e o seu valor comercial era elevado. O autor também redigiu informações sobre a reprodução dessa espécie, construção de viveiros, controlo de predadores e desbaste populacional (Fig.5).

Apesar deste livro não ter sobrevivido até aos nossos dias, as informações nele contidas foram reunidas na obra “As Importantes Técnicas Adquiridas pelo Povo do Reinado de Qi”, escrito por Jia Si-Xie da Dinastia dos Wei e constitui um marco no desenvolvimento da piscicultura (Landau, 1992).

Em “Os alimentos sazonais de WEI Wuwang”, “Foi feita uma geleia a partir da carpa de escamas amarelas e vermelhas na barbatana caudal que veio do campo de arroz...”



Fig. 5 - Imperador Lee Shimin (599-649 d.C. da Dinastia Tang),

também conhecido como Imperador Taizong e produção de peixes em policultura

Fonte: <https://www.epochs.com.br/taizong-da-dinastia-tang-o-mais-reverenciado-imperador-na-china/>

O período de 500 aC a 500 dC foi a idade de ouro do cultivo da carpa na China, cultivo esse que se disseminou pelos países vizinhos. É também neste período, cerca de 300 a.C., que na Índia foi descrito o uso de reservatórios para manutenção de peixes (Stickney e Treece, 2012).

Em “Curiosidades da região de Lingbiao” – “A água da fonte foi armazenada nos campos, em seguida, comprou-se carpa capim e puseram-se nos campos. Depois de um ou dois anos, o peixe já tinha crescido e comiam as ervas selvagens, entretanto, os arrozais também foram fertilizados pelos excrementos do peixe”. Devido ao facto de um dos imperadores da dinastia Tang (618 – 906 dC) ter como nome de família Lee, palavra semelhante à que designa carpa comum, tornou-se uma ofensa

religiosa comer estes peixes, pelo que, foi emitido um decreto imperial proibindo qualquer tipo de atividades relacionadas com esta espécie. Este decreto, em vez de representar um constrangimento para o desenvolvimento da aquacultura, constituiu um promotor do desenvolvimento de metodologias para cultivo de outras espécies, designadas atualmente por carpas chinesas, que ainda hoje fazem parte da policultura tradicional na China. Seja esta história verdadeira ou não, é um facto que os métodos desenvolvidos para separar as larvas das diferentes espécies, deram origem ao sistema de policultura da carpa que se espalhou pelo Japão e Coreia há cerca de 1700 anos (Rocha e Dinis, 2019). “Na zona sul das regiões de Huiji e Zhuji na Província de Zheijiang muitas pessoas trabalhavam como produtores de peixes. No início da primavera compravam juvenis e punham-nos em lagos...”. Com o passar do tempo, estes conhecimentos foram difundidos para outras regiões asiáticas, sendo aproveitadas pelas suas populações para a produção de novas espécies e desenvolvimento de novas técnicas. Um exemplo, é o uso no Camboja de jaulas de bambu imersas em água corrente (Fig.6), técnica que seria precursora das atuais jaulas flutuantes.



Fig. 6 – Jaulas em bambu

Fonte: <https://pt.dreamstime.com/cabana-de-bambu-constru%C3%ADda-no-meio-do-lago-image107478642>

Apesar de terem sido os emigrantes chineses os responsáveis pelo desenvolvimento da produção aquícola no Sudeste Asiático, na Índia, a carpa era também cultivada desde o sec. XI dC e na Indochina o cultivo em jaulas já era praticado, provavelmente para a manutenção de espécies vivas, antes da sua comercialização, ou mesmo, na engorda de juvenis até ao tamanho comercializável. No período da Dinastia Ming (1368 - 1644 dC), na China, todo o processo de cultivo da carpa foi descrito detalhadamente, incluindo a aplicação de fertilizantes nos tanques e o controlo de doenças. É também neste período que as primeiras leis protetoras dos piscicultores, contra o roubo, foram publicadas (Beveridge e Little, 2002; Stickney e Treece, 2012).

No continente africano, um baixo-relevo egípcio remontando a 2500 aC, encontrado no túmulo de Akti Hetep, mostra o que se supõe serem homens, capturando ciclídeos (aparentemente tilápias) de um tanque (Beveridge e Little, 2002; Stickney e Treece, 2012).

O mais antigo registo de cultivos em água salobra parece ser o da ilha de Java, no início do século XV d.C., na orla costeira. O desenvolvimento deste tipo de produção foi fulgurante, no século XVIII já existiam cerca de 32 000 hectares de tanques na orla costeira da Indonésia (Pillay e Kutty, 2005)

O sistema muitas vezes dependia de recolher e transferir peixe ou bivalves jovens, para um ambiente artificial de crescimento e onde podiam ser capturados consoante as necessidades.

Numa primeira fase, como constatamos, a aquacultura baseava-se na captura de juvenis encaminhados para lagunas onde cresciam num contexto que hoje caracterizamos como cultura extensiva, alimentando-se do eco sistema. A área era limitada por cercas de bambu (no Camboja),

mais tarde, jaulas de bambu (percursoras das jaulas atuais de superfície), ramos, caules e outros arbustos existentes, areão argiloso, pedras, etc.

A construção de Barragens e Armadilhas costeiras e em braços de rios evidencia que o objetivo da pesca passa da captura de exemplares isolados para grupos de peixes – mudança de paradigma. Tal facto impõe mudanças tecnológicas no processo de captura, passando do anzol, flecha e lança no leito de rios e orlas costeiras, para pequenos muros de pedras agrupadas, limitando a movimentação dos peixes, constrangidos pelas marés ou variações de caudais de rio em lagunas e naturalmente, também em cavidades de rochas, por forma a permitir a sua recolha manual ou com cestos.

A construção de paliçadas envolventes cada vez melhor cuidadas e tecnicamente mais consistentes, das quais derivaram armadilhas simples e seguras e em conjunto com as primitivas redes, poderá ter sido o caminho da aquacultura. O homem foi descobrindo na natureza os materiais com os quais foi desenvolvendo os equipamentos que, permitiram o longo caminho que levou à aquacultura atual.

Ao cultivo de organismos aquáticos, está também associada uma noção de propriedade individual ou coletiva transitória dos mesmos, o que não acontece por exemplo na pesca. Esta definição é significativa, porque introduz um critério social que é o da propriedade do *stock* durante o período de cultivo (Pillay e Kutty, 2005).

Na Ásia, a aquacultura estava organicamente ligada à água local: coexistia com ecossistemas como arrozais e sistemas de esgotos (Fig.7). Esta aquacultura extensiva era relativamente barata e, portanto, atendia às necessidades dos produtores e consumidores (CC 2016).



Fig. 7 - Imagem histórica de um recinto agrícola para aquicultura

Fonte: CC 2016

A observação de que os juvenis de certos peixes e crustáceos, nascidos no mar, penetram nas lagunas que com ele comunicam, por razões tróficas, aí crescem e passam o primeiro período do seu ciclo de vida, migrando posteriormente para o mar sob a influência de fatores diversos (p. ex. temperatura, migração para reprodução, alimentação), conduziu à conceção das primeiras zonas confinadas para crescimento e engorda de espécies marinhas. A sua posterior captura, por intermédio de redes e armadilhas colocadas nos canais de saída, tornou-se prática corrente (Rocha e Dinis, 2019).

Contudo, é de modo empírico, a partir da observação dos animais aquáticos e com técnicas de pesca artesanais, que as primeiras formas efetivas de cultivo foram verdadeiramente estabelecidas.

Na Europa

A difusão da aquacultura esteve a cargo dos Romanos. Plínio, o velho, deixou registada a prática de produzir peixes nos aquedutos usados para os banhos romanos.

A aquacultura em água doce começou com a carpa, durante a Idade Média, o desenvolvimento da

piscicultura esteve relacionado com a construção dos mosteiros, onde as carpas eram produzidas para a alimentação dos monges. Durante os dias de jejum, que chegavam a ser de duzentos dias por ano, era permitido aos monges o consumo de peixe. A prática religiosa ajudou a banalizar o consumo e a cultura da carpa. A carpa comum atingiu um significado social e religioso, como o alimento escolhido para ocasiões especiais, particularmente na Páscoa, permanecendo até à atualidade uma espécie muito importante em aquacultura nos países do Leste Europeu. A truta arco-íris, outra espécie de água doce, importante a nível da Europa, foi disseminada a partir de França por um monge, Don Pinchot, que viveu no século XIV e que se pensa ter sido responsável pela descoberta do método artificial de fertilização dos ovos de truta. No século XVIII (1741) Ludwig Jacobi construiu uma "maternidade" de trutas na Alemanha para produção de peixes para pesca desportiva. Ainda no âmbito da aquacultura de moluscos na Europa, o cultivo de mexilhão iniciou-se nos finais de 1235, após o naufrágio de um barco irlandês na Baía de Aiguillon, quando um dos sobreviventes, Patrick Walton, fez uma descoberta interessante; a fim de fixar redes para capturar aves para se alimentar, utilizou postes enterrados na zona intermarés, tendo verificado que os mexilhões que aí se fixavam cresciam mais depressa que os que existiam no substrato. Foi o início do cultivo de mexilhão em estacas ("*bouchots*"). No Japão, no século XVII, Koroshiya descobriu que os postes de bambu eram um ótimo substrato para a fixação de juvenis de ostras, sendo ainda atualmente um dos métodos utilizados no cultivo de ostras no Japão. Quanto à piscicultura marinha, existem registos do cultivo de tainha, na zona costeira italiana pelos Romanos, mas pensa-se que esta técnica foi originária dos egípcios, tendo passado pelos Fenícios e Etruscos. Ainda de acordo com Plínio, um Romano de nome Lucinus Murena "inventou" os tanques de peixes no século I aC e o seu exemplo foi seguido pelos restantes nobres. Lucinus construiu tanques de terra em Grotta Ferrara, junto à residência de Verão de Cícero, investindo um valor superior ao da construção da sua casa. O peixe produzido foi vendido posteriormente por um valor que cobriu largamente o investimento inicial. Assim, há dois mil anos, a aquacultura era já uma atividade viável (Nash, 2010; Stickney e Treece, 2012).

Aquacultura pré-moderna – século XIX

Esta prática, a meio caminho entre a pesca e o cultivo, evoluiu pouco a pouco em direção a um verdadeiro cultivo; continua a ser largamente utilizada na Ásia (nas lagunas costeiras designadas por "*tambaks*"), mas também na Europa, os "*valli*" da zona do Rio Pó em Itália, as "*tapadas*" do Algarve em Portugal e os reservatórios das salinas.

O século XIX trouxe grandes inovações para a piscicultura. Foi desenvolvida a adoção de alimentos artificiais, ocorrendo uma renovação das técnicas de criação. Desde 1874 que a truta foi introduzida nas águas de todos os continentes, exceto na Antártida, com objetivos de pesca lúdica e de aquacultura.

Na Alemanha, (Jacobi, 1768) decifrou o código que permitiu a fertilização externa de truta castanha e salmão, extraíndo e misturando ovos e espermatozoides de truta madura, cultivando-as com sucesso. Notícias da sua descoberta espalharam-se lentamente, chegando ao Reino Unido na década de 1830 e Noruega em 1850 onde levou a uma pequena explosão de experiências falhadas (Hovland et al., 2014). Contudo, este foi também um momento em que houve um grande desenvolvimento na pesca

de arrasto e propulsão (Cushing, 1988); arrastões de vapor logo forneceram desembarques tão abundantes que o interesse pela aquacultura diminuiu na Europa, com exceção da indústria de trutas.

A passagem para a “moderna” aquacultura de peixe (piscicultura) europeia, deve-se fundamentalmente ao desenvolvimento artificial de incubadoras.

Aquacultura moderna – século XX - XXI

A aquacultura moderna define-se e caracteriza-se pela intervenção do homem, nas sucessivas tentativas de controlo, nas três grandes áreas:

- Reprodução;
- Alimentação;
- Estabulação.

O século XX introduziu a aquacultura em grande escala, sem dúvida com o desenvolvimento das rações, a produção de truta registou uma grande expansão a partir de 1950, quando foram produzidos os primeiros alimentos compostos (Nash, 2010). O cultivo desta espécie desenvolveu-se principalmente para produção de peixe para consumo, tendo sido produzidas em 2014 cerca de 813 000 toneladas, principalmente na Europa e Estados Unidos. Foi também introduzida pelos Ingleses nas suas colónias da Ásia e África (Pillay e Kutty, 2005; Stickney e Treece, 2012).

Só na década de 1960 é que começou um novo e sustentado impulso para a aquacultura com desenvolvimentos independentes em muitas regiões do mundo incluindo Japão, China, Estados Unidos e Europa. A origem destes desenvolvimentos é até agora mal pesquisada com a notável exceção do importante caso norueguês (Hovland et al., 2014).

Em 1965, uma grande revisão sobre aquacultura, não referiu o potencial da aquacultura piscícola (Christy e Scott, 1965), consideraram a aquacultura marinha somente ostras e outros bivalves e previram que o aumento de lagunas piscícolas, com baixo rendimento, poderia ser um significativo aumento para a produção de proteínas locais. A falta de conhecimento é agravada pelo facto da evidência estatística da aquacultura só se tornar sólida na década de 1980.

No início dos anos 70 foi desenvolvida uma jaula em polietileno (de superfície) com rede, aberta, barata, a indústria arrancou numa trajetória de crescimento impressionante na salmonicultura, influenciado decisivamente a aquacultura, mesmo em outras espécies. No entanto, é seguro dizer que o maior aumento ocorreu no Sudeste Asiático. A expansão assentou fundamentalmente em técnicas tradicionais, sendo apoiadas por políticas de Estado, devendo-se ao facto do uso generalizado de explosivos e veneno na pesca que levou ao rápido esgotamento dos recursos marinhos. Os governos das Filipinas, Indonésia e Tailândia viram a aquacultura como um meio de alimentar uma população em crescimento e como uma fonte de emprego para os pescadores que perderam os seus empregos. O mercado do camarão disparou tanto no Japão como na Europa e EUA em 1970.

Nos 20 anos seguintes, florestas costeiras de manguais foram devastadas para dar lugar a culturas de peixe e lagos de camarão, usados como práticas extensivas dependentes da produtividade natural.

Em meados do final da década de 1980 uma nova forma intensiva de cultivo no Sudeste Asiático

ganhou terreno. A aquacultura intensiva envolve o controlo do ambiente através de bombas, arejadores e geradores, bem como acesso a alimentos de qualidade.

A origem da aquacultura moderna está associada à criação de robalo e dourada em marinhas de sal, no momento em que estagnou a pesca extrativa, o salmão e a truta salmonada já eram cultivadas.

A cultura de robalo, teve o seu início num processo que se assemelha ao sistema extensivo ainda hoje presente em algumas zonas de Portugal. Utilizavam-se pequenas lagoas costeiras e reservatórios de maré para encurrular os peixes, procedendo-se mais tarde à sua pesca. A aquacultura de robalo está historicamente associada à produção de sal. O sal era recolhido durante a época de evaporação, entre o Verão e o Outono e os peixes produzidos durante o Inverno e Primavera. Os juvenis utilizados neste processo eram capturados na natureza. Só mais tarde, no final dos anos 1960 foram desenvolvidas, em França e Itália, técnicas de produção em massa de juvenis de robalo.

A principal razão para o lento desenvolvimento inicial da piscicultura, deveu-se à dificuldade de produzir grandes quantidades de juvenis de boa qualidade, o que estaria relacionado com problemas na regulação da bexiga-natatória dos juvenis, as quais originariam um grande número de deformações. No final da década de 1970, estas técnicas já se encontravam difundidas pela maioria dos países mediterrânicos, permitindo que o robalo se tornasse a primeira espécie de peixe marinho não salmonídea a ser produzida comercialmente em aquacultura. O robalo é, hoje em dia, uma das mais importantes espécies produzidas na região do mediterrâneo (FAO 2007).

Relativamente à dourada, a sua cultura extensiva tem origem nas mesmas lagoas costeiras, possuindo a mesma ligação à indústria do sal. Métodos de cultura como a “vallicultura” utilizada em Itália ou a “hosha”, no Egipto, aproveitavam as migrações tróficas naturais dos juvenis desta espécie para os capturar nas lagoas costeiras. Os sistemas intensivos de cultura de dourada foram desenvolvidos apenas na década de 1980. O sucesso na reprodução artificial da dourada foi atingido em Itália em 1981-1982 e a produção em larga escala de juvenis foi conseguida apenas em 1988-1989 em Espanha, Itália e Grécia (FAO, 2007; Landau, 1992).

A globalização de mercados permitiu a injeção de capital numa indústria que rapidamente se tornou dominada por alguns grandes grupos empresariais; o camarão tigre gigante, teve uma produção rapidamente dominada (Butcher, 2004).

Com a concentração veio, no entanto, aumento das ameaças de doenças que causou pesadas perdas para a indústria, que respondeu com injeções de antibióticos, salinização de terras e expansão da produção para novos manguais férteis (Zink, 2013; Hall, 2003). Em suma, as consequências ambientais deste sucesso precoce da indústria foram terríveis, enquanto os ganhos eram altos. A ascensão da aquacultura dependia de um aumento proporcional na disponibilidade de alimentos.

No início da década de 1970, os mercados: peruano (Glantz, 1986) e dinamarquês (Holm et al., 1998) assinalaram importante redução de disponibilidade de peixe, dado que o utilizaram, fornecendo milhões de toneladas de farinha e óleo de peixe como alimento barato e eficiente para a aquacultura. Estes recursos pelágicos revelaram-se voláteis e vulneráveis à sobre exploração, a aquacultura enfrentou um fator potencialmente limitativo ao seu crescimento; apesar de massivas melhorias na tecnologia de

alimentação animal e na introdução de vegetais (com deficiente proteína ômega 3), o problema dos alimentos continua a ser um grande desafio tanto para o futuro crescimento (Natale et al., 2013). A ciência e a inovação tecnológica apontaram para um caminho a seguir, talvez o exemplo mais impressionante do sucesso e problemas da convivência entre a ciência e a aquacultura seja, a aquacultura norueguesa de salmão. Pescadores locais e artesãos começaram a experimentar a criação de salmão nos fiordes noruegueses no final dos anos 60.

No início dos anos 80, surgiram as primeiras jaulas submersíveis (Fig.8 e 9), sensivelmente na mesma altura, mas tecnologicamente diferentes, em França e na URSS.

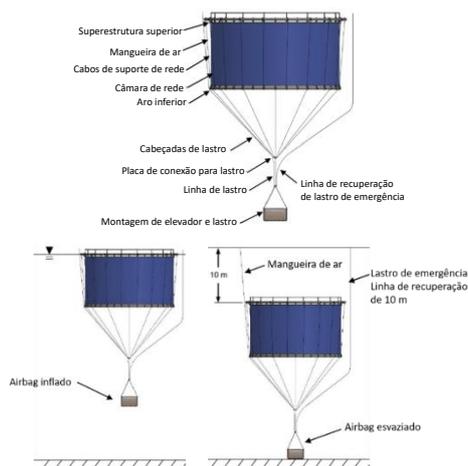


Fig. 8 – Jaula submersível francesa

Fonte: Dracht al. 2013

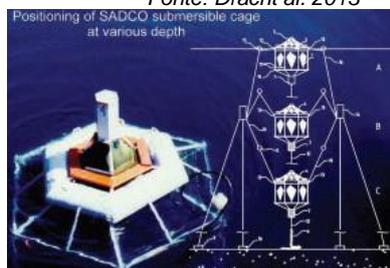


Fig. 9 – Jaula submersível URSS

Fonte: Bugrov. 2006

Em 1990 os processos da globalização e capitalização tinham criado uma indústria norueguesa multimilionária. Os investimentos noruegueses criaram operações semelhantes, de internacionalização, de grande escala, no Chile e indústrias de menor dimensão no Canadá, Escócia e outros lugares. Quase desde o início, o estado norueguês e indústria uniram esforços para garantir que a ciência correspondia às necessidades da indústria. O Estado forneceu licenças de utilização de terra e água para a indústria e investiu fortemente em pesquisa. A genética populacional, em particular, aperfeiçoou as espécies de salmão cultivadas, enquanto a investigação epidemiológica foi crucial no combate às doenças. Cientistas ficaram divididos, no entanto, os seus trabalhos orientaram-se na sustentabilidade da indústria. A preocupação tornou-se óbvia em 2010, quando um diretor de pesquisa previu um aumento de dez vezes a produção enquanto o diretor do Departamento do Ambiente defendeu uma redução para metade, numa preocupação com o salmão selvagem e o ambiente natural (Hovland et al., 2014). Tal desacordo, baseado em diferentes medidas e métodos científicos, indica o grau em que a aquacultura passou rapidamente de uma força produtiva, para também ser um risco.

Pode dizer-se que o cultivo do salmão do Atlântico, se desenvolveu espetacularmente na Noruega nos últimos anos, particularmente com a utilização de jaulas flutuantes como estruturas de engorda, levando a que a Noruega passasse de uma produção de 20 000 toneladas em 1980, para mais de 1 100 000 toneladas em 2015 (Nash, 2010).

A ascensão da aquacultura dependia da vontade dos compradores de substituir peixe selvagem por produtos de aquacultura. Enquanto as preocupações ambientais têm sido expressas por algumas organizações de consumidores, o panorama geral é de aceitação pelo mercado (Natale et al., 2013). O aumento da procura ocidental per capita por peixe foi associado ao reconhecimento de peixe como um alimento saudável, incluindo peixe de aquacultura, e permitiu uma duplicação do consumo de peixe nos países desenvolvidos, desde 1950. Comunidades locais também abraçaram em grande parte a aquacultura como uma fonte de rendimento, apesar das questões ambientais. A perceção pública da aquacultura no Chile foi duma receção calorosa, devida à criação de trabalho. As exigências no acesso à terra e à água estão agora a ser identificadas na Noruega, constituindo um grande desafio à perceção pública da aquacultura (Hovland et al., 2014), estas preocupações tinham razão de ser, como atualmente se constata.

Enquanto a maior parte da aquacultura do mundo ainda é conduzida em operações semi-intensivas, não há dúvida de que a direção é para o aumento do controlo de produção (Asche et al., 2008). Os criadores de peixe praticamente deixaram a tecnologia que levou milénios em terra e estão agora a usar tecnologias avançadas num ambiente marinho, para as quais, paradoxalmente, ainda não desenvolveram uma compreensão científica.

A expansão da aquacultura provocou preços mais baixos e introduziu empregos e rendimentos para os países em desenvolvimento, bem como para as regiões do mundo desenvolvido que de outra forma poderia ter sido despovoado. A aquacultura é, no entanto, altamente volátil e sujeita a grandes ameaças, nomeadamente doenças, especialmente em aquacultura de terra.

Apesar do tremendo crescimento da aquacultura ao longo das últimas décadas, em peixe e bivalves, a procura deverá superar a oferta em 40 milhões de toneladas até 2030 (FAO, 2006). Com a captura de peixes estagnada (Fig.10), e restrições de espaço para continuação da expansão da aquacultura *nearshore*, é claro que os meios alternativos de produção são necessários.

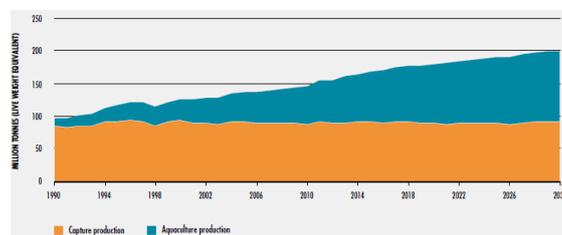


Fig. 10 - Estatística da produção mundial de pescado

em milhões de toneladas (1990-2015) e previsão (2016-2030), quantidade pescada e produção em aquacultura.

Fonte: FAO, 2018.

Existem dois meios potenciais, através dos quais a produção de aquacultura marinha se pode expandir:

- Sistemas de aquacultura recicladora em terra (RAS) ou;
- Desenvolvimento da capacidade tecnológica para a aquacultura em locais oceânicos expostos (Mar Aberto), aquacultura Offshore.

No mar, a transição da pesca para a produção de aquacultura moderna aconteceu em apenas duas gerações humanas. O desenvolvimento disruptivo da aquacultura nas últimas duas décadas, deve-se a ocupações do espaço marinho, em zonas costeiras e de proximidade (nearshore), com utilização de jaulas de gravidade e submersíveis (estas em menor número), de grande capacidade.

A aquacultura industrializada, é um fenómeno recente, pelo que explica muitas das suas características:

- A aquacultura tem experimentado quase crescimento exponencial;
- Forte propagação de doenças em sistemas de monocultura em terra;
- Desenvolvimento e crescimento baseados numa prática de Prosperar e Falir, particularmente por volta de 1990.

A primeira geração de empresários de aquacultura (± 1990) viu-se confrontada com um negócio de tentativa/erro alicerçado na família, com força de trabalho local, em que a investigação e gestão tinham um papel insipiente; hoje em dia, a aquacultura movimenta-se em empresas corporativas globalizadas, tendo desenvolvido agendas de investigação e gestão.

Pode afirmar-se que a Aquacultura é uma ciência nova e uma indústria emergente, e que as técnicas de cultivo estão ainda longe da perfeição. Neste momento, enfrentam-se enormes desafios a nível mundial, relacionados com a sustentabilidade desta atividade. A redução dos impactos ambientais provocados pela intensificação desta indústria, bem como a diminuição da dependência de ingredientes provenientes da pesca, como é o caso das farinhas e óleos de peixe, estão entre as maiores preocupações da atualidade (Costa-Pierce, 2002).

É de sublinhar o esforço que está a ser efetuado na área da nutrição, também em Portugal, substituindo por algas macrófitas e outros ingredientes, como farinha de insetos, *single cells proteins*, de entre outros, que diminuem, ou mesmo eliminam, ingredientes provenientes da pesca.

A ida para Mar Aberto não constitui uma escolha, é uma inevitabilidade face às questões colocadas na Aquacultura Costeira, nomeadamente:

- Aumento das linhas de navegação costeiras;
- Turismo;
- Grande pressão demográfica sobre o litoral;
- Opinião das populações face ao impacto visual das instalações.

Aquacultura RAS – Aquacultura em Sistema de Recirculação

Nos últimos anos, com a intensificação da produção aquícola assiste-se, ao aumento do impacto ambiental, levantando preocupações relativamente à sustentabilidade destes sistemas de produção a nível mundial (Zhang et al., 2011). São inúmeros os problemas de sustentabilidade da prática da aquacultura intensiva, como o uso de farinha e óleo de peixe nas rações, a diminuição da biodiversidade de populações naturais causada pela fuga de espécies não nativas de peixes de jaulas flutuantes, a poluição de águas superficiais e subterrâneas devido à descarga de efluentes (Martins et al., 2010; Rijn, 2013) ou falta de água com qualidade para uso na produção (Badiola et al., 2012). Por forma a aumentar a sustentabilidade ambiental deste tipo de atividade e face ao aumento da competição por

espaços viáveis para a implementação de empresas (Piedrahita, 2003; Badiola et al., 2012) surgiram, no final dos anos 80, os sistemas de recirculação em aquicultura (RAS) (Martins et al., 2010).

O RAS é visto como sustentável, ambientalmente amigável, com possibilidade de flexibilidade na sua estrutura produtiva, capacidade de controle das variáveis ambientais e possibilidade de produção durante todo o ano. O processo de evolução destes sistemas vem acontecendo ao longo das últimas três décadas e muitas dessas tecnologias foram desenvolvidas através de pesquisas em universidades, que se dedicam à investigação de metodologias, técnicas e equipamentos que contribuam com novos processos para purificação e reutilização de água na aquicultura (Timmons & Ebeling, 2010).

Atualmente os sistemas de recirculação têm-se apresentado como peça chave para o desenvolvimento de uma aquicultura mais sustentável, pois variáveis físico-químicas da água como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade, entre outras, podem-se manter mais estáveis ao longo do período de produção nesses sistemas. Levando em conta todos esses factos, pode dizer-se que são mais biosseguros, pois permitem maior controle da qualidade de água, evitando possíveis contaminações ambientais através da eliminação quase total de trocas de água. Além disso, podem contribuir com a prevenção de fugas de espécies exóticas para a natureza, o que minimiza também os riscos de contaminação biológica e evita a disseminação de patogénicos.

O RAS é um método de produção onde a água do sistema de criação é continuamente tratada e reutilizada (Fig.11). A utilização de RAS permite a produção com reutilização total ou parcial da água, diminuindo drasticamente a quantidade de água utilizada num ciclo produtivo, o que abre uma panóplia de possibilidades, antes limitada pela dependência das trocas de água.



Fig. 11 – Esquemas de instalações RAS

Fonte: GoldBill para tilápia e camarão

O que ocorre num sistema RAS, é a inclusão de processos que sanam as necessidades que obrigam o sistema tradicional a realizar uma troca de água. Estes processos são, de forma simplificada, divididos em três etapas:

- A filtração mecânica, onde é realizada a remoção dos sólidos;
- A filtração biológica onde a amónia (NH_3) e o nitrito (NO_2) são oxidados por bactérias em nitrato (NO_3), composição menos tóxica dos nitrogenados, e por último;
- A troca gasosa, fazendo a remoção do CO_2 proveniente da respiração dos organismos e inserindo novamente O_2 .

Os sólidos removidos do RAS podem ser aproveitados como fertilizantes agrícolas ou biogás.

Aquacultura em Nearshore e Offshore

A aquacultura em águas marinhas nearshore e offshore é a outra opção potencial para aumentar a

produção de produtos aquícolas, tem sido um foco de atenção internacional há mais de duas décadas.

Os primórdios...

Em antigas jaulas de nearshore (Fig.12), mostra um tipo de captura do pescado que só a situação de proximidade a terra, proporciona.

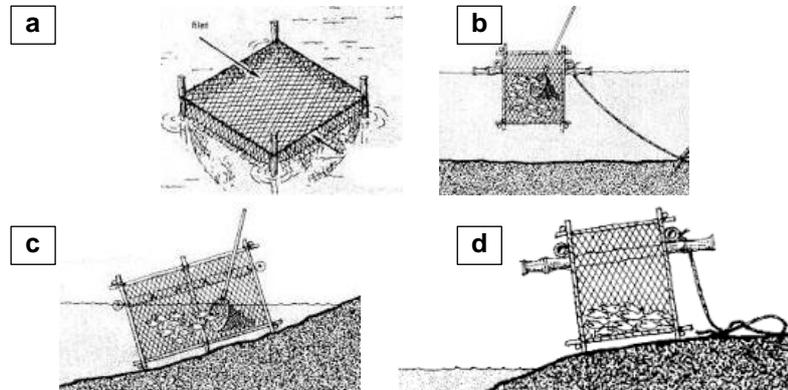


Fig. 12 – Antiga gaiola nearshore e captura do pescado

- a – Jaula com rede de pássaros que terá de ser afastada para efetuar a captura dos peixes;
- b – Colheita de peixe que se pretende capturar, sem mover a jaula do sítio de ancoragem;
- c – Se a gaiola for muito grande, poderá ser necessário o seu deslocamento para água pouco profundas;
- d – Os últimos peixes podem ser recolhidos colocando a jaula em terra.

Fonte: FAO (1998)

Embora existam desafios técnicos para a aquacultura em ambiente hostil do oceano aberto - aquacultura offshore, há que perseguir o seu desenvolvimento.

Características favoráveis das águas oceânicas abertas incluem:

- amplo espaço para expansão;
- grande capacidade de acomodação de biomassa;
- reduzidos conflitos com outros grupos de utilizadores;
- menor exposição a fontes humanas de poluição;
- potencial para reduzir alguns dos impactos ambientais negativos da aquacultura costeira;
- condições ambientais ótimas para uma grande variedade de espécies marinhas.

para citar alguns (Buck 2002, 2004; Ryan 2004; Langan 2007; Helsley e Kim 2005; Benetti et al. 2006; Howell et al. 2006; Ward et al. 2006).

Um estudo recente conduzido na Nova Zelândia indicou um benefício adicional que as localizações do oceano aberto podem ter, menos *biofouling* (Atalah et al. 2016), minorando assim a dispendiosa operação de manutenção da aquacultura costeira.

Estas características, aliadas aos avanços na tecnologia de aquacultura (Fredheim e Langan 2009) parecem apresentar uma excelente oportunidade para o crescimento, no entanto, o desenvolvimento em águas offshore tem sido limitado.

As razões para isto variam (Langan 2012):

- consoante a localização;
- risco elevado;
- falta de acesso ao capital intensivo;

- identificação de propriedade, e;
- questões tecnológicas não resolvidas,

Em alguns países, como os EUA e alguns Estados-Membros da UE,

- a falta de estrutura regulamentar para a autorização de explorações offshore, tem sido um obstáculo (Cicin-Sain et al. 2001; Buck et al. 2003), bem como
- oposição ambiental de ONGs (Langan 2012).



Fig. 13 - The Move is Offshore

Fonte: Slide da Seaweed Energy Solutions - modificado.

Os recursos energéticos tradicionalmente produzidos em terra, podem agora ser obtidos no mar Energia Eólica e das Ondas, assim como alimentos produzidos pela agricultura em terra, podem ser substituídos de forma sustentável por algas e outros produtos marinhos (Fig.13).

A aquacultura oceânica em locais expostos, tem sido explorada como atividade autónoma (quase exclusivamente de bivalves) ainda que numa forma muito limitada e numa situação quase costeira, no entanto, novos horizontes se estão a abrir, com projetos multiusos – aquacultura e energia – que será o futuro, estando em vários graus de desenvolvimento, assim temos:

Projetos financiados pela EU

Projetos não financiados pela EU

- | | |
|--------------------------------|--|
| ❖ ENTROPI – TRL 6 | ▶ Wave Dragon – TRL 6 |
| ❖ H2OCEAN – TRL ¾ | ▶ SES – TRL 9 |
| ❖ MARIBE – TRL 4 | ▶ Albatern - TRL 7 |
| ❖ MERMAID – TRL 7/8 | ▶ Aquabiotech – TRL 7 |
| ❖ MUSES – TRL nd | ▶ EcoWindWater – TRL 6 |
| ❖ OPEC – TRL nd | ▶ Plataforma Multiusos Eólica/Aquacultura na Austrália |
| ❖ Space@Sea – TRL nd | ▶ Plataforma Multiusos Eólica/Aquacultura UK-China |
| ❖ The Blue Growth farm – TRL 5 | |
| ❖ TROPOS – TRL 3/4 | |

Pese embora todos os fatores já referidos, são sem dúvida os económicos, aqueles que têm maior preponderância, por essa razão, a utilização do espaço marítimo, por várias atividades como a piscicultura, a produção de macrófitas, bivalves e energia, será suficientemente atrativa para cientistas e investidores, daí o elevado número de projetos em curso.

Os oceanos são a nova fronteira, pois que:

- Cobrem 71 % da área da terra;

- Fornecem menos de 2% dos nossos alimentos. (National Geographic 2019)

Podemos assim sintetizar, mostrando o grande fator diferenciador dos vários processos: a intensificação das densidades de estabulação, produção de biomassa abundante, diminuição da pegada, que pode ser constatado na Fig.14.



Fig. 14 – Comparação da Intensidade dos Sistemas de Produção

Fonte: IPMA 2018

O Conceito Multi-Uso

À semelhança dos recentes desenvolvimentos na aquacultura, o sector energético oceânico, tem concretizado importantes avanços, ocupando áreas significativas dos oceanos. Ao longo da última década, o estabelecimento de parques eólicos offshore como uma forma sustentável e economicamente viável de produção de energia, tem gerado interesse no potencial para otimizar a utilização de sítios *offshore*. A aquacultura planeia o seu desenvolvimento no oceano, como já referido, necessitando de energia para o seu funcionamento, numa conjugação de interesses e de aproveitamento de sinergias, pode ser definido um espaço multiuso atrativo.

A consideração de múltiplos usos em *offshore*, de sistemas de energia renovável com benefício económico, para uma área do mar, possa ser maximizada de forma sustentável, tem sido um tópico central de pesquisa desde o ano 2000 (Buck 2001).

Uma área de particular interesse é combinar energia e bivalves à base de aquacultura (Fig.15) produzidas dentro da mesma área oceânica (Buck e Krause 2012, 2013).

Aquacultura/ Biotecnologia marítima



Energia Oceânica



Fig. 15 – Combinação de produção Aquacultura – Energia

Fonte: Ferreira 2018

A estabilidade das estruturas de produção de energia offshore (por exemplo: turbina eólica e plataformas de petróleo e perfuração) é uma característica atraente para um conjunto de requisitos para a aquacultura, incluindo pontos de amarração para jaulas e longlines, para sistemas de alimentação, incubação e berçário.

A realização de plataformas offshore multiuso exige a cooperação de diferentes atores, o que pode desacelerar o desenvolvimento e dificultar a implementação, as diferentes tecnologias e setores têm diferentes níveis de maturidade, o que pode ser uma barreira para o desenvolvimento.

Aquacultura multitrófica integrada (IMTA)

O método de produção integrada, oferece menos risco de surto de doença e um baixo investimento em equipamento (Joffre *et al.*, 2015). Segundo Troell *et al.* (2009), a aplicação de uma aquacultura multitrófica integrada (IMTA-*Integrated multi-trophic aquaculture*) combina, o cultivo de espécies de aquacultura: alimentada (piscicultura), extrativa orgânica (bivalves), extrativa inorgânica (principalmente algas marinhas) e extrativa de partículas orgânicas (principalmente suspensão e depósitos-alimentadores).

IMTA promove sustentabilidade económica e ambiental através da conversão de subprodutos e alimentos não consumidos nas fezes dos organismos, em culturas alimentadas, reduzindo assim a eutrofização, e aumentando a diversificação (Neori *et al.* 2004; Troell *et al.* 2003) (Fig.16).

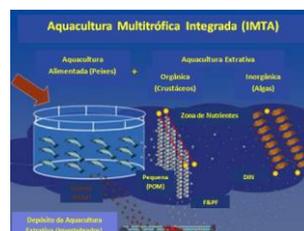


Fig. 16 - Diagrama conceptual de uma IMTA - aquacultura multitrófica integrada

Fonte: Chopin *et al.* (2012).

Na IMTA, todos os resíduos e alimentos não consumidos pelas espécies, são convertidos em novos alimentos, fertilizantes e energia para outras culturas, tirando-se um claro aproveitamento dessa situação (Fig.17). Chopin *et al.* (2012) referem que os aquacultores combinam aquacultura alimentada (por exemplo, peixe ou camarão) com aquacultura extrativa, que utiliza nutrientes inorgânicos (por exemplo, algas marinhas e outra vegetação aquática) e orgânicos (por exemplo, suspensão e deposição) provenientes de aquacultura alimentada para o seu crescimento. Os pepinos de mar são seres que têm a capacidade de absorver os resíduos orgânicos (Zhang *et al.*, 2015).



Fig. 17 – Modelo conceptual de IMTA

Fonte: IPMA 2018

Considera-se que a IMTA surge como uma nova forma sustentável de praticar aquacultura, trazendo benefícios ambientais e socioeconómicos para o sector (Abreu *et al.*, 2011).

2.2 Aquacultura - Redes

O desenvolvimento tecnológico tem-se operado, essencialmente, ao nível do melhoramento e confecção dos modernos utensílios de piscicultura, nomeadamente a criação e desenvolvimento de novos materiais, mais resistentes, mais finos, mais duradouros e muitas vezes mais baratos, e que simultaneamente exigem dos profissionais de piscicultura, menor esforço, quer na prática de manuseio, quer na respetiva conservação (materiais sintéticos).

Variados materiais têm sido utilizados nas redes de pesca desde a antiguidade. As primeiras redes foram feitas de materiais naturais: raízes herbáceas, linho, fibras de árvores, algodão e seda. A rede mais antiga que encontramos data de cerca de 8 300 aC; foi feita de salgueiro e encontrada com outros equipamentos de pesca na cidade careliana de Antrea. A segunda rede de pesca mais antiga data do período Mesolítico e foi encontrada com chumbadas no fundo de um mar seco.

Os nativos americanos no rio Columbia faziam redes de caule de urtigas, casca interna de cedro e fibras de raízes de abeto, usavam madeira para flutuadores e pedras como pesos. Os maoris fizeram redes com milhares de metros de comprimento. Sabemos, com base em pinturas de tumbas de cerca de 3 000 aC, que os egípcios conheciam e provavelmente usavam redes de pesca.

Literatura grega refere-se a redes de pesca; Ovídio fala sobre elas e o uso de rolhas como flutuadores e chumbo para pesos; o autor grego Oppian escreveu a *Halieutica*, na qual descreveu diferentes métodos de pesca usando redes de barcos, redes de pesca e armadilhas. Redes de pesca também são mencionadas na mitologia nórdica e na Bíblia.

As redes de pesca não mudaram significativamente ao longo do tempo, mas os materiais utilizados para fazê-las têm sofrido muitas alterações. As redes de pesca são normalmente feitas de malha formada por atar fio fino. Hoje, as redes de pesca são geralmente feitas de poliamidas artificiais, como o nylon. No entanto, poliamidas naturais foram e ainda são usadas; estes incluem fios de lã e seda. Vários materiais e objetos constituem os flutuadores, equipamentos usados para evitar que as redes afundem. Os pescadores usaram cortiça para flutuar; Rússia e Finlândia usaram casca de bétula para os flutuadores. Noutras regiões, outros tipos de madeira e até mesmo vidro, foram e ainda são usados em flutuadores. Hoje, a maioria dos flutuadores são feitos de espuma plástica e são coloridos. Por outro lado, algumas redes devem afundar, então é necessário usar pesos e âncoras. Algumas culturas usavam pesos cerâmicos e outras usavam conchas de um tipo de caracol marinho.

As redes são fabricadas de maneiras diferentes, dependendo da cultura que as cria. Existem instalações de produção em massa, é claro, mas muitas culturas ainda fazem redes à mão tecendo os fios. Existem muitos tipos de redes: rede de lançamento, rede de emalhar, rede de elevação, rede de cerco, rede de empurrar, rede de mão e muito mais. Cada um é usado de forma diferente e para um propósito diferente, na aquacultura utilizam-se fundamentalmente: rede de cerco e de empurrar.

Embora a invenção da rede de pesca tenha contribuído para a sobrevivência da humanidade, ela teve um impacto severo no meio ambiente. A pesca de arrasto de fundo danificou o fundo do mar; certas redes capturam peixes não comercializáveis; as redes são frequentemente perdidas no mar, enredando uma variedade de vida marinha, incluindo pássaros, golfinhos, tartarugas, tubarões e muito mais. Embora a rede de pesca tenha garantido a nossa sobrevivência e continue a apoiar muitas culturas, o

impacto no meio ambiente - especialmente nos mares e oceanos - tem sido muito prejudicial e continua a piorar. (StoryboardThat - <https://www.storyboardthat.com/pt/innovations/rede-de-pesca>).

Um grupo de arqueólogos que trabalha numa caverna na Coreia do Sul encontrou indícios que sugerem que os seres humanos começaram a usar sofisticadas técnicas de pesca com redes há 29.000 anos, muito antes do que se acreditava até agora, segundo o diretor do Museu da Universidade de Yonsei, Han Chang-gyun. Os lastros de calcário, que pesam entre 14 e 52 gramas e têm um diâmetro de 37 a 56 milímetros, apresentam ranhuras aparentemente destinadas a amarrá-los no fundo de uma rede possivelmente usada para reter peixes pequenos em rios pouco profundos, explicou (https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cienciaesaude/2018/08/07/interna_ciencia_saude,699592/pesca-com-redes-comecou-ha-quase-30-000-anos-dizem-arqueologos.shtml).

As primeiras redes são bastante grosseiras, certamente derivadas do sucessivo aperfeiçoamento das barragens mais complexas (*entrançado de elementos e fibras vegetais*). Posteriormente tornam-se mais finas e resistentes quando o homem aprendeu a obter os fios de sisal, do algodão, etc., cada vez melhor adaptados às funções que se lhes exigem, até ao aparecimento dos *fios sintéticos* usados hoje em dia.

As redes devem ter evoluído de simples barragens para redes de emalhar. As redes fixas dão origem mais tarde a redes móveis arrastando para a margem o peixe existente na zona percorrida por elas. Nesta linha de evolução, as redes tornaram-se cada vez mais perfeitas, mais complexas e mais adaptadas a utilizações específicas, chegando às redes de cerco e de arrasto, cujos tipos são basicamente muito semelhantes aos utilizados hoje em dia.

O surgimento das fibras sintéticas, praticamente imputrescíveis, aumentou substancialmente o tempo de vida das artes de pesca e aquacultura, conferiu-lhes grande resistência. Por outro lado, a mecanização da produção de fios, redes e cabos, permitiu a construção de artes de pesca cada vez maiores e mais complexas. A procura de novos materiais, mais resistentes e mais baratos, continua a ser uma das áreas de maior desenvolvimento.

3. Equipamentos de Aquacultura Offshore

Em Portugal, a aquacultura “*offshore*”, apresenta grande atratividade e potencial, porém por razões já bem identificadas esse potencial produtivo está praticamente intacto, apesar dos recentes avanços na área dos moluscos e de importantes avanços da piscicultura na Madeira e em Sines, constituindo uma oportunidade para a produção de recursos alimentares que respondam aos desafios colocados, pela contenção da pesca extrativa, principalmente no caso português, em que é bastante elevado o consumo de peixe per capita 61,5 Kg (atualmente, 2º maior consumidor per capita a nível mundial).

A aquacultura em mar aberto apresenta a vantagem de se situar em zonas oceânicas, menos suscetíveis à poluição oriunda das zonas costeiras. Por outro lado, as fortes correntes em mar aberto favorecem a dispersão da matéria orgânica e outros resíduos metabólicos, minimizando o impacto ambiental a nível da qualidade da água e da comunidade bentónica (Goldburg et al, 1996; Cid, 2008).

A opção pelo Mar Aberto, para além das vantagens, resulta também dos seguintes fatores:

- Aumento de ocupação da Orla Costeira por outras atividades: turismo, linhas de navegação costeira, pressão da opinião pública;
- Limitações à ocupação das Áreas de proximidade devido aos problemas colocados pela aquacultura: poluição dos fundos por dejetos e ração perdida;
- No caso português, estes problemas associam-se às dificuldades colocadas pelo mar e a não existência de recortes de costa que protejam esta atividade;
- Limitações da aquacultura de terra e esteiros (fraca densidade de cultura), apesar das potencialidades demonstradas com a tecnologia 4.0 em circuito fechado - RAS.

Os constrangimentos prendem-se fundamentalmente com: a alta energia das ondas, ventos em mar aberto e correntes marítimas; a riqueza de nutrientes, na plataforma continental promove também o crescimento de bivalves que tem vindo a ser explorado e o desenvolvimento de fouling (Fig.18) nas redes das jaulas, (sobretudo na costa Continental) provocando abaixamento de renovação de água e consequentemente de oxigénio disponível.



Fig. 18 - Biofouling na gaiola Sea Station 3000 na zona APPA

Fonte: IPMA, Pousão-Ferreira

O problema principal consiste em melhorar a segurança da instalação, o bem-estar animal, essencial a um adequado crescimento, em condições de mar adversas e de risco, tendo em conta o desempenho ambiental e as boas práticas de utilização de recursos; a gaiola e equipamentos associados deverão poder movimentar-se verticalmente ao longo da coluna de água de forma a encontrar em cada circunstância a melhor situação para o bem estar animal e salvaguarda dos equipamentos.

Sempre que se tem de decidir sobre a instalação de jaulas numa exploração, há que fazer a escolha correta do local em termos de exposição, para o que se deve considerar:

- Dados oceanográficos do local;
- Parâmetros ambientais que afetam o bem-estar dos peixes e da exploração;
- Dimensão da exploração, acessibilidades, apoios de terra à instalação marítima e logística;
- Construção de estruturas que atendem as necessidades do operador e sejam adequadas para o ambiente em que se encontram;
- Tecnologia de comunicações, comando e controlo, apoios de manutenção e inspeção;
- Procedimentos de segurança da exploração, abaixamento e previsão de riscos potenciais. Vigilância por camaras e AUV.

O projeto Mermaid (Fig.19) fez precisamente o estudo para 4 localizações, em relação a 2 tipos de energia e 3 tipos biológicos, tendo chegado à seguinte conclusão:



Local	Aquacultura			Energia	
	Peixes	Algas	Bivalves	Ondas	Eólica
Báltico Krigers Flak Estuário
Mar do Norte Wadden Sea Proj. Gemini
Oceano Atlântico Ubiarco e Santofia Offshore
Mar Mediterrâneo Área offshore de Veneza

Fig. 19 – Projeto Mermaid – Conclusões

Fonte: Ferreira 2018

A localização adequada de uma exploração em jaulas é de grande importância, em relação ao sucesso técnico e económico, e redução do impacto ambiental do conjunto da exploração; assim, devem ter-se em conta os seguintes parâmetros e fatores (Tabela 1) no processo de seleção do sítio para aquacultura:

Tabela 1 - Parâmetros e fatores
a considerar no processo de seleção de sítio para aquacultura
Fonte: Beveridge, 2008

Ambientais e fatores relevantes para os organismos	Parâmetros Ambientais e fatores relevantes para as gaiolas	Crítérios legais e logísticos
Temperatura	Profundidade	Aspetos legais e jurídicos
Salinidade	Abrigo	Acesso
Poluição	Fundo do mar	Segurança
Sólidos em suspensão	Corrente	Proximidade do mercado
Blooms de algas	Fouling	Diretos de propriedade
Organismos patogénicos	Poluição	Autorizações
Circulação de água		
Corrente		
Fouling		
Oxigénio dissolvido		

Ao querermos tratar a aquacultura offshore em termos de materiais, devemos abordar separadamente os sistemas que a constituem:

Gaiola - estrutura + rede (sistema de contenção); Sistemas de: amarração; alimentação; limpeza de biofouling; captura; controlo.

3.1 Jaula - estrutura + rede (sistema de contenção)

As jaulas são construídas a partir de materiais variados (face à sua resistência, durabilidade e toxicidade), de várias formas e tamanhos (MASSER, 1997b). A aquacultura offshore, é complementada com unidades que levam os animais marinhos desde o seu nascimento até à sua captura:

Unidades de Reprodução; Unidades de Crescimento e Engorda.

Unidades de Reprodução

Estabelecimentos aquícolas destinados a produzir (Fig.20), por métodos artificiais, as diferentes fases de desenvolvimento incluindo o embrionário de determinada espécie – gâmetas, ovos, larvas, pós-larvas, juvenis e esporos (DGRM 360°).



Fig. 20 – Maternidade (tanques de fibra)

Fonte: IPMA - Estação Piloto de Piscicultura de Olhão

Unidades de Crescimento e Engorda

Instalações onde se promove o crescimento e engorda de espécies marinhas (Fig.21), qualquer que seja o tipo de estrutura que utilizem e o local que ocupem (DGRM 360°).



Fig. 21 – Tanques de pré-engorda e engorda

Fonte: IPMA - Estação Piloto de Piscicultura de Olhão

As instalações de crescimento e engorda podem apresentar as seguintes tipologias, atendendo às características da sua estrutura e/ou local que ocupam (DGRM 360°):

- **Tanques:** instalações localizadas em terra (Fig.22), constituídas por materiais diversos, desde terra propriamente dita a betão ou fibra (DGRM 360°);



Fig. 22 – Tanques de terra

Fonte: IPMA - Estação Piloto de Piscicultura de Olhão

- **Estruturas flutuantes** (para peixe e bivalves): estruturas localizadas na massa de água, constituídas por jaulas, flutuantes (Fig.23) ou submersíveis (Fig.24), jangadas (Fig.25) ou cabos-longlines (Fig.26) (DGRM);



Fig. 23 – Jaulas flutuantes

Fonte: <https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-426804433-libro-construccion-de-jaulas-flotantes-piscicultura- JM>



Fig. 24 – Jaula submersível

Fonte: IPMA - Estação Piloto de Piscicultura de Olhão



Fig. 25 – Jangadas para criação de bivalves

Fonte: http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/71158/



Fig. 26 – Bóias de Longlines para criação de bivalves

Fonte: <https://www.researchgate.net/publication/235429264>

- **Viveiros de moluscos bivalves:** unidades localizadas em zonas intertidais-intermarés de estuários (Fig.27), rias e outros locais (DGRM 360°).



Fig. 27 – Unidade de produção de ostras em zona intermarés no rio Sado

Fonte: Exporsado 2018

3.1.1. As Jaulas

As jaulas de piscicultura só mais ou menos a partir dos anos 60 começaram a ter um desenvolvimento tecnológico que ainda hoje está longe do final.

As jaulas em relação ao seu posicionamento na coluna d'água têm a seguinte classificação (Tabela 2):

- **Jaula flutuante ou de superfície** – está sempre à superfície, tendo um colar que está parcialmente fora de água e promove a flutuabilidade do sistema;
- **Jaula semi-submersível** – está à superfície, mergulhando quando existem condições adversas;
- **Jaula submersível** – está sempre submersa

Tabela 2 - Classificação dos tipos de jaulas, vantagens, desvantagens e fabricantes

Fonte: (Adaptado de Scott & Muir, 2004)

Estrutura	Modo Operacional	Vantagens	Desvantagens	Modelos
Flutuante	Flutuante	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de Suporte de rede funcional e testado Variedade de configurações Custos reduzidos para elevados volumes Facilidade de ampliação Facilidade de operação 	<ul style="list-style-type: none"> Resistência moderada a ondas e correntes Riscos elevados em mar aberto Ausência de estruturas de suporte operacional 	Corelsa® Aqualine® Fusion Marine® OceanSpar net systems®
	Semi Submersível	<ul style="list-style-type: none"> Área de instalação reduzida Facilidade de operação Submersão automática em caso de tempestades Relação preço/volume reduzido 	<ul style="list-style-type: none"> Reduções de volume até 25% Sistema de lastro difícil de instalar Alimentação pouco eficiente 	Refamed® Technosea®
Rígida	Flutuante	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma operacional estável Capacidade de armazenagem Capacidade de instalar sistemas automáticos de alimentação 	<ul style="list-style-type: none"> Difíceis de instalar Resistência moderada Elevados custos de manutenção Elevado capital inicial de investimento 	Cruive® Pisbarca®
	Semi Submersível	<ul style="list-style-type: none"> Volume estável Capacidade de submergir Capacidade de integração de sistemas automáticos de alimentação Sistema provado comercialmente 	<ul style="list-style-type: none"> Capital de investimento elevado Complexidade de operação e manutenção Necessita de mergulhadores a tempo inteiro 	Refamed® Technosea®
	Submersível	<ul style="list-style-type: none"> Volume estável Impacto visual mínimo Capacidade de emergir 	<ul style="list-style-type: none"> Dificuldade de operação e manutenção Capital de investimento elevado 	Trident® Sdaco® Seatreck®

Todavia, a prática corrente é designar-se por “Jaula submersível” sempre que a jaula tenha a faculdade de submergir independentemente de estar sempre submersa ou não.

Outra classificação das jaulas tem a ver com a sua localização, FAO (2009) (Tabela 3); no entanto é preciso não esquecer que muitos consideram offshore tudo o que está localizado no mar, e que mesmo os noruegueses consideram as jaulas colocadas nos fiordes, como offshore.

Tabela 3 - Classificação do local proposta pela FAO em 2009

Fonte: Lovatelli, Aguilar-Manjarrez and Soto (2013).

Característica	Costeira	Nearshore	Offshore
Localização/ Hidrografia	<500 m da costa Profundidade <10 m na maré baixa À vista de terra Geralmente protegido	0.5-3 km da costa 10 m<Profundidade <50 m na maré baixa Frequentemente à vista de terra Um pouco protegido	>2 km da costa Geralmente dentro de zonas de plataforma continental, possivelmente oceano aberto > 50 m de profundidade
Meio Ambiente	Hs normalmente <1 m Vento fraco, ondulação curta, Correntes costeiras localizadas, Maré e correntes possivelmente fortes	Hs_{ou}=3-4 m Correntes costeiras localizadas, algumas correntes de maré	Hs>sub>ou</sub>= 5 m ou mais, regularmente 2-3 m, ondas oceânicas Períodos de vento variável Possivelmente efeito de correntes menos localizadas
Acesso	100 % acessível Acesso a terra sempre possível	> 90% acessibilidade pelo menos uma vez por dia Visita à gaiola geralmente possível	Normalmente acessibilidade > 80 % Visita periódica à gaiola pode ser possível, p. cada 3-10 dias
Operação	Regular envolvimento manual, alimentação, monitoramento etc.	Algumas operações automatizados, p.ex. alimentação, monitoramento	Operações remotas função do sistema, alimentação automatizada, monitoramento a distância

Nota: Hs = Altura significativa da onda (Hs x 1,9 = Altura máxima da onda).

Jaulas Flutuantes ou de Superfície

Material de fabrico: fundamentalmente PEAD - polietileno de alta densidade, mas aparecendo

também casos de PU – poliuretano e de PP – polipropileno.

As jaulas de superfície (Fig.28), têm colar de formas poligonais ou maioritariamente circular.



Fig. 28 – Jaulas de superfície, em localização costeira ou nearshore

Fonte: <https://www.kongsberg.com/maritime/solutions/ship-types/fish-farm/>

As jaulas de superfície são atualmente a forma de produção piscícola no mar que menos investimento requer na instalação e manutenção (Baldwin et al., 2002, Shainee et al., 2012, Størkersen, 2012). Esta tipologia de produção utiliza os recursos existentes no meio ambiente a seu proveito. A circulação da água dentro das jaulas é resultante da entrada de correntes aquáticas, que fornecem uma parte da alimentação do peixe e evitam acumulação de detritos, garantindo um ambiente mais saudável.

A jaula de superfície é uma estrutura em forma de colar, que alberga a rede responsável por manter em cativeiro o peixe, com a particularidade de ser flutuante. A rede mantém a forma por gravidade, devido à existência de pesos na parte inferior da mesma. A jaula pode também contemplar o equipamento necessário para a sua operação, manutenção e monitorização, tais como os sistemas de alimentação, de limpeza de redes e monitorização de pescado. É a tipologia de jaulas mais usada em todo o mundo, e pode ser projetada numa enorme diversidade de dimensões e configurações (Fula, 2013, Korsøen et al., 2012). Esta configuração permite igualmente a fácil adaptação ao tamanho e às necessidades particulares de cada espécie de peixe, a jaula pode ter um fundo liso e rígido de forma a poder albergar peixes planos.

Novos tipos de jaulas de superfície (para grande produção)

Kongsberg – Fish Farm

Material de fabrico: Estrutura em Metal com zonas de apoio em materiais de construção.

Um novo tipo de jaula de superfície surgiu na Noruega (Kongsberg – Fish Farm), como resposta à imposição estatal de saída dos fiordes porque nestes, a maré enchente e vazante lava a mesma água, dentro e fora da instalação, isso causa problemas com os piolhos do mar que são uma praga, já que a mesma população de piolhos é simplesmente libertada para a frente e para trás nos ciclos de maré. Numa instalação offshore, a água passa pela gaiola e lava os piolhos e outros poluentes, dando à fauna um habitat o mais próximo possível do natural (Myrebøe - 2016).

Ao ser libertada uma grande quantidade de resíduos na instalação, o risco de contrair doenças é reduzido dado que as correntes os dispersam naturalmente. Outra técnica é alimentar os peixes 10 metros abaixo do nível do mar, forçando-os a submergir. Isso reduz o risco de pegar piolhos, já que os piolhos vivem perto da superfície (Myrebøe - 2016).

Trata-se duma solução em fase piloto, inspirada nas construções das plataformas petrolíferas (Fig.29). Com capacidade para produção de 1,5 milhão de peixes anualmente e atracado longe de terra (< 8 km), num ambiente exposto. Abrindo novas perspectivas à salmonicultura.



Fig. 29 – Jaula Offshore de superfície, em mar não longe da costa (máx. 8 km)

Fonte: <https://www.kongsberg.com/maritime/solutions/ship-types/fish-farm/>

Ittica offshore del Tirreno

Material de fabrico: Estrutura em Metal com zonas de apoio em materiais de construção.

Um outro tipo de jaula múltipla, “Ittica offshore del Tirreno” está em Nápoles, Itália: trata-se duma plataforma flutuante para piscicultura (Fig.30), equipada com seis grandes jaulas e um edifício central de 2 andares, com todos os sistemas de apoio às jaulas.



Fig. 30 - Uma plataforma flutuante para piscicultura

Fonte: FAO 498

Jaulas Semi-submersíveis e Submersíveis

A maneira como se pensa a aquacultura tem de evoluir no sentido de fazer uso de novos territórios oceânicos, a fim de atender a procura futura por nutrientes e alimentar, fazendo face às necessidades duma crescente população mundial.

Todavia, a ida para o oceano traz desafios nunca antes colocados, encontrando-se as soluções propostas, na maioria dos casos, ainda em fase experimental; sem dúvida que os sistemas submersíveis mais avançados e amplamente utilizados são a nível dos bivalves, as chamadas: lanternas (Fig.31) e *long lines* (Fig.32)

As lanternas são usadas normalmente para vieiras e ostras.



Fig. 31 – Campo de Lanternas de Vieiras gigantes

Fonte: http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/71158/

As long lines são usadas sobretudo para mexilhão.



Fig. 32 – Long lines de Mexilhão

Fonte: http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/

No que respeita à aquacultura de peixe – piscicultura, utilizam-se jaulas para engorda do peixe. Quando se vai para Mar Aberto, poder-se-á nalguns casos continuar a usar jaulas de superfície, todavia ao longo da costa ocidental portuguesa, outras soluções têm de ser encontradas, por forma a salvaguardar o bem-estar animal e a resistência dos equipamentos às severas solicitações do mar, como resposta a esses problemas, surgiu o conceito de gaiola submersível.

Os sistemas submersíveis, a serem posicionados na coluna d'água, de acordo com as condições do mar, são acionados por controlo remoto, ou através dum sistema automático de autocontrolo, sendo monitorizado num centro instalado numa plataforma ou em terra; reposicionam a gaiola na profundidade mais adequada tendo também em conta as necessidades de temperatura da espécie estabulada, (a temperatura varia ao longo da coluna d'água), utilizando a informação gerada e os meios de manobra instalados, em que se garanta a segurança do equipamento e o bem-estar animal.

No caso do projeto da Jerónimo Martins com a Universidade de Aveiro (Fig.33), torna-o pioneiro na cultura de salmão do Atlântico em Portugal. O posicionamento na coluna de água deverá ser em profundidade para conseguir, temperaturas de conforto baixas, e uma interface ar/água artificial a essa profundidade; pelo contrário, o robalo e a dourada devem estar mais próximos da superfície e o fator crítico são as ondas e correntes à melhor temperatura possível neste compromisso.

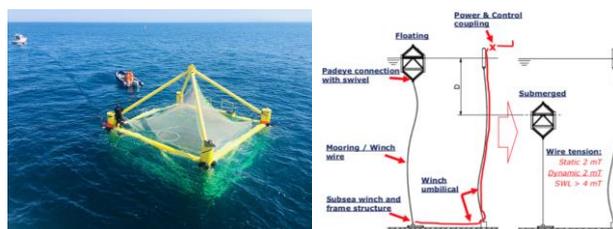


Fig. 33 - Projeto Offshore de produção de salmão em Portugal

a – Fotografia real do equipamento; b - Layout geral dos equipamentos para o teste em offshore

Fonte: <https://www.ua.pt/pt/noticias/9/61108>

Tornam-se assim muito importantes os estudos oceanográficos para a escolha da localização das jaulas, tendo em conta as variações anuais de: temperatura ao longo da coluna de água, vento, altura significativa das ondas e correntes. O uso de jaulas submersas (Fig.34) permite que, a aquacultura desenvolva atividades em locais marítimos de áreas expostas e desprotegidas.



Fig. 34 - Jaulas Offshore submersíveis

Fonte: Ferreira 2018

A vantagem de usar uma gaiola submersível em comparação com os equipamentos flutuantes tradicionais, é diminuir significativamente o risco de perda de biomassa e conseqüentemente a potencial perda econômica.

Jaula SADCO (submersível)

Esta empresa russa produz e distribui dois tipos de jaulas de aço (Fig.35), ambos submersíveis.

SADCO-Self

Material de fabrico: Estrutura em Metal.

As séries Sadco (1200, 2000 e 4000) foram evoluindo desde o início dos anos 80.



Fig. 35 - Jaula Sadco-Shelf numa posição submersa

Fonte: FAO 498

No topo da jaula, está instalado um sistema de alimentação integrado à prova d'água, equipado com um vídeo subaquático, controlado remotamente. Esse tipo de jaula está disponível em vários modelos e tamanhos, de 1 200 a 4 000 m³. Uma jaula Sardo-Shelf numa posição submersa assim como a ideia dum «elevador» prevendo três estágios de imersão da instalação (Fig. 35). O sistema de alimentação automático à prova d'água é visível (Itália).

SADCO-SG

Material de fabrico: Estrutura em Metal.

Um novo tipo de jaula subaquática (Sadco-SG) foi desenvolvido nos últimos anos (Fig.36).



Fig. 36 – Jaula SADKO-SG imersa e submersa

4 - Silo de alimentos

Fonte: Bugrov 2006

Esta jaula é feita por um tubo de aço poligonal (gola), um tubo e um tanque submerso para controle de flutuabilidade. A jaula pode ser submersa através da entrada de água dentro do tanque; não possui alimentador independente, mas pode funcionar com tubo de alimentação manual ou um sistema de alimentação centralizado.

Os custos operacionais são baixos, as jaulas são levantadas para a superfície da água uma vez a cada duas semanas ou caso os peixes estejam prontos para venda. A captura e outras operações relacionadas com o serviço são realizadas da mesma maneira que com uma jaula flutuante. Para segurança dos operadores, a área de trabalho das jaulas tem uma passarela com corrimão. Essas jaulas são projetadas para locais expostos em condições offshore. Jaulas Sadco estão instaladas principalmente na Itália.

Vantagens: adequadas para todas as localizações (também muito expostos); resistentes e duráveis; baixo impacto visual; nenhuma redução no volume da área de estabulação, mesmo em condições desfavoráveis.

Desvantagens: redes difíceis de trocar (na Série Sadco); caro para volumes baixos; alimentador automático, ainda está em teste.

Jaula OCEANIS (semi-submersível)

Material de fabrico: Estrutura em Metal com zonas de apoio em materiais de construção.

A tecnologia do projeto OCEANIS, é basicamente uma gaiola de colar, que pode submergir (Fig.37) enchendo os tubos de PEAD, para resistir a condições de mar adversas.



Fig. 37 – Simplificação da submersão duma gaiola OCEANIS

Fonte: <https://imagens.search.yahoo.com/search/imagens; s7s.teeikAckJXNyol>

Jaula AQUAPOD (semi-submersível)

Material de fabrico: Estrutura em Polietileno e Aço.

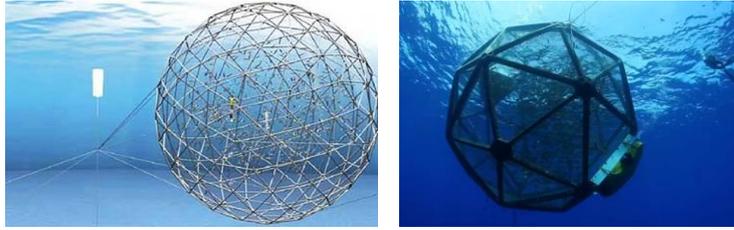


Fig. 38 – Simplificação e real gaiola AQUAPOD

Fonte: <https://images.search.yahoo.com/search/images>

A jaula AQUAPOD (Fig.38), é uma jaula com malha que pode ser de latão, na qual os aquacultores podem colocar os seus peixes e depois deixá-la à deriva no mar, estando dotado de GPS. Permite a criação de peixes sem serem retirados do seu ambiente natural; podendo ficar ancorada num local fixo.

"O projeto explora o potencial de criar peixes saudáveis no seu ambiente natural, praticamente sem impacto ambiental no fundo do mar subjacente, na qualidade da água circundante ou nos peixes selvagens fora do Aquapod (Sims 2018)."

A gaiola é feita de uma malha de latão que reduz substancialmente o *biofouling*, quando as algas e cracas se ligam a objetos submersos; isto minimiza, tanto o arrasto, como a necessidade de limpeza das jaulas aumentando a oxigenação da biomassa, resistindo também melhor a ataque de predadores.

As jaulas podem ser feitas com, até 28 metros de diâmetro, sendo constituídas por uma série de painéis individuais, de rede em triângulo, tendo a vantagem de serem substituídos separadamente.

Jaula OCEANSPAR (semi-submersível)

Material de fabrico: Estrutura em Metal.



Fig. 39 – Jaula OceanSpar

Fonte: IPMA - Estação Piloto de Piscicultura de Olhão

A jaula móvel (Fig.39) ancorada para engordar peixe ou marisco possui um flutuador central, vertical e alongado (tubo central vertical) rodeado por, pelo menos um anel de apoio da rede horizontal, com rede contínua, que se estende de uma extremidade superior do tubo central, até ao anel, e daí a uma extremidade inferior e submersa do tubo central, ficando assim uma gaiola fechada; pode estar opcionalmente ancorada, ficando livre para flutuar com as correntes, embora possa ser mais frequentemente ancorada de forma convencional.

A jaula pode incluir ainda uma placa (amortecedor de ondas) suspensa da extremidade inferior do tubo central, podendo também incluir um peso de lastro suspenso da placa de amortecedor para ajustar o nível a que a gaiola flutua na água. A mobilidade da jaula proporciona a vantagem de evitar perigos localizados (blooms de algas) e a capacidade de mover a jaula para um local mais conveniente, se necessário.

Jaula REFAMED (semi-submersível)

Material de fabrico: Estrutura em Metal.

A jaula (Fig.40) consiste em:

- Rede de nylon contida numa estrutura rígida hexagonal para manter a forma da rede;
- Vigas verticais da estrutura deslizam em mais de 6 colunas tensionadas, por meio de argolas;
- As colunas tensoras consistem em: amarração, boia de bloco, corrente e flutuação, instaladas permanentemente;
- A submersão controlada da jaula, é realizada com um guincho elétrico e cabo associado a um sistema de roldana;
- As roldanas são instaladas em 2 blocos de cimento.

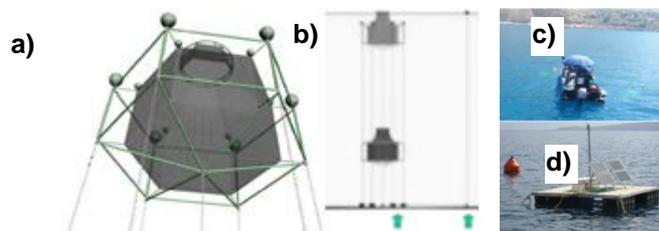


Fig. 40 – Fases dum sistema submersível de aquicultura REFAMED

a)Esquema-gaiola REFAMED b)Esquema-submersão da gaiola c)Barco de apoio d)Barcaça de apoio para a energia.
Fonte: REFAMED

Na operação de submersão:

- A gaiola ficará submersa a 40 m (pode variar consoante a conveniência) de profundidade do local da instalação. O transporte da gaiola é feito com uma velocidade inferior a 1m/min:
 - ✓ 1º dia: 2 transportes até 8m cada, com um intervalo de 3 horas;
 - ✓ 2º dia: 2 transportes até 8m cada, com um intervalo de 3 horas;
 - ✓ 3º dia: 1 último transporte de 8m.
- O funcionamento da gaiola, na sua atividade de submersão, é auxiliado por uma plataforma flutuante;
- Os painéis solares colocados na plataforma, fornecem energia (320 W) ligada a baterias que podem abastecer quase 50Ah durante 4 dias (período máximo sem sol, determinado estatisticamente durante fevereiro).

3.1.2. As Redes

Material de fabrico: Nylon 6,6 ou 11, Polietileno de Alta Densidade, Dyneema®.

A rede pode ser produzida com ou sem nós.

A rede com nós (Fig.41) de nylon foi amplamente usada no início da aquicultura em jaulas, as redes com nós eram tradicionalmente usadas na indústria da pesca. Redes com nós têm boa resistência ao desgaste e são relativamente fáceis de reparar. No entanto, os nós salientes podem ferir o peixe, causando abrasão na sua pele, especialmente quando a densidade do peixe estabelecido aumenta. Além disso, o peso das redes com nós é maior que o peso das redes sem nós para a mesma área.

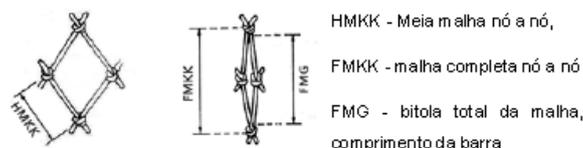


Fig. 41 – Rede com nós

Fonte: FAO 593 – Prado 1990

A rede sem nós (Fig.42) é agora a utilizada praticamente a 100% na aquicultura, podem ser até 50% mais leves, e os custos de produção são mais baixos. Têm uma maior resistência à abrasão, são mais fáceis de manusear e são mais fortes.

As principais características a considerar em relação à rede são: material da fibra, tamanho e forma da malha, entrançado dos fios e cor.

O material da fibra

Hoje em dia utilizam-se sobretudo as fibras de Nylon, Poliéster e Dyneema®.

Tamanho e forma da malha

A rede usada nas jaulas está disponível em duas formas de malha diferentes, em formato de quadrado ou em forma de hexágono. Não há vantagens aparentes em usar uma em vez da outra; é principalmente uma questão de preferências tradicionais. Na Itália, por exemplo, é preferida a malha quadrada, enquanto na Grécia a malha hexagonal é amplamente usada.

Não obstante, com base na prática, podem ser feitas as seguintes considerações:

Malha quadrada

Vantagens:

- a forma da malha permanece sempre aberta em correntes fortes, permitindo que a água facilmente passe através dela;
- melhor durabilidade na água, porque as cargas verticais são distribuídas ao longo dos fios líquidos;
- mais fácil de reparar.

Desvantagens:

- mais desperdício no processo de fabrico da rede, porque a rede precisa ser cortada para fazer painéis quadrados;
- menor elasticidade ao movimento vertical da ação das ondas.

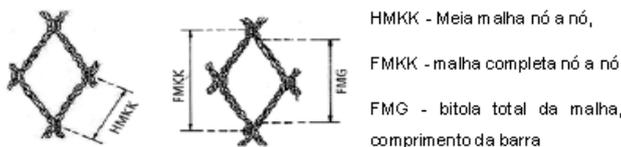


Fig. 42 – Rede de malha quadrada sem nós

Fonte: FAO 593 – Prado 1990

Malha hexagonal (Fig.43)

Vantagens:

- maior elasticidade no movimento vertical, pois as gaiolas estão sujeitas à ação das ondas (é uma característica muito útil para redes com baixa elasticidade, como as de HPPE);

- o menos desperdício durante o processo de fabrico.

Desvantagens:

- o mais difícil de reparar;
- o não é fácil medir o tamanho da malha.

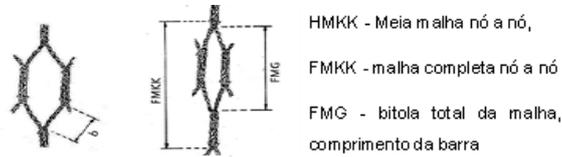


Fig. 43 – Malha hexagonal sem nós

Fonte: FAO 593 – Prado 1990

Entrançado

O entrançado é uma característica da rede, definida pelo número de tranças, realizadas numa máquina de entrançar o fio.

É geralmente referido como macio, médio ou difícil, pois o nível da trança afeta a “suavidade” de uma rede. Para o mesmo número de fios, uma trança mais difícil será mais forte e terá uma maior tensão de rutura. Contudo, uma rede feita com uma trança muito dura pode ser danificada se limpa numa máquina de lavar porque o fio pode ficar enrolado e a forma da malha pode encolher. Com um entrançado mais suave, as redes também podem sofrer problemas de encolhimento, mas não estarão sujeitas a ondulações.

Cor

As redes de nylon são geralmente brancas. Entretanto, cores diferentes podem ser úteis se a espécie estabelecida mostrar comportamentos de mordedura. Por exemplo, a dourada estabelecida em gaiolas brancas vai morder e desgastar a rede. Esses pontos desgastados servem como mais uma atração para os peixes, que mordem persistentemente os mesmos pontos brancos e os transformam rapidamente em buracos. Nesse caso, recomenda-se uma rede de cor preta.

3.2 Sistema de amarração

Material de fabrico: cabos e correntes de aço, cabos de poliéster e associação desses elementos (polisteel), HDPE, HPPE; cimento (nas poitas).

Em sistemas de aquacultura Multiusos ou o IMTA – aquacultura multitrófica integrada, podem obter-se grandes ganhos, com um sistema de amarração integrado, diminuindo em muito os equipamentos necessários e a mão de obra para os colocar.

A amarração em módulos (Fig.44) é economicamente mais consistente; é preferível num sítio altamente exposto, em mar aberto, porque um maior número de âncoras irá manter cada jaula mais segura. Num sítio mais abrigado, aquacultura costeira, podem ser usados módulos maiores, beneficiando assim o sistema de amarração de uma economia de escala, requerendo relativamente menos âncoras e subsequente instalação com menores custos.

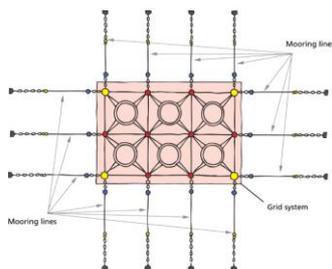


Fig. 44 - Sistema de linhas de amarração num módulo de seis jaulas

Fonte: FAO 593

As linhas de amarração transferem os esforços desenvolvidos pelo ambiente marinho atuante, ao solo, têm de apresentar:

- ✓ Rigidez à flexão desprezível;
- ✓ Boa resistência mecânica cabos
- ✓ Materiais – correntes de aço, poliéster, polisteel, HPPE

3.3 Sistema de alimentação

Existem muitas tarefas diárias que se levam a cabo numa unidade em mar aberto, no entanto grande parte dos recursos humanos e logísticos destinam-se à tarefa de alimentação do pescado. A qualidade final do produto e os lucros económicos de uma aquacultura *offshore* dependem de uma estratégia de alimentação correta (Rubio, 2007). No cultivo intensivo em jaulas os custos de alimentação podem representar entre 40 e 60% dos custos de produção (Houlihan *et al*, 2001).

O peixe deve ser alimentado no maior número de dias possíveis, sempre que as condições ambientais o permitam e o número de vezes que seja conveniente à espécie estabelecida.

Em caso de temporal o peixe pode permanecer sem alimento durante vários dias sem comprometer aparentemente o estado do stock.

A alimentação nas jaulas “offshore” é feita fundamentalmente utilizando dois tipos de sistemas:

- Sistemas de Alimentação Manuais e Automáticos;
- Sistemas de Alimentação Automáticos.



Fig. 45 – Barcaça para alimentação e captura

Fonte: <https://images.search.yahoo.com/search/images>

Sistemas de Alimentação Manuais e Semiautomáticos

Sistemas manuais (Fig.47) ou por canhão de alimentação (Fig.46) por pressão de água.

Quando a jaula está à superfície, a ração pode ser administrada diretamente a partir do barco (Fig.45),

despejando os sacos de ração através da rede, é pouco eficiente porque as correntes oceânicas não proporcionam a descida vertical das partículas de alimento resultando em perdas acentuadas de ração.



Fig. 46 – Alimentação de peixe por canhão de água

Fonte: Exploração aquícola Aquamar – Sines - Portugal

Quando a jaula se encontra no estado submerso, a ração é distribuída por um tubo flexível que se estende do interior da jaula até ao convés do barco. Este tubo de alimentação encontra-se fixo ao longo do cabo de amarração do barco à jaula e sinalizado com uma boia superfície. O tubo é conectado a um dispositivo constituído por um tubo de maior diâmetro ao qual está acoplado um funil.

Uma bomba submersível alimentada por um gerador mantém o fluxo de água, permitindo o arraste da ração até ao interior da jaula à medida que vai sendo introduzida no funil por um trabalhador.

Este método de alimentação também pode ser utilizado quando a jaula se encontra à superfície.

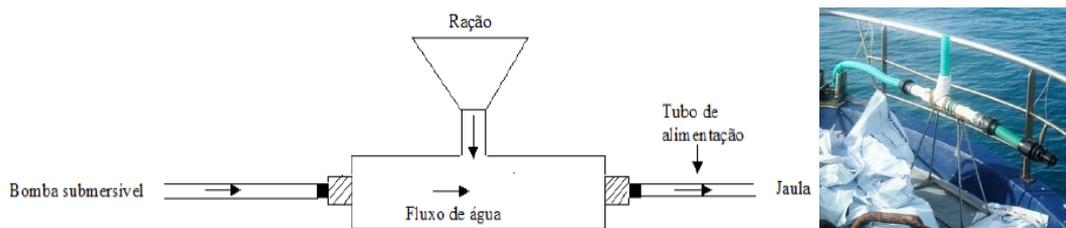


Fig. 47 - Dispositivo usado para a administrar manualmente a ração a uma jaula offshore

Fonte: IPMA - Estação Piloto de Piscicultura de Olhão

Outro processo é o canhão de alimentação (Fig.48) conectado à bomba de água do barco. A bomba de água é operada pelo sistema hidráulico do barco.



Fig. 48 - Canhão de alimentação conectado à bomba de água do barco.

Fonte: Ferreira 2018

Canhão de alimentação com bomba de água integrada, alimentado por motor, sistema autónomo.

Sistemas de Alimentação Automáticos

Sistema de alimentação centralizado numa barçaça (Fig.49) construída para o efeito, onde se encontra a stocagem da ração e o comando da operação de alimentação; em vez da barçaça, pode ser utilizada uma plataforma associada a energias renováveis geralmente fotovoltaica e (ou) eólica.

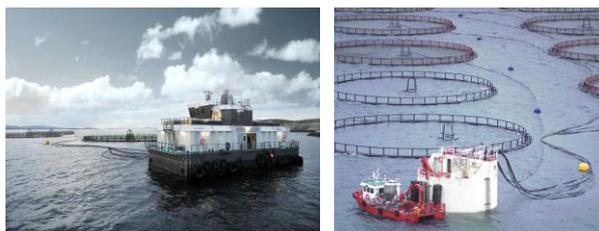


Fig. 49 – Barcaças com stock de ração, sistema de alimentação e outros apoios em cimento armado
 Fonte: Gael Force

As barcaças com stock de ração, em Cimento Armado, da Gael Force, são utilizadas num sistema de alimentação bastante automatizado.

Tubos de alimentação (Fig.50) que conectam o sistema de alimentação centralizado com as jaulas.



Fig. 50 – Sistema de alimentação automática
 Fonte: Steinevik

3.4 Sistema de Limpeza de biofouling

O biofouling (Fig.51) faz-se sentir na estrutura da jaula, nas redes e em todo o sistema de amarração.

As superfícies que se encontram imersas em água marítima, ficam colonizadas por organismos marinhos, num processo que se intitula de bioincrustação (Railkin, 2004).

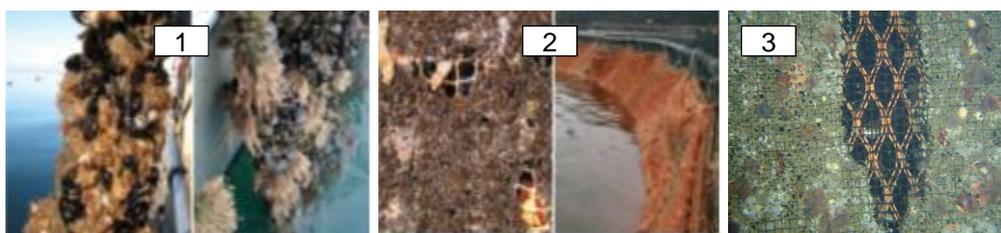


Fig. 51 - Incrustações em infraestruturas de aquicultura
 Fonte: Projeto Foulingless (1 e 2) ; FAO 593 (3)

A superfície imersa é contaminada pela adsorção de macromoléculas presentes na água. A colonização por bactérias, algas e fungos dá-se nas horas seguintes. Estes primeiros colonizadores, criam uma película na superfície, vulgarmente conhecida como “verdete”. Numa última fase, organismos de maiores dimensões colonizam a superfície: algas verdes, cracas, mexilhões, anémonas e invertebrados, obstruindo quase por completo a rede (Willemsen,1994).

A limpeza das redes deverá ser efetuada nos períodos de maior taxa de crescimento de bio incrustação; desta forma será mais acessível a remoção, diminuindo o tempo e a energia gastos para a operação. A limpeza ajudará à circulação da água dentro da rede, contribuindo para a diminuição de risco de doenças e conseqüentemente, o nível de toxinas presentes no pescado (Carrasquinho, 2009).

Uma boa manutenção das redes representa uma diminuição na ocorrência de falhas mecânicas. A acumulação de demasiada bioincrustação nas redes e estruturas, pode originar cortes nas redes e quebras de amarrações devido ao aumento da resistência da água que estes organismos adicionam às estruturas. A bioincrustação reduz em muito a resistência dos materiais e do equipamento.

Limpeza de biofouling - Manuais

Levam a uma troca de rede, que além de envolver um grande número de recursos humanos (Fig.52) e materiais, coloca o peixe em grande stress, são, todavia, os mais utilizados.



Fig. 52 – Método manual de limpeza de fouling
Fonte: Fula 2013

Limpeza de biofouling - Semiautomáticos

São realizados através de um sistema de jacto de água associado a um ou mais discos rotativos que efetuam a limpeza ao projetar água a alta velocidade contra a rede (Fig.53), removendo assim a bioincrustação acumulada.



Fig. 53 – Limpeza de fouling in situ

a - Disco para limpeza de fouling semiautomática b+c - Procedimento de limpeza dos painéis de rede de uma jaula Sea Station® b - limpeza do lado exterior c - limpeza do lado interior
Fonte: Fula 2013

Robotizadas

Funcionam em tudo como os semiautomáticos, capazes de se locomover pela rede ou por controlo remoto (Fig.54) a partir de uma sala de controlo ou mesmo sem qualquer auxílio direto de um funcionário.



Fig. 54 – Sequência de Limpeza Automática AKVA de Rede
Fonte: <https://www.nauticexpo.com/pt/prod/akva-group-asa/product-44708-549017.html>

3.5 Sistema de captura

Esta operação é crítica, representando o culminar de dois anos de criação, por isso é extremamente importante que o peixe não seja danificado ou perdido nesta fase. A captura envolve a atracagem do barco à gaiola e a utilização dum dos métodos (Fig.55 e 56):

- Procede-se à recolha parcial da rede, de forma a concentrar os peixes num volume menor;
- Lançar uma rede e içá-la carregada de peixe para o barco utilizando um guincho, ou;
- Bombear diretamente o peixe a partir duma redução de volume da própria rede por meios mecânicos instalados ou por mergulhadores que cercam o peixe, confinando-o de modo a poder capturá-lo nessa condição.

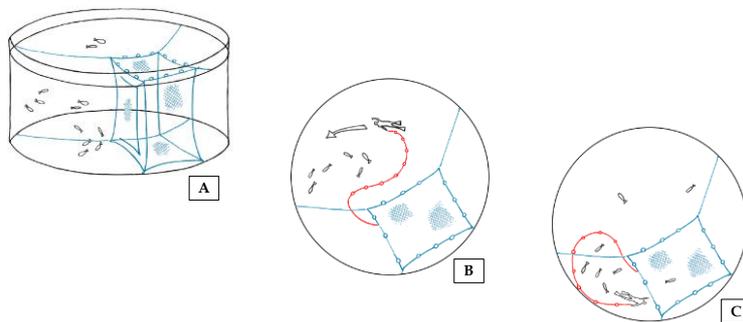


Fig. 55 – Fases dum esquema de confinamento do peixe para captura

Fonte: FAO 593



Fig. 56 - Pesca de peixes de uma gaiola flutuante

a) peixes agrupados densamente na rede de cerco; b) peixe colhido com xalavar; c) capturar o peixe com um guindaste a bordo; d) rede de coleta equipada com sistema de libertação rápida

Fonte: FAO 593

3.6 Sistema de controlo

Todas as operações podem ser controladas remotamente ou numa plataforma, minimizando o uso de embarcações de serviço e equipamentos externos e, assim, tornando toda a instalação mais ecológica.

Os sistemas de controle e monitoramento altamente integrados, incluem genericamente:

- Sistema de alarme e monitoramento;
- Sistema de controle auxiliar;
- Sistema de gestão de energia;
- Controle de alimentação;
- Sistema de controle de limpeza de fouling;
- Monitoramento e controle de carga animal e animais mortos;

- Controlo de sistemas gerais.

As instalações aquícolas enfrentam uma forte pressão para aumentar a eficiência e garantir a segurança nas suas atividades. A necessidade de monitorizar em contínuo o comportamento das jaulas de aquacultura prevenindo as ruturas dos cabos de ancoramento e a conseqüente perda das espécies, conduziu ao desenvolvimento de sistemas de monitorização (Fig.57) do estado de degradação dos cabos, capaz de fornecer dados predictivos e despoletar intervenções corretivas atempadas.



Fig. 57 – Esquema de sistema integrado de software – controlo à distância – sensores; camara de vídeo

Fonte: Steinvik

O projeto Smartcatch (financiado pela EU – 2008-2012), desenvolveu uma solução de monitorização contínua do estado dos cabos, através da instalação nos próprios cabos, de uma tecnologia de sensores baseados no efeito de transformação de fase, existente em ligas metálicas com "memória de forma", para assim obter como resultado uma informação sobre o estado de degradação e alongamento destes elementos, usados no ancoramento dos sistemas de aquacultura. A partir do sinal deste sensor, é possível, através de um sistema de transmissão à distância para uma central de monitorização, a identificação do estado de cada elemento constituinte do sistema (Fig.58) de forma individualizada, permitindo intervencionar os mesmos para assim prevenir a ocorrência de falhas e de acidentes.

Os equipamentos utilizados no controlo são genéricos, utilizados em muitos outros setores, todavia alguns cuidados especiais têm de ser tomados, pelo facto de estarem imersos em água salgada.



Fig. 58 – Sistema integrado de software – controlo - sensores

Fonte: Steinvik

Novas soluções de materiais se colocam, nomeadamente compósitos (Fig.59) com sensores integrados.

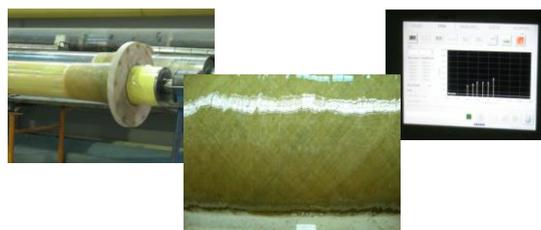


Fig. 59 – Fibra ótica integrada no fabrico de materiais compósitos

Fonte: INEGI

3.7 Embarcações

Material de fabrico: Aço, alumínio e fibra de vidro.

Associado ao desenvolvimento da aquacultura de mar aberto, surge a necessidade de embarcações especializadas ou modificações de outras já existentes. A necessidade de operar estas unidades longe de bases costeiras e a impossibilidade de estabelecer plataformas de trabalho na maioria dos modelos em mar aberto, torna a embarcação um elemento fundamental de sucesso da atividade (Paleo, 2000).

Embarcações não especializadas comprometem a alimentação, a pesca e operações básicas de manutenção colocando em risco a tripulação em condições oceânicas mais extremas (Turner 2000).

Existem vários critérios que se devem ter em conta ao selecionar uma embarcação, tais como:

- ✓ Modelo e número de jaulas a utilizar
- ✓ Produção prevista
- ✓ Capacidade de carga necessária
- ✓ Condições oceânicas da zona a navegar (tamanho do barco, estabilidade)
- ✓ Distância ao porto
- ✓ Quais as operações que a embarcação vai suportar
- ✓ Equipamento eletrónico
- ✓ Durabilidade

Existe uma grande variedade de modelos de embarcações com potencial para operar as unidades em mar aberto. Na opinião do autor, uma unidade deste género deve ter no mínimo duas embarcações. Uma embarcação de apoio, mais pequena (<8 m) e mais rápida para fornecer apoio a mergulhadores e a outras atividades, como por exemplo a pesca.

A segunda embarcação de maiores dimensões deve ser multifuncional e incluir meios para o transporte de juvenis, de elevadas quantidades de ração, tinas para o transporte do pescado e servir ao mesmo tempo de suporte operacional a mergulhadores e a outras atividades de manutenção.

Uma embarcação com a capacidade de operar uma unidade *offshore* deve apresentar as seguintes características:

- Grua hidráulica
- Guincho (4-5 t)
- Porão amplo
- Instalações para a tripulação
- Armazenamento de material
- Gerador trifásico
- Compressor de encher garrafas
- Equipamento eletrónico
- Capacidade de carga

A grua hidráulica é usada para movimentar as tinas com peixe e gelo do cais para o barco ou vice-versa, é também nas atividades de pesca, movimentação de cabos, flutuadores e troca de redes. O

guincho deve ter uma capacidade para a movimentação dos ferros e poitas.

O porão deve ser amplo e sem obstruções de modo a facilitar o transporte de grandes quantidades de ração, tanques de transporte de juvenis e tinas para o armazenamento do pescado. Deve permitir a realização de várias tarefas em simultâneo, como alimentação e preparação dos mergulhadores, movimentação de cabos, etc. (Pousão-Ferreira, 2008).

O gerador trifásico é necessário para alimentar os equipamentos, tais como as bombas submersíveis usadas na alimentação, o compressor de enchimento de garrafas, compressor da máquina de limpeza das redes, etc.

Deve também haver uma zona de armazenagem de material de mergulho, cabos, rede, manilhas, e outros materiais para a manutenção das jaulas.

O modelo de embarcação usado pelo IPIMAR (Fig.60) foi desenhado especificamente para operar as jaulas oceânicas.



Fig. 60 - Embarcação "Puntazzo" usada pelo IPIMAR para operar as jaulas Sea Station

Fonte: IPIMAR, Pousao-Ferreira

Na Fig.61 apresentam-se outros modelos de embarcações que podem ser usadas para operar uma unidade offshore.



Fig. 61 – Embarcações para aquacultura

Fonte: <http://www.nautiber.pt/portfolio/don-paco-16730>

4. Materiais utilizados nos equipamentos de Aquacultura

A evolução dos materiais, foi lenta, só tendo tido um avanço considerável, na segunda metade do sec. XX, quando, pelas exigências da indústria em geral, começou a integrar-se nos cálculos da engenharia, os conhecimentos da mecânica da fratura e corrosão, no comportamento em serviço,

Novos materiais: polímeros de síntese, compósitos, novas ligas metálicas, passaram a estar à disposição dos engenheiros, o desenvolvimento da Ciência e Engenharia de Materiais contribuiu de forma decisiva para a construção de equipamentos seguros também para a aquacultura.

- o conhecimento das suas propriedades químicas, mecânicas e microestruturais;
- os avanços na química orgânica de síntese;
- o controlo dos processos de produção e dos produtos industriais;
- em particular o estudo aprofundado dos materiais pelo nuclear e aeroespacial

trouxeram o input decisivo ao desenvolvimento de materiais, de forma a poder acompanhar o desenvolvimento dos equipamentos em geral, e da aquacultura em particular, sujeita a uma enorme procura face à necessidade demográfica e estagnação da pesca extrativa, que então se constatou.

Apesar disso a madeira (um compósito natural), certas fibras naturais como o sisal, linho, seda e cânhamo, de entre outras, continuam a ser usadas ou passaram a integrar novos materiais, por exemplo, compósitos destas fibras com poliestireno ou a própria madeira um compósito e um sobrevivente em si ou reforçada, ou ainda a integrando de materiais comuns como cimento armado, na construção de barcaças de alimentação.

Os sistemas de automação e controle fizeram o seu aparecimento disruptivo no setor, possibilitando o aproveitamento de novas áreas marinhas e controle do processo com diminuição do trabalho humano no mar e abaixamento do risco.

Desenvolvendo-se as diferentes áreas, domesticação das espécies e seu estudo, dietas, engenharia, equipamentos para estabulação do peixe, construídos com novos materiais e tecnologias que permitiram a construção de maternidades, locais de Pré-engorda a engorda abundante de peixe em lugares abrigados próximos da costa e das acessibilidades logísticas.

Com a ida para mar aberto, uma nova situação se coloca, com exigências específicas e soluções diferentes, também elas com maior exigência e especificidade, basta referir o impacto na salmonicultura, que passou, com a utilização de jaulas offshore PE, de 6000 t para 120000 t.

A evolução histórica dos materiais usados nos equipamentos, ao longo dos tempos, é naturalmente inspiradora das soluções que hoje se usa no fabrico de:

Redes, fios e cabos

Lã, seda e fibras vegetais, foram substituídas por fibras sintéticas. Também se utilizam fios metálicos, normalmente entrançados com fios sintéticos, muito raramente sozinhos.

As fibras sintéticas (Fig.62) desempenham um papel fundamental no setor da aquacultura, onde são utilizadas para fabricar redes e cabos.

Os mesmos polímeros podem ser usados tanto para as redes das gaiolas como para as amarras, onde se põem questões semelhantes em termos de robustez, manutenção e fiabilidade.

De entre as fibras sintéticas, o Nylon sobressai pela resistência e durabilidade (muito semelhante à estrutura molecular das fibras naturais originais), o Poliéster, recentemente o Dyneema®-HPPE

(polietileno de alta performance) e o Spectra®- UHMWPE (polietileno de alta massa molecular);



Fig. 62 – Fios entrançados de vários materiais: a - Nylon b – Dyneema® c – Poliéster

Fonte: <https://www.google.com/search?source=univ&tbm=isch&q>

Estrutura das jaulas

Madeira e bambu, de entre outros compósitos naturais (que ainda hoje se utilizam sobretudo na aquacultura nos rios), substituídos por materiais poliméricos, dos quais se destaca o HDPE-polietileno de alta densidade e aço.

- resistência às solicitações mecânicas (por impacto de ondas e correntes);
- **incrustações de fouling** - que aparecem muitas vezes associadas a acidentes de arrasto, afundamento e diminuição do teor de O₂ no interior das jaulas.
- **crescente concorrência com outras atividades** – turismo, movimento crescente de embarcações e pressão humana sobre o litoral;
- aumento dos custos operacionais e de exploração.

constituem a principal preocupação, levando ao desenvolvimento e inovação nas áreas de identificação de tecnologias/resinas utilizadas pela indústria, no combate do “fouling” em estruturas marítimas e navais, não esquecendo que no caso de se operar em Mar Aberto ou Oceano, o fouling diminui.

4.1. Aprestamentos (Redes, fios e cabos)

Os equipamentos “Redes, Fios e Cabos”, são maioritariamente constituídos pelos seguintes materiais (Tabela 4):

- lã, seda e fibras vegetais, materiais naturais, com usos ancestrais, mas que ainda hoje se utilizam;
- Nylon 6,6 - Poliamida (PA 6,6);
- Nylon 11 - Poliamida (PA 11);
- Poliéster (PES);
- Polipropileno (PP);
- Fios metálicos de aço e cobre;
- Polietileno de Alta Densidade (HDPE);
- Dyneema® - Polietileno de Alta Performance (HPPE ou UHMWPE)
- Spectra® - Polietileno de Alto Peso Molecular (HPPE ou HMPE)

Fibras de poliéster e polipropileno podem ser trançadas juntas, criando cabos e redes com as

características combinadas dos dois polímeros.

Todos estes polímeros não são solúveis em água, têm boa resistência química e são, portanto, bem-adaptados para uso no meio marinho, proporcionando excelente durabilidade e fiabilidade.

Tabela 4 - Fibras têxteis, densidade e fator de multiplicação para calcular o peso na água

Fonte: FAO 593

Material	Densidade g/cm ³	Fator multiplicativo	
		Água Doce	Água Salgada
Algodão	1.54	0.35 (+)	0.33 (+)
Linho	1.50	0.33 (+)	0.32 (+)
Sisal	1.49	0.33 (+)	0.31 (+)
Cânhamo	1.48	0.32 (+)	0.31 (+)
Poliéster (PES)	1.38	0.28 (+)	0.26 (+)
Nylon, poliamida (PA)	1.14	0.12 (+)	0.10 (+)
Polietileno	0.95	0.05 (-)	0.08 (-)
Polipropileno	0.90	0.11 (-)	0.14 (-)

As redes, para além do material que as constituem, têm de ser vistas segundo:

- Tipo de nós:
- Redes com nós
- Redes sem nós
- Tipo de malha e seu sol;
- Diâmetro do fio (Ø)

Atualmente as fibras mais utilizadas nos equipamentos marítimos são:

- ✓ nylon 6,6;
- ✓ nylon 11;
- ✓ poliéster;
- ✓ HDPE-Polietileno de alta densidade;
- ✓ HPPE-Polietileno de alta performance – “Dyneema®”.

Nylon – PA-Poliamida

A estrutura química típica da Poliamida (Fig.63):



Fig. 63 - Estrutura química típica da Poliamida

Fonte: <https://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/pa.html>

A influência do grau de cristalinidade da poliamida, é marcante nas suas propriedades físicas. Porém, o efeito da cristalinidade nas PAs não pode ser abordado sem se levar em conta a absorção de água (Fig.64). Isso ocorre devido à natureza higroscópica das ligações de hidrogénio que mantêm unidas as

amidas adjacentes. A presença de água nas poliamidas funciona como plastificante, reduzindo o emaranhamento e as ligações entre as moléculas da região cristalina, aumentando o seu volume e mobilidade. A temperatura de transição vítrea (Tg) de polímeros que absorveram água é menor após a absorção, devido à quebra da ligação de hidrogénio entre as cadeias de poliamida.

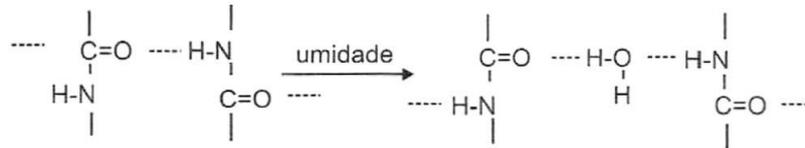


Fig. 64 - Esquema de absorção de água pelas poliamidas

Fonte – Wiebeck 2005

O grau de cristalinidade e a absorção de água apresentam efeitos opostos nas propriedades físicas da poliamida, a absorção de água representa uma menor resistência mecânica, maior ductilidade e menor encolhimento pós-moldagem. O aumento do grau de cristalinidade tem o efeito oposto em todas as propriedades referidas acima.

Podemos destacar propriedades na poliamida que a torna um material técnico com uma grande variedade de aplicações, é a facilidade de processamento, resistência ao desgaste e a abrasão, alta temperatura de fusão quando comparado aos poliésteres e boa resistência ao impacto. Apesar das suas vantagens, a aplicação deste material é limitada pela sua sensibilidade aos estados triaxiais de tensões, fragilidade ao entalhe, natureza higroscópica e instabilidade dimensional (Tzika 2000).

Os nylons absorvem mais humidade do ar ou da água do que a maioria dos outros polímeros. Isso afeta os processos em que está envolvido, a estabilidade dimensional e as propriedades físicas. A humidade atua como um plastificante, reduzindo a resistência à tração e a rigidez e aumentando o alongamento. Porém, enquanto a humidade absorvida (Fig.65) reduz muitas propriedades, o nylon deve parte da sua resistência ao efeito plastificante da humidade. À medida que o teor de humidade aumenta, ocorrem aumentos significativos na resistência ao impacto e nas características gerais de absorção de energia. Devidamente reconhecido e contabilizado, o efeito da humidade no processamento e nas propriedades do nylon não precisa ser motivo de grande preocupação.

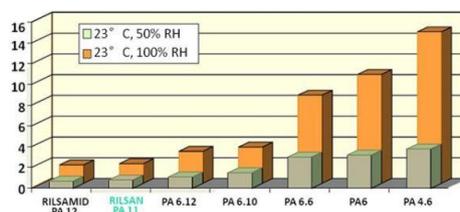


Fig. 65 - Absorção de água (%) de diferentes poliamidas

Fonte: <https://www.resinex.pt/produtos/rilsan.html>

Devido à afinidade com o hidrogénio presente na água, as poliamidas absorvem mais água que alguns materiais alternativos nomeadamente o PE (polietileno).

A quebra de cadeias por hidrólise (Fig.66), leva a uma massa molecular crítica onde as cadeias não mais interconectam eficientemente as lamelas cristalinas. A molécula de água além de quebrar a cadeia faz com que haja perda na força de interligação entre duas cadeias distintas, antes interagindo por ligações de hidrogénio (Fig.67). Um modelo alternativo diz que esta queda na massa causa a

diminuição do número de entrelaçamentos presentes na estrutura do polímero, e com isso reduz a resistência mecânica do material (Werth *et al.*, 2002).

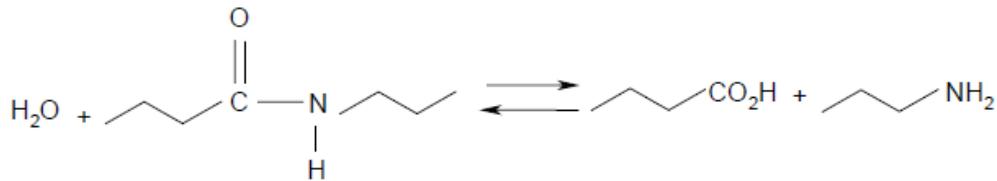


Fig. 66 - *Reação de hidrólise das poliamidas*

Fonte: Werth 2002

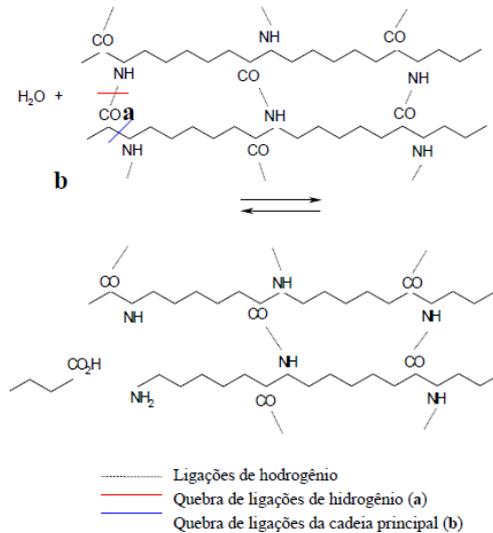


Fig. 67 - *Rompimento das ligações de hidrogénio entre cadeias causada pela interação da molécula de água com o grupamento terminal -CONH*

Fonte: Werth 2002

O nylon tem boa resiliência, ductilidade e resistência ao choque, e pode aumentar o comprimento de cada componente após um período de trabalho de alguns meses em cerca de 10%.

Portanto, um sistema de amarração de nylon precisará ser tensionado novamente alguns meses depois de ter sido implantado.

As jaulas de rede de nylon aumentarão em profundidade de 5 a 10 por cento devido ao alongamento de cabos e redes sujeitas a cargas provenientes da bioincrustação ou das chumbadas na rede.

As fibras de nylon também podem encolher, causando problemas na rede. Após várias lavagens na rede, é possível que as dimensões horizontais da jaula possam ser reduzidas 3-5%.

Na montagem da rede, deve-se sempre considerar esse fator e considerar uma compensação extra, incorporada nos valores de projeto, para permitir esse fenómeno.

A similitude das propriedades, entre os materiais antigos e os atuais é notória, veja-se a seda VS nylon.

Os fios de seda são constituídos por uma fibra (fibroína) (Fig.68) envoltos por uma cera (sericina)

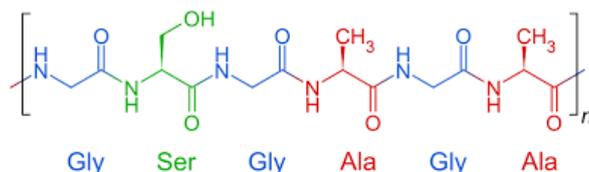


Fig. 68 – Estrutura molecular primária da fibroína

Fonte: Nogueira 2005

Nylon 66 ou 6,6

O nylon inicialmente mais utilizado nos aprestamentos de aquacultura é o nylon 6,6 (Fig.69), feito de dois monómeros contendo cada um, 6 átomos de carbono, hexametilenodiamina e ácido adípico, que dão nome ao nylon 6,6.

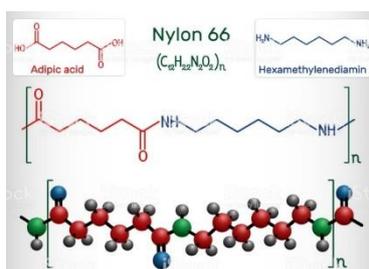


Fig. 69 – Estrutura molecular do Nylon 6,6

Fonte: Palmer 2001

A grande diferença entre o nylon (poliamida 6,6) e a seda é a distância entre os grupos amídicos, pois as proteínas da seda, sendo poliamidas originadas por aminoácidos naturais, têm um grupo amídico a cada dois átomos de carbono, enquanto na poliamida 66 os átomos de carbono entre um grupo amídico e o sucessivo são seis. Mas a flexibilidade dos grupos metílicos permite à poliamida 66 gerar um elevado número de ligações de hidrogénio seja durante a cristalização, como durante a estiragem.

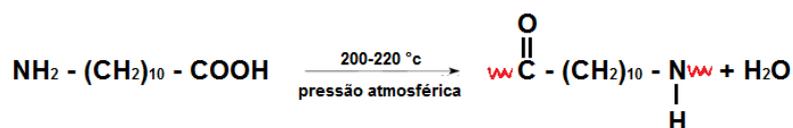
Outra diferença essencial é o facto de a seda ser um tipo de poliamida AB, onde os grupos CO e NH se alternam ao longo da cadeia, enquanto a PA 6,6 é uma poliamida do tipo AABB, onde aos dois grupos CO seguem dois grupos NH.

Características Principais do Nylon 6,6

- Designação Química - PA 6,6 (Poliamida 6,6);
- Cor - marfim opaco;
- Densidade - 1.15 g/cm³;
- Eletricamente isolante;
- Baixo coeficiente de atrito;
- Elevada resistência mecânica;
- Boa soldabilidade e colagem;
- Elevada tenacidade;
- Resistente a grande variedade de óleos e combustíveis.

Nylon 11

Apresenta-se o esquema de formação (Fig.70) da PA11:



ácido ω -aminoundecanóico

Poliamida 11

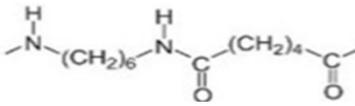
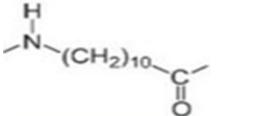
Fig. 70 - Síntese da PA-11 a partir do ácido ω -aminoundecanóico

Fonte: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017679.pdf>

Embora o Nylon inicialmente utilizado em aquacultura fosse o 6,6, posteriormente devido ao seu comportamento em água, passou a ser o Nylon 11 o mais utilizado (Tabela 5).

Tabela 5 – Monómeros dos Nylon 66 e 11

Fonte – Adaptado (University of York 2003)

Poliamida Nylon	Monómero
66 ou 6,6	
11	

Aplicado há 70 anos, desde o seu início, é sinónimo de desempenho e durabilidade. O Ny11 é a única poliamida de elevado desempenho produzida com base em fontes renováveis – Óleo de castor. O Nylon 11 apresenta uma absorção de água muito baixa, estabilidade dimensional excelente, perdendo apenas para o Ny12; menor dureza e rigidez que o Ny6,6. Foram sem dúvida estas características que levaram a que substituísse o nylon 6,6 em aquacultura.

A poliamida 11 foi um dos primeiros materiais escolhidos para aplicações *offshore* devido à sua resistência à fadiga de flexão, excelente resistência à fluência e alta resistência ao envelhecimento. Apresenta ainda boa resistência à tração, devido à alta concentração de hidrocarbonetos, absorve bem menos água que as poliamidas 6 ou 6,6. O elevado teor de plastificante do material desloca a sua temperatura de transição vítrea para valores próximos a 0°C, aumentando desta forma a sua tenacidade e a sua resistência ao impacto (Jacques *et al.*, 2002).

Propriedades principais de PA11 (RILSAN®):

- Densidade baixa: substituição de metal ou borracha;
- Resistência química a combustíveis, óleos, gases, água, bases, ácidos, solventes e líquidos;
 - ✓ A resistência química excelente, reflete-se tanto na estabilidade dimensional, alta em condições adversas, como na não-degradação da matriz polimérica;
 - ✓ Apresenta uma resistência excelente a óleos, fluidos hidráulicos e combustíveis;
- Baixa absorção de humidade: estabilidade dimensional, consistência de propriedades;

- ✓ Na água em equilíbrio: PA11 = 1,9%;
 - ✓ A 23°C, 50% RH em equilíbrio: PA11 = 0,9%;
 - Resistência mecânica: apresenta propriedades mecânicas excelentes numa vasta amplitude de temperaturas, associada à flexibilidade, plasticidade, comportamentos elásticos.
 - ✓ Resistência à tração: aquando da rutura apresenta alongamento e resistência à tração elevadas e do ponto limite de elasticidade;
 - ✓ Resistência ao impacto: demonstra uma resistência ao impacto muito boa à temperatura ambiente, bem como a temperaturas muito baixas
 - Resistência excelente a envelhecimento, durabilidade, etc.;
 - Estabilidade térmica com amplo intervalo de funcionamento: de -60°C até +150°C, é a única poliamida no mundo capaz de funcionar num tão amplo intervalo;
 - Processamento: classes dedicadas a processos diferentes;
 - Baixa permeabilidade a combustíveis, gases, etc.
- ✓ Como regra geral, a PA11 Rilsan® oferece melhores propriedades de barreira a gases e líquidos do que outros termoplásticos ou borrachas flexíveis.

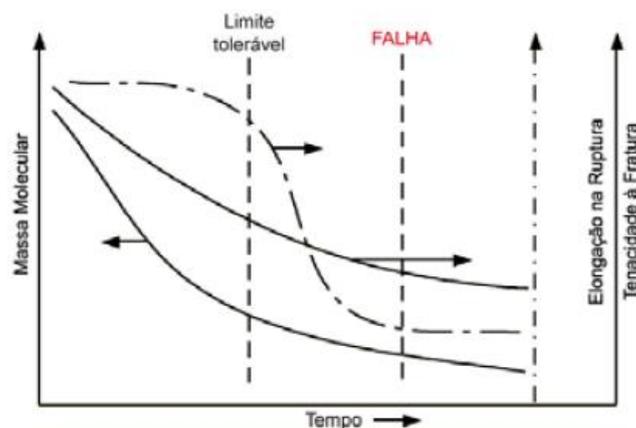


Fig. 71 - Influência da massa molecular nas propriedades mecânicas da poliamida 11 tensão admissível

Fonte: (API, 2003)

Na Tabela 6 apresenta-se uma comparação das propriedades das PA mais utilizadas em aquacultura, PA 6,6 e PA11.

Tabela 6 - Principais propriedades das poliamidas 6,6 e 11

Fonte: Dominghaus 1988

Propriedade		Poliamida	
		6,6	11
Densidade	g/cm ³	1,14	1,04
Absorção de Água (equilíbrio)	%	7 - 10	0,9 - 1,3
Limite de Resistência	MPa	40	62
Elongação no limite de resistência	%	18	18,5
Tensão de Rutura	MPa	60	72,6
Elongação de Rutura	%	200	100
Módulo de Elastecidade	Gpa	1,2	1,9
Resistência ao Impacto			
Izod, 23°C, entalhado	J/m	40 - 800	370 - NQ*
Izod, 23°C, não entalhado	J/m	640	-
Temperatura de serviço ao ar, sem carga			
Ensaio de longa-duração	°C	80 - 100	70 - 80
Ensaio de curta-duração	°C	140 - 180	140 - 150
Condutividade Térmica	W/m-k	0,29	0,29
Temperatura de Fusão	°C	225	185
Temperatura de Transição Vítea	°C	55	45

NQ* - não quebra

Poliéster

A formação do Poliéster processa-se segundo o esquema da Fig.72.

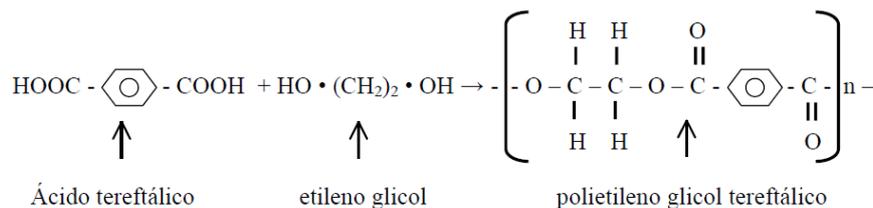


Fig. 72 – Formação de Poliéster

Fonte: (Navarro 2007)

As moléculas de baixo peso molecular reagem entre si, formando moléculas de alto peso molecular, com adição de alguns aditivos, que são responsáveis por controlar as reações químicas e conferir certas propriedades às fibras;

O poliéster para fins marítimos apresenta-se na forma de fios de filamento contínuo (Fig.73).

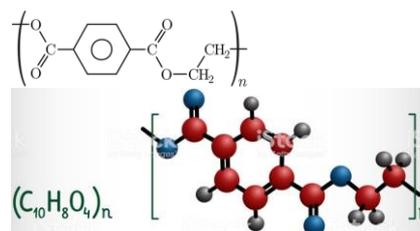


Fig. 73 – Estrutura molecular de Poliéster

Fonte: https://images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=A0qeJaTOuetLRkAJh1XNyoA

Características Principais do Poliéster

- Deformação – recupera rapidamente de um alongamento de 1%, a recuperação será superior a 90% para um alongamento de 3%; tem grande utilização em cabos para aquacultura com amarrações em águas profundas.
- Temperatura – Ponto de Fusão Cristalino – 260 °C

Ponto de Transição Vítrea – 80 °C

- Não pode ser estirado a frio pois as regiões amorfas não têm fluidez nem flexibilidade;
- É muito menos sensível que o nylon à oxidação e pode resistir um tempo considerável a temperaturas até aos 200 °C;
- Resiste à ação da radiação dos UV do sol, muito melhor que o nylon e apenas com a proteção de um vidro transparente resiste durante anos à exposição;
- O efeito de ácidos é insignificante, diferente de outras fibras têxteis;
- Tem boa resistência à maioria dos agentes oxidantes e redutores e não é solúvel na maior parte dos solventes orgânicos, com exceção dos do grupo dos fenóis;
- Os ácidos mono, di e tricloroacético dissolvem o poliéster;
- Os hidrocarbonetos e os solventes comuns não afetam as fibras de poliéster;
- A absorção de humidade das fibras de poliéster é muito baixa, menos de 1%, o que provoca a tendência para produção de eletricidade estática.

A ancoragem com cabos em poliéster montados em *Taut-leg* (Fig.74) foram os primeiros a ser usados em mares ultra profundos substituindo correntes de aço em catenária.

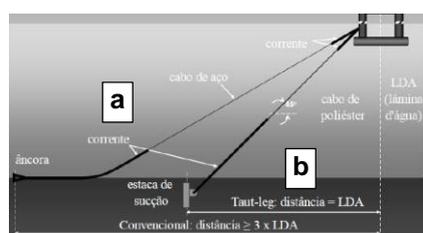


Fig. 74 – a) Cabo em catenária ; b) Cabo em taut-leg

Fonte: Gión 2009 (modificado)

O cabo de poliéster torna a amarração segura e, para grandes profundidades, mais leve e com menores custos, pois a necessidade de cabo poliéster é relativamente à corrente em aço, de menor dimensão, necessitando, contudo, de alguma corrente de aço, como lastro, devido à baixa densidade do poliéster.

PP - Polipropileno

A rede de polipropileno não é muito utilizada no fabrico de redes para jaulas, mas é frequentemente utilizada para redes predadoras e de proteção de aves.

Tem como propriedades principais:

- Densidade = 0,92
- Resistente à rutura relativamente baixa
- Altamente resistente à abrasão

As redes de polipropileno com grande tamanho de malha e grande espessura de fio também são usadas na cultura do mexilhão, porque a flutuabilidade da fibra contrasta com o peso dos mexilhões.

Polysteel

Polysteel é um material resultante do entrançamento de fios de aço galvanizado com fios de poliéster, é muito utilizado nas amarrações em aquacultura.

Comparado ao cabo de polipropileno tradicional, o Polysteel possui quase o dobro da resistência à

tração, menos alongamento e maior resistência à abrasão.

Acresce ainda uma resistência UV extremamente alta, e não é de admirar que o Polysteel seja considerado o menor custo por quilo de resistência à tração de qualquer corda sintética.

Os cabos têm nomes comerciais registados como Polysteel® e Polysteel Leaded®, que incluem o cabo com chumbo de design exclusivo conhecido como "SCR", que a Polysteel Atlantic (produtora), espera vir a revolucionar a indústria de aquacultura e pesca de hoje.

PE - Polietileno

O monômero do etileno dá origem, consoante as condições de polimerização (Fig.75), a variados polímeros com características e propriedades distintas, entre estes estão os muito utilizados em aquacultura:

HDPE - polietileno de alta densidade; HPPE - polietileno de alta performance - Dyneema®.

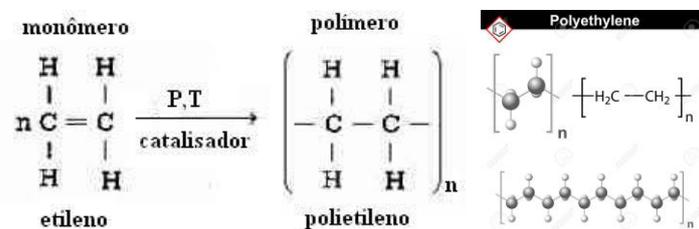


Fig. 75 – Estrutura molecular do Polietileno (HDPE e HPPE)

Fonte: <https://polymerdatabase.com/polymers>

O PE é um polímero semi-cristalino (Fig.76) - apresenta uma combinação de zonas amorfas, onde as cadeias macromoleculares são desordenadas e zonas cristalinas onde as cadeias poliméricas são organizadas.

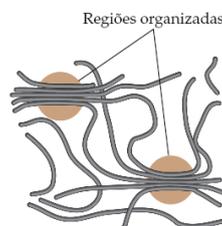


Fig. 76 - Morfologia de um polímero semi-cristalino

Fonte: Brown 2004

Interações entre as cadeias poliméricas nas zonas indicadas por círculos, as forças que agem entre os segmentos de cadeias poliméricas adjacentes levam a uma organização semelhante à organização nos cristais, embora menos regular.

As propriedades do polietileno variam com o grau de cristalinidade (Fig.77). A estrutura linear simples do polietileno é útil para as interações intermoleculares que levam à cristalinidade. O grau de cristalinidade no polietileno depende muito da massa molecular média. Nas baixas densidades, existem cadeias laterais fora da cadeia principal do polímero, como ramais curtos que se dividem a partir da linha principal. Esses ramais inibem a formação de regiões cristalinas (Brown 2004).

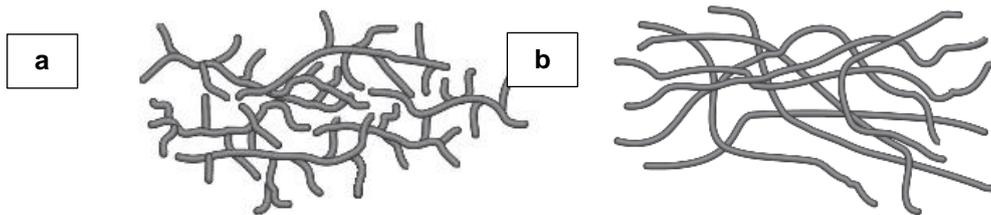


Fig. 77 – Ilustração esquemática da estrutura de polietilenos
 a – LDPE – Polietileno de baixa densidade b – HDPE – Polietileno de alta densidade
 Fonte: Brown 2004

Mais precisamente, o polietileno possui uma macroestrutura conhecida como esferulítica (Fig.78). A parte cristalina é constituída por moléculas regularmente organizadas dentro de lamelas.

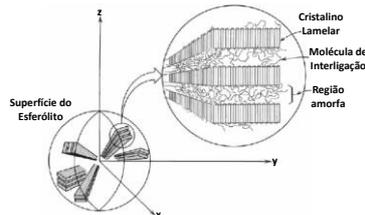


Fig. 78 - Representação da estrutura de um esferólito
 Fonte: Fried 1982

As lamelas são interconectadas por moléculas de interligação, as quais formam pontes interlamelares que constituem as regiões amorfas. As lamelas, por sua vez, são agrupadas em esferólitos. O esferólito possui um diâmetro de aproximadamente 10×10^{-6} m.

Muitas propriedades físicas e químicas do polietileno mudam com o grau de cristalinidade:

- A cristalização é sinónimo de organização, o número de cadeias por unidade de espaço e a densidade do polietileno aumenta com um incremento de cristalinidade;
- Nas regiões cristalinas, as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas são mais intensas. Portanto, um polietileno muito cristalino apresentará uma rigidez mecânica maior, a tensão de rutura aumenta também com o grau de cristalinidade, mas o alongamento à rutura diminui;
- De um ponto de vista térmico, a intensificação das mesmas forças intermoleculares provoca o incremento da temperatura de fusão;
- As zonas cristalinas apresentam um espaço intermolecular (volume livre) menor que o das zonas amorfas. Então, a difusão de um líquido será mais difícil nas regiões organizadas. Assim também, o efeito produzido pelas forças intermoleculares faz com que o polietileno de alta cristalinidade tenha uma menor sensibilidade aos solventes.

A forte relação entre a cristalinidade e as propriedades físicas ou químicas dos polímeros semi-cristalinos, faz com que cada tipo de polietileno tenha o seu próprio campo de aplicação.

Propriedades químicas dos polietilenos

Os polietilenos, por serem poliolefinas, apresentam baixa polaridade, e consequentemente uma resistência aos agentes químicos habituais que pode classificar-se de excelente (Gassman 2005).

- Os polietilenos possuem uma boa estabilidade química;
- A temperaturas inferiores a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ são praticamente insolúveis;
- Não são atacados por ácidos (sais oxidantes), bases, nem soluções de sais;

- São insolúveis em água, pouco sensíveis à água, inclusive a ferver, e à humidade, da qual absorvem menos de 0,01 %. Esta qualidade mantém-se inclusive a temperaturas elevadas (Jiao 2006);
- São hidrofóbicos.

Propriedades físicas dos polietilenos

Densidade

A densidade situada entre 0.93 e 0.96, corresponde a um material de baixo peso, que permite a fabricação de tubulações com grandes comprimentos, sem prejudicar a facilidade de instalação.

Módulo de elasticidade

Está limitado entre 850 e 1200 MPa – ou seja, é muito baixo. Assim, permite a apresentação de tubos em bobinas. Consegue-se desta forma instalar a tubulação em troncos não retilíneos (caso das jaulas circulares) (Conard 1998).

HDPE - Polietileno de alta densidade

É um polietileno, HDPE – polietileno de alta densidade.

O HDPE é altamente cristalino (acima de 90%) (Fig.79), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Este polímero contém menos de uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal, a sua temperatura de fusão cristalina é ≈ 132 °C e a densidade está entre 0,95 e 0,97 g/cm³.

O peso molecular numérico médio fica na faixa de 50 000 a 250 000 (Pereira et. al. 1997) e raramente ultrapassa os 500 000 (Coutinho 2003).

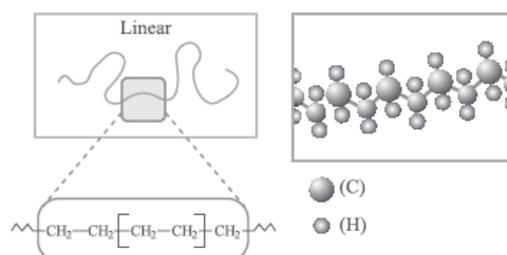


Fig. 79 - Representações esquemáticas da estrutura do HDPE

Fonte: FAO 498

A linearidade das cadeias e conseqüentemente a maior densidade do HDPE fazem com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam mais eficientes; as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente, e, como consequência, a cristalinidade seja maior (Coutinho 2003).

Características Principais do HDPE (Coutinho 2003) (Tabela 7):

- Exibe baixa reatividade química, é estável em soluções alcalinas de qualquer concentração e em soluções salinas, independente do pH, incluindo agentes oxidantes como KMnO₄ e K₂Cr₂O₇;
- Não reage com ácidos orgânicos, HCl ou HF, soluções concentradas de H₂SO₄ (> 70%) sob elevadas temperaturas reagem vagarosamente com HDPE;
- À temperatura ambiente, o HDPE não é solúvel em nenhum solvente conhecido, apesar de muitos

solventes, como xileno, por exemplo, causarem um efeito de inchamento;

- Sob altas temperaturas, o HDPE dissolve-se em alguns hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos;
- O HDPE é relativamente resistente ao calor. Processos químicos sob alta temperatura, em meio inerte ou no vácuo, resultam em rutura e formação de ligações cruzadas nas cadeias poliméricas;
- A elevadas temperaturas, o oxigénio ataca a macromolécula, reduzindo o seu peso molecular;
- A baixas temperaturas, pode ocorrer degradação foto-oxidativa (com luz de $\lambda < 400$ nm);
- O HDPE é ligeiramente permeável a compostos orgânicos, tanto em fase líquida como gasosa;
- A permeabilidade à água e gases inorgânicos é baixa.

Enquanto as propriedades elétricas são pouco afetadas pela densidade e pelo peso molecular do polímero, as propriedades mecânicas sofrem uma forte influência do peso molecular, do teor de ramificações, da estrutura morfológica e da orientação.

Um aumento no peso molecular produz melhorias nas propriedades físicas do polímero.

Tabela 7 – Propriedades do HDPE
Fonte: Coutinho 2003 (modificado)

Propriedades	HDPE	
	Altamente Linear	Baixo grau de ramificação
Densidade (g/cm ³)	0,962 - 0,968	0,950 - 0,960
Índice de refração	1,54	1,53
Temperatura de fusão (°C)	128 - 135	125 - 132
Temperatura de fragilidade (°C)	-140 - -70	-140 - -70
Condutividade térmica (W/(mk))	0,46 - 0,52	0,42 - 0,44
Calor de combustão (KJ/g)	46,0	46,0
Constante dielétrica (à 1 MHz)	2,3 - 2,4	2,2 - 2,4
Resistividade superficial (Ω)	10^{15}	10^{15}
Resistividade volumétrica (Ω .m)	1017 - 1018	1017 - 1018
Resistência dielétrica (KV/mm)	45 - 55	45 - 55
Ponto de escoamento (Mpa)	28 - 40	25 - 35
Módulo de tração (Mpa)	900 - 1200	800 - 900
Resistência à tração (Mpa)	25 - 45	20 - 40
Alongamento (%)		
No ponto de escoamento	5 - 8	10 - 12
No ponto de rutura	50 - 900	50 - 1200
Dureza		
Brinell (MPa)	60 - 70	50 - 60
Rockwell	R55 , D60 - D70	
Resistência ao corte (MPa)	20 - 38	20 - 36

HPPE - Dyneema® - Polietileno de alta performance

É um polietileno, HPPE – polietileno de alta performance, também conhecido como UHMWPE – polietileno de ultra alto peso molecular. É uma marca registada, começou como uma fibra. Hoje, há cinco formas disponíveis: fibra, compósitos - unidireccionais, tecido, fita e compósitos híbridos.



Fig. 80 – Fibra de Dyneema®

Fonte: https://www.dsm.com/products/dyneema/pt_BR/tecnologias-dyneema/dyneema-form-factors/fiber.html

Dyneema® é uma fibra super-resistente, fabricada com polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), tendo máxima resistência com mínimo peso.

Características Principais do Dyneema® (Fig.80)

- Alta resistência em relação ao peso é 15x mais forte que o aço com o mesmo peso, com uma resistência à tração de até 43 cN/dtex. Além da sua extraordinária força, o Dyneema® destaca-se pela resistência ao corte e à abrasão e possui alta resistência a produtos químicos e UV.
- Baixo alongamento na rutura;
- Alta resistência à abrasão, humidade, radiação UV e produtos químicos;
- Flutuação na água;
- Altamente flexível;
- Alta absorção de energia;
- Dyneema® apresenta ainda a maior resistência de impacto entre termoplásticos;
- Não possui cheiro ou gosto e não é tóxico;
- O material é auto lubrificante;
- O seu coeficiente de atrito é menor que o do nylon.

A fibra de HPPE é sensível a cargas estáticas de longo prazo e alongará proporcionalmente com o tempo, este fenómeno, conhecido como fluência, é um processo em que as cadeias moleculares longas deslizam entre si. As duas variedades de fibras de polietilenos que interessam em aquacultura, apresentam em resumo, as seguintes propriedades mecânicas, apresentadas na tabela 8:

Tabela 8 – Propriedades Mecânicas do HDPE e HPPE

Fonte: Brown 2004

Propriedades	HDPE	HPPE ou UHMW-PE
Densidade (g / cm ³)	0.941-0.967	0.93
Temperatura de Fusão (°C)	130-133	132
Tensão de ruptura (MPa)	18-30	20-41
Elongação até a ruptura (%)	100-1000	300
Módulo de flexão (MPa)	415-795	689-1654
Resistencia ao Impacto Izod (J/m)	27-160	Não quebra
Dureza (Shore D)	45-60	60-70

Sendo a síntese das principais propriedades dos materiais sintéticos utilizados como fibra em aquacultura, apresentada na Tabela 9:

Tabela 9 – Características químicas e físicas de fibras sintéticas

utilizadas em Aquacultura

Fonte: FAO - 593

Características Físicas / Químicas	Tipo de Fibra				
	PA Nylon 66	PES Poliestireno	PP Polipropileno	HDPE PE alta densidade	HPPE Dyneema®
Tenacidade (g/den ²)	9	9	7	4,7 - 5,0	40
Alongamento no ponto de rutura (%)	20	14	18	25	3,5
Resistência aos UV	1 semana	média	média	razoável	boa
Densidade (g/cm ³)	1,14	1,38	0,91	0,95	0,97
Ponto de fusão (°C)	255 - 260	250 - 260	160 - 175	115 - 135	144 - 152
Resistência aos alcalinos	boa	1 semana	boa	boa	boa
Resistência aos ácidos	1 semana	boa	boa	boa	boa
Absorção de humidade (%) (65% de humidade a 20°C)	3,4 - 4,5	0,2 - 0,5	0	0,1	0

Degradação de polímeros

A degradação dos materiais poliméricos ocorre por processos físico-químicos.

Ela pode ocorrer por:

- Inchamento seguido de dissolução do polímero, ocorre quando o polímero está em contacto com um líquido, principalmente de natureza orgânica (gasolina, desengordurante, ...)
- Rutura (cisão) das ligações decorrente de radiação eletromagnética (p.ex. luz, raios UV), calor, agentes químicos (p.ex. ozono). Ocorre diminuição do peso molecular, o que afeta negativamente as propriedades do polímero.
- Ação do clima (intemperismo): combinação da ação de agentes químicos (água, ácidos, ...) com radiação (luz) e variação de temperatura.

No caso da água salgada (Tabela 10), para além da hidrólise, temos ainda a considerar a ação do cloreto de sódio, nomeadamente através dos iões Cl^- e Na^+ .

Salinidade do Oceano Atlântico: 33,5 a 37,4 g/L. (Duval, 1992)

Tabela 10 - Composição da água do mar

Fonte: Rilem1985

(g/l)	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Atlântico Sul	17.8	2.5	0.4	1.5	11.0	0.3
Atlântico Norte	20.5	2.9	0.4	1.3	11.4	0.5
Média Mundial	19.4	2.7	0.4	1.3	10.9	0.4

O pH nestes ambientes varia entre 7,5 e 8,4, sendo, portanto, considerado alcalino.

4.2. O Material das Estruturas

As jaulas que começaram por se instalar em rios e lagos, normalmente de água doce, ou em enseadas e locais acessíveis protegidos, utilizavam materiais disponíveis de fácil utilização, elementos estruturais em madeira, cabos de fibras naturais, poitas, ampliavam em locais acessíveis a produção de peixe ou bivalves, ainda hoje podemos testemunhar o seu uso.

O material mais utilizado na estrutura das jaulas foi até ao presente o HDPE, os diferentes componentes usados na construção das jaulas são construídos em HDPE, sendo os principais constituintes (Fig.81) destes equipamentos: flutuadores em tubos em geral soldados entre si. O HDPE reforçado por fibras existe já nalguns equipamentos, aumentando a sua fiabilidade.



Fig. 81 – Montagem de aro de gaiola em terra

Soldadura final do colar (topo a topo) b) Distribuição final dos reforços (brackets)

Fonte: FAO 593

Componentes de jaulas flutuantes

Tubos de HDPE (Fig.82); Material de enchimento para tubos; Suportes; Bujões; Redes para jaulas de peixe.



Fig. 82 – Componentes de jaulas flutuantes

Fonte: FAO 2011

Tubos de HDPE

Existem vários HDPE diferentes, utilizados para tubos, nas jaulas são usados PE80 ou PE100. Estes códigos, de acordo com a ISO 4427, dizem respeito à resistência mínima exigida (MRS) do tubo, medida após 50 anos à temperatura de 20 °C, e expressa em bar:

- **PE 80** indica uma classificação de HDPE onde o tubo vai romper a uma pressão de pelo menos 8,0 N/mm, ao fim de 50 anos de vida útil a 20 °C.
- **PE 100**, a pressão seria de 10.0 N/mm.

A densidade do PE 80 é ligeiramente inferior à do PE 100, tendo como massa específica os valores de 0,945 g/cm³ e 0,950 g/cm³, respetivamente. Portanto, uma jaula construída com PE 100 HDPE será mais rígida e mais forte do que uma jaula feita com PE 80, assumindo que ambos os tubos são das mesmas dimensões, e ligeiramente menos flexível no manuseamento de cargas dinâmicas.

Os tubos em HDPE (Fig.83) – polietileno de alta densidade, possuem excelentes propriedades, são:

Flexíveis; Resistente ao choque; Robustos; Duráveis; Leves; Fáceis de aplicar e manter; Boa resistência aos UV; de fácil aquisição.



Fig. 83 – Tubos em HDPE utilizados em jaulas de aquacultura

Fonte: FAO 2011

Material de enchimento para tubos

- EPS (poliestireno expandido) (Fig.84) - é um material leve, robusto e disponível no mercado.



Fig. 84 – Tubos e enchimentos de poliestireno expandido
 Fonte: FAO 2011

O Poliestireno é usado para preencher os tubos flutuadores diminuindo o risco de afundamento, porém no caso das jaulas submersíveis não é usado, para permitir a entrada e saída controlada de água.

Material dos suportes

Aço, Plástico de Injeção e Rotomoldado (Fig.85).



Fig. 85 – Suportes do anel superior de jaulas flutuantes
 Fonte: FAO 2011

Os suportes (Fig.86) que ligam os tubos entre si, constituem um reforço estrutural importante, quando em plástico, são obtidos por injeção ou por rotomoldagem, fazem a ligação entre os tubos flutuadores e o tubo superior que é o corrimão, são normalmente em HDPE mas podem também ser produzidos em aço galvanizado, desmontáveis, oferecendo a vantagem de permitir a reparação em serviço ao contrário dos de HDPE que obrigam à reparação em terra; contudo, o aço em contacto com o tubo, produz abrasão contínua sobre os flutuadores.



Fig. 86 – Suportes para jaulas flutuantes, 100% em HDPE
 Fonte: FAO 593

Bujões

Os bujões (Fig.87) são também em HDPE, soldados aos tubos base.



Fig. 87 – Bujões em tubos de jaulas de aquacultura
 Fonte: FAO 2011

Redes para jaulas de peixe

As redes (Fig.88) são as mesmas, para jaulas de superfície ou para jaulas submersíveis, embora para estas apareçam outras opções, por exemplo, redes metálicas, opção que minimiza o biofouling.



Fig. 88 – Redes de jaulas

Fonte: FAO 2011

O Nylon constitui um dos materiais mais usados nas redes das jaulas, pode ser fornecida sem nós na cor negra (mais frequente) ou transparente, contudo também são utilizadas redes de cobre (Fig.89).



Fig. 89 – Jaula com rede de cobre

Fonte: FAO 593

Devido à sua resistência natural à corrosão e às suas propriedades metalúrgicas, as ligas de cobre são um material ideal para jaulas de aquacultura marinha submersas, perto da costa ou em mar aberto.

A malha de cobre apresenta as seguintes características (IEC 2019):

- A malha das jaulas aquícolas em liga de cobre melhora significativamente as condições sanitárias, a produtividade e a sustentabilidade das operações realizadas;
- A malha de liga de cobre resiste a ataques de predadores e impede a fuga de peixes estabelecidos. Também demonstraram resistência às tempestades mais fortes;
- A malha de liga de cobre permite que as jaulas mantenham a sua forma face às ondas e às correntes oceânicas. Os espaços vitais mantiveram assim a prevenção do excesso de população e ajudam a manter a elevada oxigenação que melhora os rendimentos. A malha de fio de cobre também tem alta resistência mecânica e capacidade de deformação, o que é essencial para o fabrico destas estruturas de contenção de aquacultura marinha;
- Verificou-se um volume muito baixo de macro organismos depositados na malha de liga de cobre. O fluxo de água e os níveis de oxigénio dissolvidos são otimizados, melhorando a saúde e o crescimento dos peixes. Os custos de manutenção são reduzidos em 15%. Parasitas e agentes patogénicos que podem infetar os peixes não têm habitat favorável em jaulas de liga de cobre;
- A limpeza da malha de liga de cobre é muito reduzida e elas não precisam de ser removidas para manutenção. As horas de mergulho para manutenção e os riscos são reduzidos,
- A malha de liga de cobre tem uma vida útil igual ou superior a 5 anos, dependendo das condições de utilização. Perdem pouco material ao longo do tempo e são totalmente recicláveis.

Os materiais reciclados são utilizados desde o início do fabrico de malha de liga de cobre, o que

reduz as emissões de CO₂ em comparação com as redes de polímeros tradicionais.

A malha de liga de cobre é de alta resistência à anticorrosão, sendo compatível com jaulas comumente utilizadas em processos de aquicultura marinha, permitindo uma aplicação rápida nas explorações existentes;

- A utilização de malha de liga de cobre começou em 1975 em pequenas jaulas de criação de salmão no Nordeste dos Estados Unidos. Desde então, a tecnologia das ligas tem evoluído e está a ser usada com sucesso no Japão, Austrália, China, Coreia, Canadá, Escócia, Grécia, Moçambique e Chile, oferecendo novas perspectivas produtivas e sustentáveis para os aquicultores.

O material das redes bem como os compósitos da estrutura de suporte são formulados para características antivegetativas e assim minimizar os problemas com deposições (incrustações).

As tintas e barreiras de proteção têm que apresentar propriedades reológicas e de adesão que permitam o revestimento das componentes da gaiola, devem garantir o conforto dos peixes estabulados, condições de higiene e segurança alimentar dos produtos utilizados nos equipamentos, de acordo com as Normas e ensaios correspondentes, mas sempre sem deixar de ter em conta a avaliação custo-benefício da sua adaptação e utilização neste projeto.

O desenvolvimento de soluções robustas para estes problemas, permite a instalação de equipamentos seguros e terá de permitir melhorar a utilização de janelas temporais de visita mais informadas e seguras às jaulas, para as necessárias tarefas de manutenção, alimentação e pesca, tendo em conta os riscos inerentes a estas atividades, que possibilitem a diminuição do número, natureza e frequência de idas a bordo, a partir do contacto online com os equipamentos instalados, câmaras de observação, sensores de movimento do peixe, melhorando drasticamente por essa via a informação disponível em terra, procurando identificar e tipificar padrões de conforto e segurança do peixe estabulado e fazer a indispensável monitorização do equipamento.

O Biofouling

O biofouling é uma das principais questões de gestão em aquicultura, e representa uma séria ameaça para as redes das jaulas se não for devidamente abordada. O fouling inclui diversas macroalgas, bivalves (como mexilhões e ostras), corais, ouriços-do-mar, esponjas e outros organismos que fazem parte do plâncton e que se agarram às redes e às estruturas aquícolas. Uma boa manutenção das redes pode representar uma diminuição na ocorrência de acidentes e aumento de eficiência; para além de métodos mecânicos já referidos anteriormente, são também utilizados materiais químicos, tendo em vista a minimização do biofouling.

O biofouling, direta ou indiretamente, inflige danos na rede.

Os danos diretos são causados pelos bivalves, partes duras de invertebrados que se esfregam contra as redes e cabos e, conseqüentemente, causam danos, tais como orifícios nas cabos e rede. Esta falha estrutural está frequentemente associada à ação abrasiva do próprio fouling, e ocorre principalmente nos painéis de rede.

Os danos indiretos podem ser causados pela falha estrutural da rede ou dos cabos devido ao aumento das cargas na jaula. O biofouling abundante reduz a troca de água na jaula, resultando numa má

qualidade da água para o peixe. O efeito imediato e mais perigoso do biofouling excessivo é o esgotamento do teor de oxigênio na jaula. Isto pode ter efeitos diferentes sobre o peixe, desde uma redução súbita do consumo de alimentos, até ao aumento das incidências de agentes patogênicos e surtos de doenças, até à perda de todo o contingente de peixes devido à anoxia.

Antifoulings biocidas à base de cobre e zinco

Para evitar o biofouling, as redes podem ser tratadas com revestimentos para inibir a acumulação de organismos marinhos e, assim, reduzir a probabilidade de danos.

As redes tratadas podem ser limpas ou mesmo mudadas com menos frequência do que as redes não tratadas, o que reduz os custos da mão de obra.

O antifouling pode prolongar a vida útil da rede, reduzindo a degradação dos polímeros causados pela luz UV, e reduzindo o desgaste experimentado durante a limpeza. No entanto, também é importante salientar que os revestimentos antifouling também podem reduzir a carga de rutura da rede.

Um tratamento antifouling deve durar de 9 a 12 meses, dependendo das condições do mar.

A maioria das tintas antifouling utilizadas como tratamentos líquidos na indústria aquícola contém hoje óxido de cobre como ingrediente ativo. A atividade antifouling dos tratamentos à base de cobre é conseguida pelo óxido de cobre (Cu_2O), que se dissocia para libertar o ião de cobre (Cu^+); este ião oxida ainda mais o ião-cúprico (Cu^{++}), que é o principal responsável pela toxicidade que impede o crescimento de organismos de biofouling.

No entanto, os biocidas à base de zinco também são usados.

A presença de cobre e zinco é uma grande preocupação para a sustentabilidade ambiental destes produtos, uma vez que estes produtos químicos são libertados no meio marinho como poluentes significativos e persistentes. Alguns peixes mordedores (por exemplo, douradas) também podem ingerir estes iões metálicos pesados mordendo as redes, criando assim um risco de contaminação de metais pesados nos peixes. Por estas razões, vários protocolos ou regulamentos de produção proíbem a utilização deste tipo de antifoulings nas redes.

Os revestimentos antifouling utilizados na aquicultura são principalmente solúveis em água.

Algumas tintas antifouling comerciais usadas na aquicultura incluem as seguintes (FAO 593):

- Netrex AF: Produzido pela NetKem, esta é uma tinta à base de cera contendo óxido de cobre a 3%. Este tratamento pode ser aplicado em redes molhadas. As redes devem ser secas cerca de oito horas antes de serem utilizadas no mar. Após o tratamento e a secagem líquida, o peso da rede de nylon aumenta 10 a 20 %.
- Flexgard: Produzido pela Flexbar, este é um tratamento semelhante a uma rede que pode ser diluído em até 100% de água na fórmula de concentrado. As redes devem estar limpas antes do tratamento e ficar embebidas durante 20 minutos antes de serem deixadas a secar durante três dias. O peixe pode ser introduzido depois de mais 72 horas. Após o tratamento, o peso da rede aumenta de 30 a 35 % para nylon, e 40-45 % para o HPPE.

- **Aquasafe:** Produzido por Steen-Hansen, este é um antifouling à base de água feito na Noruega. É um produto não perfumado, com o seu ingrediente básico de óxido de cobre. A recolha de redes tratadas com este produto é de cerca de 35%. As redes são revestidas com tinta antifouling por mergulho e secagem. Toda a rede é mergulhada num tanque cheio de tinta antifouling (Nota: é necessária uma quantidade suficiente de tinta para revestir corretamente uma rede), deixada no tanque por alguns minutos e depois pendurada para secar durante várias horas.
- Outros revestimentos geralmente utilizados na aquacultura biológica certificada também estão disponíveis no mercado. Estes produtos destinam-se a facilitar a limpeza da rede, onde não são permitidos revestimentos antifouling. Estes revestimentos (por exemplo, Flexdip ou Ecopolish) podem ser aplicados por imersão (Fig.90).

Após a secagem, a rede fica escorregadia, tornando o biofouling mais fraco, para que a rede possa ser limpa mais facilmente. Estes revestimentos não contêm qualquer metal pesado na sua formulação.



Fig. 90 – Rede imersa num tanque com antifouling

Fonte: FAO 593

Situação 1 - é aplicada uma solução biocida na superfície das redes; no entanto, como não existem atualmente muitas soluções deste género no mercado, produzidas especificamente para aplicações aquícolas, os produtores recorrem muitas vezes à utilização de biocidas utilizadas na indústria naval. Os antivegetativos são conhecidos por ser uma fonte de poluição e são responsáveis pelos elevados níveis de cobre existentes na água circundante às instalações. A utilização deste tipo de substâncias é desaconselhada e a sua utilização junto de uma fonte de alimento para consumo humano devia ser evitada (Willemsen, 1994).

Situação 2 – soluções inovadoras estão em estudo, tendo o IST, no âmbito do projeto europeu FoulXspell (coordenado pelo IST), ido já para além desse estado; trata-se duma moderna tecnologia antivegetativa, que permitirá reduzir a frequência com que é necessário efetuar a limpeza e assim reduzir significativamente os custos de manutenção.

O FoulXspell fornece um novo revestimento anti incrustante, utilizando moléculas bioativas covalentemente fixadas, que podem fornecer atividade biocida, a fim de evitar a lixiviação e promover um efeito a longo prazo da proteção da superfície. Isso requer a ligação através de uma ponte molecular e o estudo da concentração efetiva dos compostos ativos ligados.

https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/projects/foul_x_spell_environmentally_friendly_antifouling_technology_for_ships.page#%3Cfont_style%3D%22vertical-align%3A_inherit%3B%22%3E%3Cfont_style%3D%22vertical-align%3A_inherit%3B%22%3Efuncion%C3%A1rios%3C%2Ffont%3E%3C%2Ffont%3E

Proteção Anti UV

Além dos estabilizadores de luz UV adicionados às fibras durante a produção, existem também produtos específicos que podem proteger ainda mais a rede da luz UV.

Da mesma forma que os tratamentos anti incrustantes, estes revestimentos devem ser aplicados através da “pintura” (por projeção ou imersão) e secagem.

Um exemplo é o Flexdip™, um revestimento de rede preta que preserva o nylon da degradação dos raios UV e facilita a limpeza da rede, uma vez que os organismos são incapazes de penetrar nas fibras da rede, pelo que não são capazes de obter uma âncora firme na rede (FAO 593).

Redes predadoras

Os equipamentos que contêm peixes vivos ou mortos atraem uma vasta gama de predadores, incluindo aves, leões marinhos e tubarões. A predação representa um dos fatores descontrolados no saldo das existências, representando uma quantidade não quantificável de biomassa perdida. Para ter acesso às suas presas, os predadores também podem danificar a rede, causando assim perdas adicionais de peixes (fugas). A jaula deve ser protegida contra este tipo de ataques, que se causarem danos à rede, podem tornar-se mais dispendiosos do que a própria predação.

Redes de pássaros

Corvos-marinhos, gaivotas e outras aves de rapina podem representar uma ameaça para os peixes de criação. Estes predadores podem levar muitos peixes se os peixes forem pequenos.

Os corvos-marinhos são um problema particular, uma vez que se empoleiram em gaiolas recém-abastecidas por longos períodos. Além disso, as aves podem causar danos a peixes de dimensão comercializável, de modo a que os peixes já não possam ser vendidos. A forma mais eficiente de prevenir a predação de aves é cobrir o topo aberto da gaiola com uma rede de pássaros (Fig.91). A rede anti pássaros, deve ter um tamanho de malha grande (por exemplo, 100 mm) e ser montada com uma corda que corre ao longo do perímetro da jaula. Podem ser adicionadas cabos cruzadas diagonais adicionais para reforço.



Fig. 91 – Jaulas protegidas com rede de pássaros

Fonte: FAO 593

A rede anti pássaros deve ser mantida fora da água. Para tal, a rede deve ser montada firmemente no corrimão. Se a jaula for muito grande, a rede de aves pode não estar suficientemente esticada e pode estar na água no seu centro. Isto deve ser evitado porque os peixes podem ser danificados pelo fio da rede de aves durante a alimentação. Além disso, a rede pode ficar suja, dificultando o seu manuseamento. A rede de aves tem de ser removida e reinstalada sempre que os peixes são colhidos.

Foram desenvolvidos suportes flutuantes especiais para tirar a rede de aves da água. Existem diferentes modelos de suportes feitos a partir de tubos HDPE, mas a estrutura mais utilizada é composta por um colar flutuante com suportes verticais, ligada a um colar mais pequeno que suporta a rede de aves. Várias estacas à volta da gaiola são fixadas, e a rede de pássaros é pendurada no topo

destas estacas por um sistema de cabos e roldanas.

Redes de tubarão

Danos causados por grandes predadores como tubarões ou focas podem ser muito graves.

No caso da aquacultura nos rios e lagoas tropicais é usada rede em aço, devido ao ataque dos jacarés.

Os predadores subaquáticos são geralmente atraídos pelos peixes mortos no fundo da rede base tentam comer estes peixes através da rede, causando danos ao rasgar a rede. Isto pode então resultar em peixes escapando através da brecha na rede.

As redes de predadores subaquáticos são utilizadas em locais onde este problema pode ocorrer.

A rede Dyneema™ é um bom material para usar para este tipo de redes anti predador, sendo leve em peso e muito robusta. É forte o suficiente para resistir a grandes predadores, como focas e tubarões.

O desenho das redes predadoras subaquáticas (Fig.92) depende do design da jaula, e é geralmente discutido previamente com o fabricante da rede.

A base da rede é a parte mais importante a proteger, pelo que uma rede externa adicional é por vezes montada fora da base da rede.

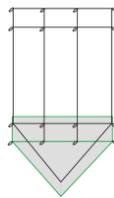


Fig. 92 - Projeto avançado de uma rede de tubarões

Fonte: FAO 593

Nota: A rede predadora (em cinza) é instalada abaixo da rede base, sobrepondo-se à parte inferior.

4.3. O Material das Amarrações e outros Apetrechos

Amarrações

O tipo de amarração a utilizar depende de muitos fatores, o tipo de jaula ou conjunto de jaulas, características do fundo do mar, condições meteorológicas do local, e como fundamentais consequências, as ondas e as correntes.

Desenho esquemático dos componentes que constituem um sistema de amarração com boia (Fig.93); para uma jaula, com dois sistemas, um de cada lado (o esquema não está à escala), e só está representado o esquema de um dos lados, sendo semelhante do outro lado.

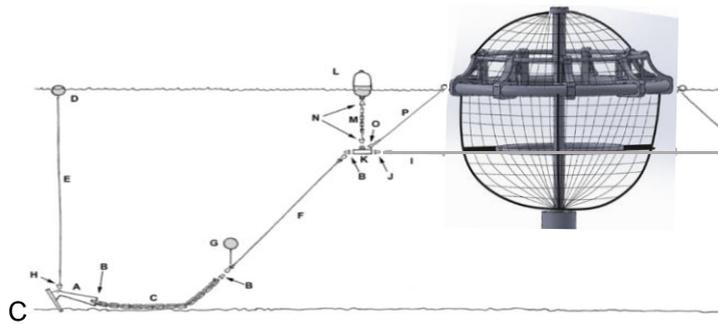


Fig. 93 – Esquema de amarração de ponto

Fonte: FAO 593 modificado

Lista de componentes (Tabela 11) de uma única linha de amarração, um exemplo típico, tamanhos e dimensões podem variar de acordo com a análise do local e da amarração.

Tabela 11 – Componentes do Sistema de Amarração

Fonte: FAO 593 modificado

Ref	Componentes do sistema de amarração	Qt
A	Âncora: tipo de embutimento de 800 kg (solo de areia ou lama)	1
B	Manilha: do tipo arco com parafuso e pino para 12,5 toneladas SWL1	3
C	Corrente à terra: diâmetro 38–42 mm. Peso total aprox. 1 tonelada	1
D	Boia de ancoragem: 10 litros de flutuabilidade	1
E	Linha do marcador da âncora (linha da coroa ou linha de disparo): corda de polisteel de 37 m comprimento e 36 mm de diâmetro	1
F	Corda de amarração: corda de polisteel de diâmetro 48 mm, 3 a 4 fios, comprimento 100 m. Também emendado, dedal de aço e anel oval # 22 mm numa extremidade	1
G	Boia para águas profundas: flutuabilidade de 10 litros	1
H	Manilha: do tipo arco com parafuso e pino para 8,5 toneladas SWL	1
I-J-K-L-M-N-O-P para sistemas com várias gaiolas		

Sendo os materiais utilizados:

A - Âncora

Âncora em aço de construção naval grau A, enformado e soldado, tratamento térmico, zincagem a quente em banho de zinco fundido, que lhe vão conferir proteção contra a corrosão e aumento de dureza subsuperfície devido à formação de compostos intermetálicos de Cu e Zn.

B – Manilha

Manilha em aço forjado (Fig.94), zincado a quente tipo arco com parafuso e pino para 12.5 Ton SWL1.

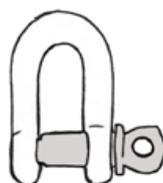


Fig. 94 – Manilha tipo arco com parafuso

Fonte: FAO 593

C – Corrente à terra

Corrente à terra, diâmetro 38-42 mm, peso 1 Ton. Construção em aço galvanizado a quente, deverá ser 1,5 vezes o comprimento da profundidade do local onde é colocada, tendo-se em conta a natureza

do fundo, sua inclinação. Para águas ultra profundas usam-se hoje cabos de Poliéster ou Dyneema que permite configurações de ancoragem menos onerosa grande flexibilidade axial com linhas de ancoragem mais rígidas, diminuindo o passeio de cabos

D – Boia de ancoragem

Mais recentemente passaram a ser construídos em Polietileno de Alta Resistência (HDPE)

E – Linha do marcador da âncora

Cabo em polisteel de 37 m de comprimento e 36 mm diâmetro

F – Cabos de amarração, cabo em polisteel deverá ter 1,5 vezes o comprimento correspondente à distância ao fundo no local onde é colocada, tendo-se em conta a natureza do fundo, sua inclinação.

Para águas ultra profundas, sendo mais leves, com custos mais reduzindo usam-se hoje cabos de Poliéster ou Dyneema que permitem configurações de ancoragem menos onerosa, grande flexibilidade axial, com linhas de ancoragem mais rígidas, diminuindo o passeio de cabos e a intersecção num espaço submarino com cabos de amarração, alimentação, energia, associados ao campo de aquacultura (fish farm), no caso da aquacultura oceânica,

G – Boia para águas profundas- Flutuabilidade até 10 litros

H – Manilha

Se as jaulas estão associadas em sistema, utilizam-se Placas de Amarração com nº de furos consoante as necessidades, onde as manilhas se vão ligar.

Na Fig.95, tem-se Placa de Amarração com oito furos, quatro são usados para conectar as principais linhas de amarração.

Podem ser identificadas várias manilhas forjadas, umas pintadas e outras zincadas.

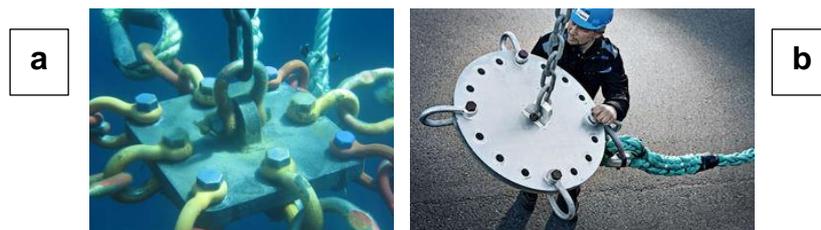


Fig. 95 – Placa de Amarração com furos para Manilhas

a – com 8 furos e oito manilhas

b – com 16 furos e quatro manilhas

Fonte: FAO 593

Fonte: Steinvick

Outros Apetrechos

Na grande variedade de outros apetrechos, podem encontrar-se:

Materiais metálicos

Em que os mais importantes são:

- o aço e suas ligas, que está presente sobre múltiplos estados nos equipamentos;
- Aço inoxidável martensítico, AISI 410, em hélices e veios; austenítico AISI 316L com 3 a 4% Mo, para construção soldada para uso naval.

- ligas de alumínio naval na construção de barcos de apoio;
- cobre e suas ligas nas hélices e outros, quer como elementos de liga, quer como revestimentos;
- ânodos de Zn sacrificáveis, em componentes de órgãos de máquinas e de outras áreas para proteção do casco e equipamentos.

Os componentes metálicos, nos aprestamentos da jaula devido à resistência mecânica, em certos equipamentos de apoio, como embarcações, amarrações ou equipamentos de ajuda à faina.

Polímeros

Equipamentos em polímeros, tem sido frequente no offshore, sobretudo face à sua resistência à corrosão face aos materiais metálicos e sendo que hoje em dia a resistência mecânica de certos polímeros, bate-se em igualdade com os metais.

4.4. O Material dos Barcos de Apoio

Hoje em dia, os barcos utilizados em aquacultura são sobretudo feitos nos seguintes materiais:

- Aço;
- Alumínio;
- Compósito de Fibra de Vidro e Carbono.

Barcaças em aço

Os nórdicos têm grande experiência na construção de diferentes tipos de embarcações (Fig.96) para apoio à aquacultura, com equipamentos adaptados às condições do mar, em geral em áreas protegidas. Hoje procuram-se soluções em plataformas oceânicas, partilhando o espaço marinho com a produção de energia elétrica eólica, ondas ou fotovoltaica dando autonomia à estação de aquacultura offshore.



Fig. 96 - Barcaça AKVA para aquacultura

Fonte: AKVA



Fig. 97 – Barco em aço para apoio à aquacultura

Fonte: <https://images.search.yahoo.com/search/images?p=barcos+>

Os barcos com casco em aço (Fig.97) e acomodações em bom estado de conservação constituem uma excelente oportunidade para serem adaptados e transformados num equipamento de apoio à

aquacultura mesmo oceânico.

O aço é um material conhecido e com mais oferta de serviços, temos estaleiros com experiência para fabricar ou adaptar para ensilar rações, produzir energia e controlar o funcionamento das jaulas, servir de base aos barcos fundeados num local conveniente de abastecimentos, mergulhadores, vigiar os peixes, o estado das redes e estrutura a partir de sensores e TV.

Na área da reconstrução e adaptação naval de embarcações, os estaleiros Portugueses têm experiência neste tipo de trabalho, tendo vários estaleiros com *know how* para proceder a uma operação deste tipo, competindo aos piscicultores definirem as dimensões das *commodities* a instalar.

Barcos em alumínio

O alumínio oferece muitas vantagens no design construtivo para barcos de pesca, sendo o elemento chave na fórmula **leveza / resistência estrutural / menor consumo**.

Os barcos em alumínio têm muita importância para a aquacultura, contudo o alumínio puro tem propriedades mecânicas baixas especialmente a resistência à tração e a sua superfície se não for passivada é muito vulnerável à corrosão; forma ligas principalmente com o cobre, silício, magnésio e com o manganês, pode ainda ligar-se ao zinco, níquel e cobre. A adição de metais ao alumínio, visa o aumento da sua resistência à tração, tensão de cedência, a correspondente redução do alongamento e a melhoria das propriedades anticorrosivas. O cobre é o principal elemento de liga do alumínio. É usado em percentagens até 4%, em ligas de conformação plástica e até 8%, em ligas de fundição. A soldadura de blocos de motor e recuperação de componentes é possível até % de cobre na liga inferior a 10 %. O silício raramente excede o teor de 14% na liga.

O desenvolvimento e o uso de ligas de alumínio em estruturas navais está, também muito relacionado com o desenvolvimento da soldadura em atmosfera inerte: MIG, na construção naval utilizam-se máquinas de soldadura semiautomática com atmosfera protegida a Árgon e a soldadura TIG para soldaduras de precisão ou para garantir a penetração em chanfros nos passes de raiz.

As ligas de alumínio com magnésio (da série 5xxx), de elevada resistência mecânica são as mais usadas em estruturas marítimas, sendo as que contém 4.5%, 4% e 5% de Mg, as mais comuns, adquirindo uma resistência adicional por conformação plástica a frio e não por tratamento térmico.

As ligas mais usadas são as 5086, 5083, 5456 e 5454 Tabela 12 e Tabela 13, a liga 5454 pode ser aplicada em temperaturas superiores à temperatura ambiente (superior a 65°C).

Tabela 12 – Composição Química (%) de Ligas de Al

Fonte: https://www.alumicopper.com.br/pdf/aluminio/info-tec-alumi_aluminio_6061.pdf

Elementos	Mg	Mn	Cr	Zn	Al
5083	4,4	0,7	0,15	---	Restante
5086	4	0,45	0,15	---	Restante
5454	2,7	0,8	0,12	---	Restante
5456	5,1	0,8	0,12	---	Restante
6061	1,2	0,15	0,35	0,25	Restante

Estas ligas, que têm uma boa soldabilidade, permitem conformação plástica a frio, proporcionando a

conveniente resistência à corrosão e resistência mecânica, tensões de cedência mais elevadas podem ser obtidas por trabalho a frio adicional.

Tabela 13 – Propriedades Mecânicas de Ligas de Al

Fonte: https://www.alumicopper.com.br/pdf/aluminio/info-tec-alumi_aluminio_6061.pdf

Elementos	Resistência à tração (MPa)	Resistência ao escoamento (MPa)	Alongamento em 50 mm (%)	Dureza Brinell (HB)	Resistência à fadiga (MPa)
5083	315	230	16	---	160
5086	260	115	22	---	---
5454	250	115	22	62	---
5456	310	160	24	---	---
6061	260	240	8	95	---

A construção naval é essencialmente uma construção soldada, é importante analisar o comportamento das zonas soldadas e zonas contíguas (zonas afetadas pelo calor – ZAC).

As construções de embarcações para Aquacultura em alumínio obedecem a Normas, Procedimentos e Inspeção pelas Sociedades Classificadoras de Navios que pode ser a BV, DNV, LRS ou outra que venha a ser escolhida.

Nos **barcos de alumínio** (Fig.98), a superfície do convés e os sistemas de elevação hidráulica são os elementos mais importantes para a realização do trabalho, mas também é essencial cuidar do espaço interior, para que seja confortável, equipados com tudo o necessário para o trabalho e para a tripulação se sentir confortável a bordo.



Fig. 98 – Barco em alumínio para aquacultura

Fonte: SOUNETE - FÁBRICA DE APRESTOS METÁLICOS, LDA.

Embarcação dimensionada para operar com redes de jaulas, com um sistema de guincho e patescas para recolha da retenida por ré da superstrutura, alador do tipo Power-Block suspenso num pórtico implantado sensivelmente a meio navio e um pau de carga consolidado no teto da superstrutura por bombordo para as manobras de recolha das redes com fouling e em operações de captura do pescado.

Possui alojamentos para um tripulante sobre o convés e outros cinco sob o convés com acesso pelo interior da superstrutura. O acesso à casa das máquinas é efetuado lateralmente por estibordo numa superstrutura criada para o efeito. Possui ainda instalações sanitárias e um fogão.

Todos os materiais utilizados na construção do casco e encanamentos são de qualidade apropriada para resistir ao ambiente marítimo, tendo sido criteriosamente escolhidos de forma a minimizar os efeitos de corrosão. Assim garante-se uma elevada vida útil da embarcação, com um índice de manutenção bastante reduzido (Sounete 2019).

Barcos em fibra de vidro

Existe uma grande atratividade para os barcos de apoio á aquacultura serem em material compósito, normalmente de fibra de vidro e resina de poliéster.

O processo de fabrico é em geral por infusão ou manualmente, com tecido ou manta de fibra de vidro e resina de poliéster, por sobreposição de camadas alternadas de fibra e resina sendo a resina ativada por monómero de estireno ou ácido, glicóis e micro aditivos que são usados na formulação da resina.

Além de dissolver a resina poliéster, o monómero de estireno participa na reação durante o processo de cura, fazendo as ligações das moléculas de poliéster. Assim, ao contrário do que normalmente se pensa, o monómero não é um solvente, e sim uma parte ativa da resina.

Vários tipos diferentes de ácidos, glicóis, agentes modificantes e microaditivos podem ser usados na formulação da resina, dependendo do tipo de propriedades requeridas. Na verdade, por causa de uma grande variedade disponível de ácidos e glicóis, é possível quase que formular uma resina específica para cada tipo de aplicação.

O processo de cura da resina poliéster é uma das partes mais importantes da fabricação de um laminado náutico. Este processo é feito a partir da adição de catalisadores. Nestas resinas, os catalisadores são usualmente peróxidos orgânicos em pasta ou líquido, diluídos aproximadamente 50% em solução. O catalisador mais comum é o peróxido de metil-etil-cetona, conhecido como Mek. A taxa de catalisador usada normalmente é de 1% a 2%.

Não se deve nunca utilizar dosagens menores do que as recomendadas pelo fabricante do produto ou o laminado não irá curar totalmente.

O processo de cura da resina inicia-se no momento em que o catalisador é misturado, sendo que a velocidade de cura pode ser controlada através do acelerador da resina para que se consiga laminar toda a peça. Muitos componentes podem ser usados como acelerador, mas os mais comuns são à base de cobalto. Geralmente, é necessária uma baixa dosagem de acelerador na resina poliéster, até a faixa de 0,5%. É importante notar que as substâncias utilizadas para catalisar e acelerar a resina, se misturadas diretamente, irão reagir de forma explosiva. Por segurança, e também pela facilidade de manuseio, a maioria das resinas vêm pré-aceleradas pelo fabricante.

O processo de cura da resina poliéster pode ser dividido em três estágios:

1º Estágio - Gelificação (*geltime*), é o período que vai desde a hora em que se mistura o catalisador até o ponto em que a resina começa a ficar em forma de gel e se inicia o aumento de temperatura. A partir deste momento não se poderá mais usar a resina. Por este motivo, é necessário um bom controle da dosagem do catalisador e do acelerador para garantir que o laminador já tenha retirado todas as bolhas de ar antes que o início da gelificação ocorra. Geralmente, em resinas poliéster, a temperatura máxima durante o processo de gel pode chegar aos 150°C. Esta temperatura limite é chamada de pico exotérmico.

2º Estágio - Endurecimento, é o período necessário para o laminado obter uma parte significativa das propriedades mecânicas e a peça possa ser retirada do molde.

3º Estágio - Maturação, o laminado desenvolve toda a sua estabilidade e dureza. O processo de maturação é a parte vital do ciclo de cura, o que pode levar dias ou talvez semanas, dependendo da temperatura na qual o laminado for mantido.

Uma das razões por que resinas poliéster têm adquirido muita popularidade entre os construtores de barcos, além da sua disponibilidade imediata e seu baixo custo, é a sua possibilidade de ser utilizada à temperatura ambiente com propriedades mecânicas razoáveis, o que não significa que não possa ser utilizada noutras condições de temperatura.

Dependendo do local onde se está trabalhando, a temperatura pode variar entre 20 e 36 °C. No caso de locais frios, a laminação deve ocorrer numa sala fechada, aquecida, com temperatura acima de 16 °C. Temperaturas na faixa de 20 a 25 °C são as que oferecem o melhor resultado para utilização desse material. Durante a laminação, a humidade relativa não deve ultrapassar 85 %.

5. Conclusões

Os cabos e redes de nylon, são muito utilizados, apresentam uma boa elasticidade, com um alongamento de rotura que varia conforme a sua cristalinidade e boa resiliência. Estas características, fazem com que possa aumentar o comprimento de cada componente após um período de trabalho de alguns meses, em cerca de 10%; portanto, um sistema de amarração de nylon precisará ser tensionado novamente alguns meses depois de ter sido implantado. As gaiolas de rede de nylon aumentarão em profundidade, 5 a 10 por cento, devido ao alongamento das cabos e redes, sujeitas a cargas provenientes da bioincrustação ou das chumbadas na rede; por outro lado, podem também encolher, causando problemas na rede, sendo possível que as dimensões horizontais da gaiola possam ser reduzidas 3-5%. Por essa razão, na montagem da rede, deve-se sempre considerar esse fator, dando uma compensação extra, incorporada no projeto, tendo em conta esse fenómeno.

Para efeitos de amarração, o nylon apesar do seu preço, disponibilidade e uso frequente, não será a melhor solução, tendo em conta o referido anteriormente, todavia hoje em dia, estão já a utilizar-se o Dyneema-HDPE.

Apesar da aquacultura ser um setor muito dinâmico, em forte expansão, a nível mundial, temos que assinalar que, este crescimento se vê confrontado com constrangimentos importantes, tecnológicos e ambientais de entre outros.

A ida para Mar Aberto não constitui uma escolha, é uma inevitabilidade:

- face às questões colocadas na Aquacultura Costeira;
- insuficiente capacidade da Aquacultura de Terra e/ou Esteiros.

Há já um amplo consenso no setor da aquacultura que a sua implementação em **Mar Aberto** envolve, voltar à fase de projeto e tratá-la como uma atividade totalmente nova, numa ótica completamente diversa da aquacultura costeira.

Tratando-se de **Mar Aberto**, a diversidade de condições locais, requer soluções **“Taylor Made”**.

É essencial ter informações precisas sobre a topografia do local onde se pretende instalar a plataforma, sendo fundamental, fazer-se um estudo, baseado em dados de pelo menos um ano, relativamente às **propriedades determinantes do sistema:**

- Correntes (velocidade e direção); Temperatura da água; Salinidade; Níveis de oxigénio; Níveis de clorofila; Regime das ondas.
- Em Portugal, a piscicultura *offshore*, apesar da grande atratividade e o seu potencial produtivo permanecer praticamente intacto, ainda que com recentes avanços do setor, na Região Autónoma da Madeira, em Sines e agora no Algarve, constitui uma oportunidade para a produção de recursos alimentares que responda aos desafios colocados, principalmente pela contenção da pesca extrativa.
- O mesmo não se pode dizer dos bivalves, que encontram boas condições.

Os constrangimentos tecnológicos na piscicultura, prendem-se fundamentalmente com a alta energia das ondas, ventos em mar aberto, correntes marítimas, gradientes de temperatura da água, aspetos particulares das espécies a cultivar, riqueza de nutrientes que promove também o crescimento e desenvolvimento de fouling nas redes das jaulas, o que provoca o abaixamento da renovação de água e conseqüentemente do oxigénio disponível; a distância das “*sea farms*” a um porto, são condições a ter em conta, para quem pretende operar em mar aberto.

Pode dizer-se que as “**Envoltentes do sistema de aquacultura em Mar Aberto**” (Fig.99) são:



Fig. 99 - Envoltentes do sistema de aquacultura em Mar Aberto

Fonte: Ferreira 2018

O estudo dos constrangimentos *in loco*, determina o tipo e características do equipamento a ser utilizado, e os fatores críticos de sucesso.

O problema principal consiste em melhorar a segurança da instalação e o bem-estar animal, essencial a um adequado crescimento, mesmo em condições ambientais adversas.

A gaiola e equipamentos associados deverão, se necessário, movimentar-se verticalmente ao longo da coluna de água e sobre a superfície do mar.

A aquacultura offshore é vista e desenvolvida em todo o mundo como um sistema potencial de produção, que permitiria resolver as restrições da aquacultura costeira; no entanto, as dificuldades relacionadas com a geografia e a necessidade de intervenção diária, resultaram numa forte dependência do trabalho humano, para realizar tarefas de manutenção (limpeza, triagem e coleta) em condições adversas.

Desenvolveram-se, entretanto, soluções que envolvem sistemas automatizados, com controle adaptativo, para ajustar o modo operacional às características geográficas e ao método de produção

da exploração.

A aquacultura offshore é vista e desenvolvida em todo o mundo como um sistema potencial de produção, que permitiria resolver as restrições da aquicultura costeira, no entanto, as dificuldades relacionadas com a geografia e a necessidade de intervenção diária resultaram numa forte dependência do trabalho humano para realizar tarefas de manutenção (limpeza, triagem e coleta) em condições adversas,

Na aquicultura offshore, as restrições estão relacionadas principalmente à alta energia das ondas e ventos no mar, bem como à distância da costa ou de um porto. A tecnologia offshore existente não possui ainda esse padrão de automatização, que passa pela identificação de riscos e a decisão resolutiva automática in situ dos problemas detetados e validados, a autonomia energética, associada à produção offshore, irá dotar a aquicultura associada de capacidade necessária a novos equipamentos e automatismos.

Em aquicultura, podemos dizer que, nos seus diferentes equipamentos, encontram-se uma relevante variedade de materiais, conforme se releva na exposição anterior.

6. Visão futura

O desenvolvimento da aquicultura, vai evoluir com base no conhecimento científico como resposta aos condicionamentos impostos pela natureza, pelas alterações que esta atividade introduz em cada local ou que se venham a desenvolver, um exemplo claro desta situação é a criação da jaula da Konesberg com 110 m de boca e 80 m de profundidade que visa permitir a cultura do salmão, fugindo à praga do piolho que tem infestado a salmonicultura em geral, diminuindo o número de culturas em jaulas; paradoxalmente onde a moderna aquicultura com jaulas em Polietileno fez a sua entrada, no interior dos fiords. Entretanto em vastas áreas do globo, culturas tradicionais continuarão a laborar, algumas usando os meios locais. Jaulas de superfície operarão com êxito em todo o Mediterrâneo, Madeira e Canárias. Estes exemplos permitem ter uma ideia da complexidade das opções.

A aquicultura continuará a crescer, ocupando os espaços mais atrativos, ou desenvolvendo sistemas de jaulas submergíveis, com controle de alimentação e imagem, a ser atuado de acordo com as condições dos novos espaços de mar em que opera, por controlo remoto, ou através do sistema automático de autocontrolo.

Quando se pretender incrementar uma instalação de aquicultura, dever-se-á sempre ter em conta os seguintes pontos:

- Estudos aprofundados das “Envolventes Externas” – Ondas, Correntes e Fouling;
- Mobilidade dos Equipamentos por forma a acompanharem as condições mais favoráveis das “Envolventes Externas”, de acordo com os estudos oceanográficos;
- Conceção de equipamentos com: **Novos Materiais**, de forma a minimizar os efeitos negativos

das envolventes externas.

- Energias renováveis

A resolução dos dois problemas principais associados ao comportamento da gaiola no difícil mar aberto: **resistência às solicitações mecânicas**, por exemplo por impacto de onda e **incrustações de fouling**, que aparecem muitas vezes associadas em acidentes de arrasto e afundamento, constituem a principal preocupação, levando para isso ao desenvolvimento e integração no projeto de inovação nas áreas de identificação de tecnologias/resinas utilizadas pela indústria no combate do “fouling” em estruturas marítimas e navais e por outro lado, ao recurso em materiais compósitos inovadores, dotados de sensores de fibra ótica que fornecerão informações sobre as tensões a que os órgãos críticos da estrutura da gaiola estão sujeitos.

O material das redes bem como os compósitos da estrutura de suporte são formulados e testados para confirmar as características antivegetativas e assim minimizar os problemas com deposições crescentes (incrustações). As tintas e barreiras de proteção têm que apresentar propriedades reológicas e de adesão que permitam o revestimento das componentes da gaiola. Devem garantir o conforto dos peixes estabulados, condições de higiene e segurança alimentar dos produtos utilizados nos equipamentos, de acordo com as Normas e ensaios correspondentes, mas sempre sem deixar de ter em conta a avaliação custo-benefício da sua adaptação e utilização no projeto.

Nas redes, devem desenvolver-se mecanismos de produção, utilizando uma moderna tecnologia antivegetativa desenvolvida pelo IST, no âmbito do projeto europeu FoulXspell, que foi coordenado pelo IST, e que permitirá reduzir a frequência com que é necessário efetuar a limpeza e assim reduzir significativamente os custos de manutenção.

A aplicação dos antivegetativos incorporados nos materiais através de ligações covalentes, não lixivantes, conduz a grande poupança de energia e economia de outros custos, uma vez que a tecnologia evita a mudança de redes.

O desenvolvimento de soluções robustas para estes problemas, permite a instalação de equipamentos seguros e terá de permitir melhorar a utilização de janelas temporais, de visita das jaulas, seguras e mais informadas, para as necessárias tarefas de manutenção, alimentação e pesca, tendo em conta os riscos inerentes a estas atividades, que possibilitem a diminuição do número, natureza e frequência de idas a bordo, a partir do contacto online com os equipamentos instalados, melhorando drasticamente por essa via a informação disponível em terra, procurando identificar e tipificar padrões de conforto e segurança do peixe estabulado e fazer a indispensável monitorização do equipamento.

No Oceano, a ocorrência de tempestade durante vários dias consecutivos impõe a necessidade de instalação de sistemas autónomos de alimentação dos peixes por períodos de 15 a 20 dias, bem como a instalação de dispositivos de vigilância, acompanhados de registos sistemáticos de falhas, análise e melhoramento contínuo, até por questões de rastreabilidade e certificação da qualidade alimentar.

Ensaiam-se agora materiais compósitos inovadores, que podem ser dotados de sensores de fibra ótica, fáceis de instalar, que fornecerão informações em tempo real sobre as tensões a que os órgãos críticos da estrutura da gaiola estão sujeitos, deformações, inclinações, temperaturas e acelerações

Todos estes sistemas necessitam de energia, pelo que a solução cada vez mais adequada será a de plataformas multiusos, com geração de energias renováveis, em especial eólica e fotovoltaica, e aquacultura nas suas diferentes vertentes, de acordo com as condições do lugar.

A construção das estruturas e equipamentos, deve ter em conta uma seleção de materiais, nomeadamente na área das fibras poliméricas e dos compósitos. E ainda uma associação criteriosa com parceiros em áreas como automação, energia, construção naval e biologia marinha. Entretanto as fibras da flora têxtil nunca deixaram de acompanhar o desenvolvimento da aquacultura humana, apresentam-se de novo como uma alternativa nos compósitos, apresentando novos compósitos atrativos com a vantagem de serem biodegradáveis. É sabido que os compósitos de síntese são hoje um sério problema ambiental de tratamento caro.

A construção dos barcos deve tender para a utilização de fibra de vidro, eventualmente carbono e Kevlar, ou todas, na forma de pré-pregue, sendo as fases de gelificação e endurecimento processadas em autoclave; é sem dúvida a solução técnica mais avançada, mas também a mais onerosa.

Contudo é previsível que tubos e estruturas em compósito venham a integrar equipamentos para aquacultura, mais leves e resistentes, diminuindo as forças de restauro, devido ao menor peso da jaula, permitindo ainda a integração de antifouling no próprio compósito, aumentando a sua eficácia e tempo de vida útil, permitindo também incorporar sensores que informarão em tempo real as condições de mar: tensões, temperatura e correntes.

Com a necessidade constante da aquacultura oceânica cada vez mais autónoma e por isso a produção de energia eólica offshore e carência energética das estruturas de cultura de aquacultura vai surgindo associações harmoniosas que, por outro lado vão diminuir o espaço offshore ocupado, contribuindo para a organização do espaço oceânico.

7. Referências Bibliográficas

- Abreu, M. H., Pereira, R., Yarish, C., Bushmann, A. H., & Sousa-Pinto, I.** (2011). IMTA with *Gracilaria vermiculophylla*: Productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system. *Aquaculture*, 312.
- Asche, F., Roll, K.H., & Tveterås, S.** (2008). Future trends in aquaculture: Productivity growth and increased production. In: M. Holmer, K. Black, C. M. Duarte, N. Marba & I. Karakassis (Eds.), *Aquaculture in the ecosystem*, 271–92. Berlin: Springer.
- Atalah, J., Fletcher, L.M., Hopkins, G.A., Heasman, K., Woods, C.M.C., & Forrest, B.M.** (2016). Preliminary assessment of biofouling on offshore mussel farms. *Journal of the World Aquaculture Society*.
- Avault, J.W., & Guthrie, P. W.** (1986). The formation and history of the world mariculture society, 1969–1986. *Journal of the World Aquaculture Society*, 17, 64–71.
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J.** (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*. 51: 26-35.
- Baldwin, K.C., Irish, J.D., Celikkol, B., Swift, M.R., Fredriksson, D., Tsukrov, I., Chambers, M.,** Open ocean aquaculture engineering, OCEANS '02 MTS/IEEE, Biloxi, Mississippi, 2002.
- Benetti, D., O'Hanlon, B., Brand, L., Orhun, R., Zink, I., Doulliet, P., Collins, J., Maxey, C., Danylchuk, A., Alston, D., & Cabarcas, A.** (2006). Hatchery, on growing technology and environmental monitoring of open ocean aquaculture of cobia (*Rachycentron canadum*) in the

- Caribbean. World Aquaculture Society, Abstract. In Proceedings of Aquaculture 2006.
- Beveridge, M.C., & Little, D.C.** (2002). The history of aquaculture in traditional societies. In: Costa-Pierce BA (Ed.), Ecological aquaculture: The evolution of the blue revolution. 3-29.
- Brown, E.L., Bray, K., Bursten, B.E.** (2004). Química a Ciência Central. 9 ed.
- Buck, B.H., & Krause, G.** (2013). Short expertise on the potential combination of aquaculture with marine-based renewable energy systems. SeaKult-Sustainable Futures in the Marine Realm. Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Menschheitserbe Meer". Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.
- Buck, B.H., & Langan, R.** (2017). Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean, pp. 80-85.
- Bugrov, L.Y.** (2006). The «Sadco» Underwater Fish-Farming System Underwater Technology & Ocean World 45.
- Butcher, D.** (2004). The closing of the frontier. A history of the marine fisheries of Southeast Asia. Singapore.
- Cakaloz, A.B.** (2011). Fish Cage Construction. FAO Regional training on the principles of cage culture in reservoirs, Issyk-kul, Kyrgyzstan, on 22-24 June 2011.
- Cardia, F., & Lovatelli, A.** (2015). Aquaculture operations in floating HDPE cages, FAO-593.
- Carrasquinho, R.C.V.** (2009). Gestão e manejo de uma unidade de piscicultura em mar aberto na costa sul de Portugal. (Master) Universidade do Algarve, UAlg-Teses. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.1/1740>
- Chopin, T., Robinson, S., Reid, G., & Ridle, N.** (2013). Prospects for Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in the open ocean. Bulletin of the Aquaculture Association of Canada, 111 (2), 28–35.
- Cid, A.**, (2008). Cultivo de Dourada (*Sparus aurata*) numa jaula off-shore: alterações ambientais da qualidade da água no seu interior e no meio envolvente. (Dissertação Tese de Mestrado).
- Costa-Pierce B.A.** (2002). Ecology as the paradigm for the future of aquaculture. In: Costa-Pierce BA (Ed.), Ecological aquaculture: The evolution of the blue revolution, Blackwell Science, 339-372.
- Coutinho, F.M.B., Mello, I.L., Maria, L.C.S.**, (2003). Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p. 1-13.
- Dominghaus, H.**, 1988, *Plastics for Engineers – Materials, Properties, Applications*, Hanser Publishers, 3 ed., Munique, Aleman
- Earthducation**, (2011). Fishing Industry, from <http://lt.umn.edu/earthducation/expedition2/fishing-industry/>, 2020-06-22.
- Exporsado** (2018). <https://ostrasportuguesas.com/>, 2020-09-02.
- FAO**, (2006) - FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- FAO**, (2007) - The State of Food and Agriculture 2007 - Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, 2007 - Ho Chi Minh City, Viet Nam 18-20 September 2007
- FAO**, (2013) – Statistical Report 2013
- FAO**, (2018) - The State of the World series of the Food and Agriculture Organization of the United Nations - Meeting the Sustainable Development Goals - 2018
- FAO 498** - Cage aquaculture - Regional reviews and global overview – FAO Fisheries Technical Paper 498
- FAO 593** - Aquaculture operations in floating HDPE cages - FAO Fisheries Technical Paper 593
- Farms**, (2011). Further and Deeper, Developing Technology for Next-Generation Mariculture Retrieved 23/06/2013, from <http://www.kampachifarm.com/offshore.html>, 2020-08-14.
- Fredheim, A., & Langan, R.** (2009). Advances in technology for offshore and open ocean aquaculture. In G. Burnell & G. Allen (Eds.), New technologies in aquaculture: Improving 1 Introduction: New Approaches to Sustainable Offshore ... 17 production efficiency, quality and environmental management (pp. 914–942). Cambridge, UK: Woodhead Publications.
- Fula, D., Reis, A., Loyens, D., & Alves, J.L.** (2014). Proceedings CLME2014 / IVCEM, 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 14-18 Abril 2014. Artigo Nº A193695.
- Gassman, S.L., Schroeder, A.J., Ray, R.P.**, (2005). Field performance of high density polyethylene culvert pipe. Journal of Transportation Engineering-Asce 131 (2): 160-167 feb.

- Gi3n, A.R.C.** (2009). Aplica33o de metodologias de projeto integrado de sistemas de ancoragem e risers na explora33o de petr3leo Offshore. Disserta33o de Mestrado - Programa de P3s-gradua33o em Engenharia Civil - COPPE, Rio de Janeiro.
- Hall, D.** (2003). The international political ecology of industrial shrimp aquaculture and industrial plantation forestry in Southeast Asia. *Journal of Southeast Asian Studies*, 34, 251–264.
- Helsley, C.E., & Kim, J.K.** (2005). Mixing downstream of a submerged fish cage: A numerical study.
- Hovland, E., et al.** (2014). *Norges Fiskeri- og Kysthistorie V*. Fagbokforlaget: Bergen.
- Howell, W.H., Watson, W.H., & Chambers, M.D.** (2006). Offshore production of cod, haddock and halibut. CINEMar/Open Ocean Aquaculture Annual Progress Report for the Period from January 01–31, 2005. Final Report for NOAA Grant No. NA16RP1718, interim Progress Report for NOAA Grant No. NA04OAR4600155.
- IEC - Institute Europ3een du Cuivre** (2019). Dans les applications d'aquaculture marine, les alliages de cuivre ont permis d'augmenter la productivit3e. <https://copperalliance.fr/le-cuivre/les-produits-et-les-applications/aquaculture/>
- INE - Instituto Nacional de Estatística** - Estatísticas da Pesca : 2018. Lisboa : INE, 2019. Disponível na [www: <url:https://www.ine.pt/xurl/pub/358627638>](http://www.ine.pt/xurl/pub/358627638). ISSN 0377-225-x. ISBN 978-989-25-0489-6, 2020-07-23.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera – Cunha, E.** (2018). Aquatransfer, 1ª A33o de Intera33o, Defini33o de IMTA – diferentes realidades. Abril 11- 2018.
- Jiao, Z., Fu, Q., Geng, X., et al.,** (2006). Humidity sensing properties of pre-irradiation grafted HDPE membranes, rare metal materials and engineering 35: 357-360 suppl. 3 dec.
- Joffre, O. M., Bosma, R. H., Ligtenberg, A., Tri, V. P., Ha, T. T., & Bregt, A. K.** (2015). Combining participatory approaches and an agent-based model for better planning shrimp aquaculture. *Agricultural Systems*, 141.
- Kors3oen, T.J., Fosseidengen, J. E., Kristiansen, T. S., Oppedal, F., Bui, S., Dempster, T.,** Atlantic salmon in a submerged sea-cage adapt rapidly to re-fill their swim bladders in an underwater air filled dome, *Aquacultural Engineering*, 1-6, 2012.
- Langan, R.** (2012). Ocean cage culture. In J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture production systems*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Li, B.** (1997). *Agricultural development in Jiangnan, 1620–1850, studies on the Chinese Economy*
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., Roque d'Orbcastel, E., Verreth, J. A. J.** (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43: 83-93.
- McCann, M.** (2003). The Roman port and fishery of Cosa. Rome: American Academy. in Rome.
- Myreb3e, Gunnar** (2016). COB, Ocean Farming.
- Nakajima, T., Hudson, M.J., Uchiyama, J., Makibayashi, K., Zhang, Z.** (2019). Common carp aquaculture in Neolithic China dates back 8,000 years. *Nature Ecology & Evolution*
- Nash, C.** (2010). *The history of aquaculture*, John Wiley & Sons.
- Natale, F., Hofherr, J., Fiore, G., & Virtanen, J.** (2013). Interactions between aquaculture and fisheries. *Marine Policy*, 38
- Navarro, R.M.S.** (2007). An3lise de Ensaio de Lavagens de Tecidos de Poli3ster com Diferentes Concentra33es de Sab3o de Uso Dom3stico. Campinas, 2007. Pg 20.
- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G., Halling, C., et al.** (2004). Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern aquaculture. *Aquaculture*, 231, 361–391.
- Ostrowski, A.C., & Helsley, C.E.** (2003). The Hawaii offshore aquaculture research project: Critical research and development issues for commercialization. In: C. J. Bridger & B.A. Costa-Pierce (Eds.), *Open ocean aquaculture: From research to commercial reality*. Louisiana, USA: The World Aquaculture Society.
- Palmer, R. J.** 2001. Polyamides, Plastics. *Encyclopedia Of Polymer Science and Technology*
- Paleo, J.D.B., Muir, J., Turner, R.,** (2000). Offshore mariculture: Workboats. In: *Mediterranean Offshore Book*. CHIEAM Options Mediterran3ennes, pp. 179-190.
- Pereira, R. A.; Mano, E. B.; Dias, M. L.; Acordi, E. B.** (1997) – Comparative study on the lamellar

- crystal structure of high and low density polyethylenes, *Polymer Bulletin*, 38, p.707.
- Piedrahita, R. H.** (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226: 35-44.
- Pillay, T.V.R., & Kutty, M.N.** (2005). *Aquaculture: principles and practices*. Oxford, Blackwell publishing.
- Railkin, A. I.** (2004). Marine Biofouling - Colonization Process and Defenses. Retrieved from http://www.crabproject.com/client/files/Paper_Willemsen.pdf
- Ridler, N., Wowchuk, M., Robinson, B., Barrington, K., Chopin, T., Robinson, S., et al.** (2007). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): A potential strategic choice for farmers. *Aquaculture Economics and Management*, 11, 99–110.
- Rijn, J.** (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53.
- Robinson, S. M. C., Lander, T., Martin, J. D., Bennett, A., Barrington, K., Reid, et al.** (2007). An interdisciplinary approach to the development of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): The organic extractive component. In *Proceedings of Conference on Aquaculture*. World Aquaculture Society, 786 pp.
- Rocha, R.J., & Dinis, M.T.** (2019). Captar ciência e ambiente para todos, vol. 8, nº 1, 40-50
- Rubio, A.R.,** (2007). Plataformas para la Alimentación Automática en Granjas Acuicolas Españolas. In: XI Congreso Nacional de Vigo; Tomo 1; Vigo, 24-28 Septiembre 2007
- Ryan, J.** (2004). Farming the deep blue. Bord lascaigh Mhara Technical Report. Dublin, Ireland: BIM.
- Scott, D.C.B., Muir, J.F.,** (2004). Offshore cage systems - a practical overview, Institute of aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK, In: *Mediterranean Offshore Book; CHIEAM Options Méditerranéennes*
- Shainee, M., Haskins, C., Ellingsen, H., Leira, B.J.,** (2012). Designing offshore fish cages using systems engineering principles, *Systems Engineering*, 396-406, 2012.
- Silva, L.A.** (2017). Nos cabos, anzóis, redes e jaulas: seguindo os materiais na pesca artesanal, 2017.
- Sims, N.A.** (2018). <http://ocean-era.com/neil-sims>, 2020-08-16.
- Stickney, R.R., & Treece, G.D.** (2012). History of aquaculture. In: JH Tidwell (Ed.),
- Størkersen, K.V.,** Fish first. Sharp end decision-making at Norwegian fish farms. *Safety Science*, 2028-2034, 2012.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M.,** 2010. *Recirculating Aquaculture*, 2nd edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A. H., & Fang, J.-G.** (2009). Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297, 2-3.
- Turner, R.,** (2000). Offshore Mariculture: Site Evaluation. In: *Mediterranean Offshore Book; CHIEAM Options Méditerranéennes*
- UNIVERSITY OF YORK. CIEC** Promoting Science at the University of. **Polyamides**. [Online] University of York, 7 de maio de 2013. <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyamides.html>.
- Ward, L.G., Grizzle, R.E., & Irish, J.D.** (2006). UNH OOA environmental monitoring program, 2005. CINEMar/Open Ocean Aquaculture Annual Progress Report for the Period from January 01, 2005 to December 31, 2005. Final Report for NOAA Grant No. NA16RP1718, Interim Progress Report for NOAA Grant No. NA04OAR4600155.
- Werth, M., Hochstetter, G., Dang, P., Chedozeau, N.,** 2002, “Polyamide 11 – a high tenacity thermoplastic, its material properties and the influence of ageing in offshore conditions”. In: *21th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, MAT-28570, Oslo, Noruégia
- Wever, L., Krause, G., & Buck, B.H.** (2015). Lessons from stakeholder dialogues on marine aquaculture in offshore wind farms: Perceived potentials, constraints and research gaps.
- Wiebeck, H., Harada, J.** (2005), *Plásticos de Engenharia*. São Paulo, Artliber.
- Zhang, S.-Y., Li, G., Wu, H.-B., Liu, X.-G., Yao, Y.-H., Tao, L., Liu, H.** (2011). An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquaculture Engineering*. 45: 93-102.

8. ANEXOS

❖ Anexo 1 – Caso Study

Estudo do comportamento da jaula do projeto Cage4PtSea em prova de mar

O projeto Cage4PortSea, resulta da necessidade de desenvolver um equipamento para trabalhar no difícil Mar Português, com elevado grau de autonomia e resistência às condições do offshore.

No contexto deste projeto, coordenado pelo IST, em que se faz o estudo dum protótipo de jaula semi-submersível para piscicultura em mar aberto, num primeiro ensaio preliminar de estadia no mar, sito nos ENP (doca junto à muralha do molhe leste, sonda reduzida comunicada pelo estaleiro: 5 m) durante 6 meses.

No sentido de contribuir para a compreensão e esclarecimento, dos fenómenos que ocorreram, apresenta-se o estudo realizado.

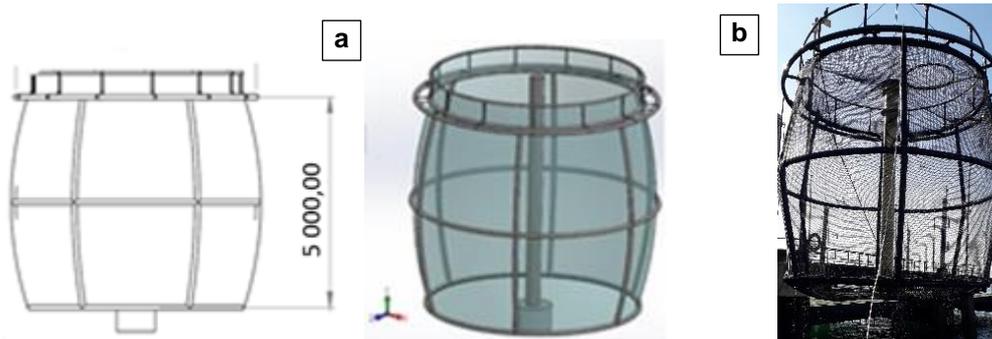


Fig. 100 – Jaula semi-submersível do projeto Cage4PtSea

a – Projeto da jaula ; b – Protótipo antes de entrar na água do mar

Fonte: Projeto Cage4PtSea

- a. Fase de projeto com definição de dimensões e materiais a utilizar;
- b. Protótipo de jaula quase pronta a ser colocada na água, posteriormente foram acrescentados 3 *sinker blasts* em aço, na última permanência, de 4 meses, com peixes, em provas de mar.

A jaula de teste é construída em HDPE, com gola flutuadora constituída por um tubo do mesmo material, que suporta um passadiço de apoio à atividade dos operadores, permitindo a fixação do tubo vertical, em compósito de fibra de vidro e resina de poliestireno, destinado a reservatórios de lastro variável e de ar comprimido, possuindo ainda um lastro permanente, fixo à extremidade inferior, para estabilização do equipamento, um aro anti esmagamento e um aro de fundo onde o tubo vertical em compósito assenta numa flange também em compósito, ligada radialmente, por seis tirantes, ao tubo de fundo da jaula e verticalmente a um lastro permanente, na extremidade final do tubo.

A ligação do tubo central à estrutura da jaula faz-se por 6 tirantes em aço inox na parte superior e igual número na parte inferior, agora, ligando a flange do tubo vertical ao tubo inferior em HDPE da jaula, por forma a garantir o fecho da jaula, envolta em rede em toda a sua área.

Ocorrências

- Rotura de todos os tirantes de ligação entre o tubo central e a estrutura da jaula, da base e do topo, os tirantes foram destruídos, tendo ficado os tensores e esticadores acoplados, agarrados ao tubo;
- Foi disponibilizado um tirante com esticador, recolhido na parte inferior do tubo para estudo. Tomou-se conhecimento, que o fundo da jaula foi lavado a alta pressão, incluindo os tirantes e esticadores.
- Durante a recuperação do equipamento imerso, tubo central e lastro central continuava ligado à estrutura e rede que, apesar do fouling resistiu e subiu para terra, suportado pela estrutura da jaula do tubo central e da rede envolvente, sem danos, somente se verificou a rotura de todos os tirantes que a ligavam ao corpo da jaula.

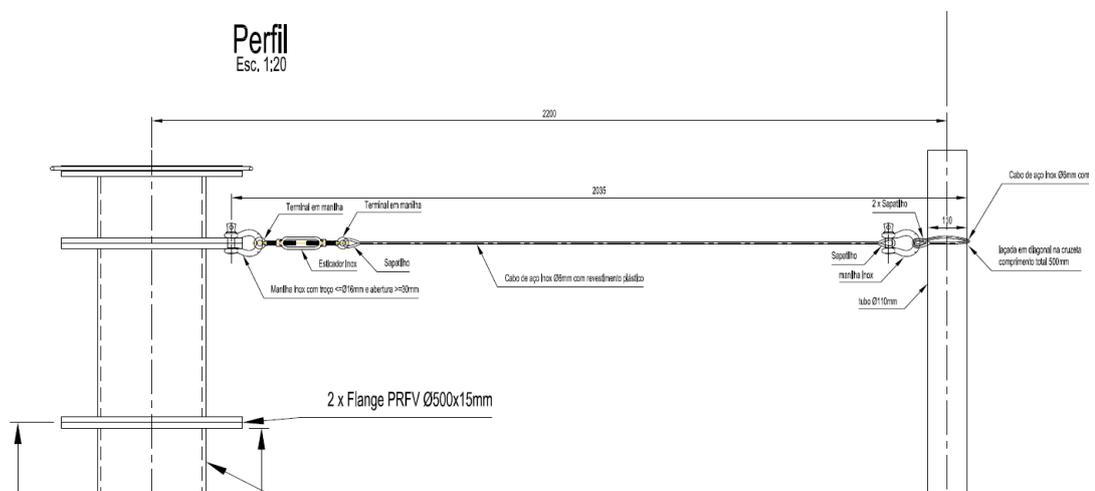


Fig. 101 – Esquema do tirante

Fonte: Projeto Cage4PtSea



Fig. 102 – Tirantes da base em vários ângulos antes da estadia no mar

Fonte: Projeto Cage4PtSea

Situação da jaula pós estadia no mar

A jaula esteve no mar durante um período de 6 meses, de 2020-01-07 a 2020-07-02 (sem peixe durante os primeiros 2 meses e com peixes a partir de 2020-02-27, durante 4 meses). Nesta parte do trabalho vamos analisar as incidências estruturais verificadas.



Fig. 103 - Jaula quando saiu do mar após uma estadia de 6 meses
Fonte: Projeto Cage4PtSea

Quando saiu do mar, após seis meses de estadia, verificou-se:

- Ter havido contacto com o fundo do mar, havendo aglomerações de restos de alimentos, lama e dejetos dos peixes estabulados;
- Haver incrustações sobre o tubo e esticadores que importava esclarecer.



Fig. 104 – Laço de ligação do tirante à estrutura da gaiola
Fonte: Projeto Cage4PtSea –Foto Ferreira A.

- ✓ Incrustações nos tirantes, analisadas por DRX, para esclarecer a sua origem;
- ✓ Expressivas Incrustações na flange inferior, acompanhada de rotura dos esticadores.

O estado dos tirantes e da flange na zona inferior evidenciam fortes depósitos incrustados em seu redor e nas zonas adjacentes a estas, em geral correspondem a acumulação de restos de comida, dejetos dos peixes estabulados e incrustantes marinhos (Fig.105); não nos foi fornecida a origem do tirante estudada.



Fig. 105 – Esticadores na zona inferior pós estadia no mar durante 6 meses
Fonte: Projeto Cage4PtSea

No caso da jaula Cage4PtSea a distância ao fundo do mar era baixa, junto ao cais, a sonda reduzida no local é de 5 m, é visível o arrasto de lama de fundo (Fig 103-b);



Fig.103-b)

de facto, durante a estadia do equipamento na água, este chocou, repetidamente com o fundo do mar, impulsionando verticalmente o tubo central, que sobrecarregou os tensores que o ligavam ao colar superior (Fig. 106) e à flange inferior (Fig.105); tal facto, poderá ter contribuído para promover tensões importantes, não previstas, nas ligações entre as flanges do tubo, esticadores e a estrutura em HDPE.



Fig. 106 - Esticadores na zona superior pós estadia no mar durante 6 meses
Fonte: Projeto Cage4PtSea

O estado dos tirantes na zona superior, evidenciado na Fig. 1066, mostra o tubo central, solidário à estrutura da jaula, através dos tirantes, mas que estes, estavam completamente soltos, devido aos choques com o fundo do mar motivados por movimentos oscilatórios, principalmente verticais importantes, sendo que durante este período registaram-se marés vivas, ampliando o esforço suportado pelos tirantes, devido à amplitude dessas marés.

O equipamento tinha em conta os movimentos das ondas, mas os tirantes, de acordo com o elemento

estudado neste trabalho, não suportaram os esforços anormais de choque com o fundo. A rede, apesar do fouling que evidencia, devido à falta de antivegetativo, não sofreu danos. Para além da análise visual que se mostrou insuficiente para esclarecer o fenómeno de rotura, solicitou-se aos laboratórios do IST:

- Análises SEM-EDS da fratura;
- Avaliação em DRX – difração de raio X.

O presente estudo visa esclarecer a fratura do tirante

Foi disponibilizado somente parte de um tirante, que se irá analisar sob vários prismas, começando pelo visual:



Fig. 107 – Tirantes incompletos
Fonte: Projeto Cage4PtSea - Ferreira A.

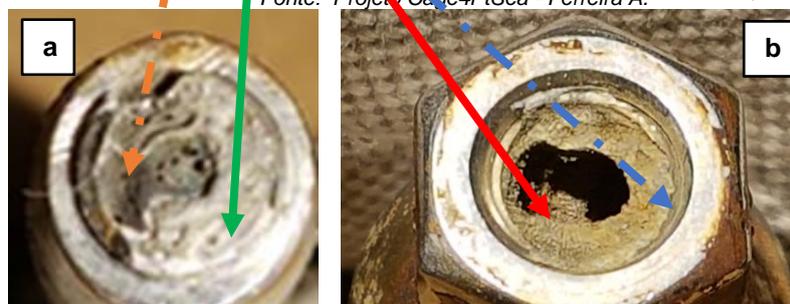


Fig. 108 – Fratura do tirante
Fonte: Projeto Cage4PtSea – Ferreira A.

-  Vista da superfície de rotura do parafuso do lado da porca
-  Vista da superfície de rotura do parafuso do lado do tirante
-  Vista da rosca da porca
-  Vista da rosca do corpo do estirador
-  Serra cabos de cobre

A fratura é dúctil por sobrecarga de tensões, desconhecendo-se a natureza da sobrecarga em cada tensor, não é possível determinar se houve alguma sequência de rotura, faltam os outros tirantes para serem também analisados.

A superfície de rotura (Fig.108) evidencia existência de pitting (Fig. 109ig.109).

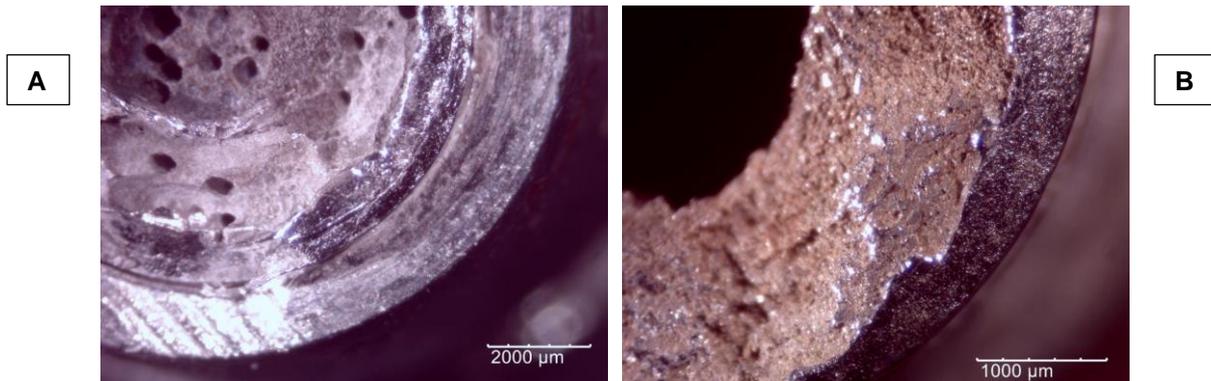


Fig. 109 – Fratura do tensor

A – Visão à lupa do parafuso fraturado no interior do corpo central

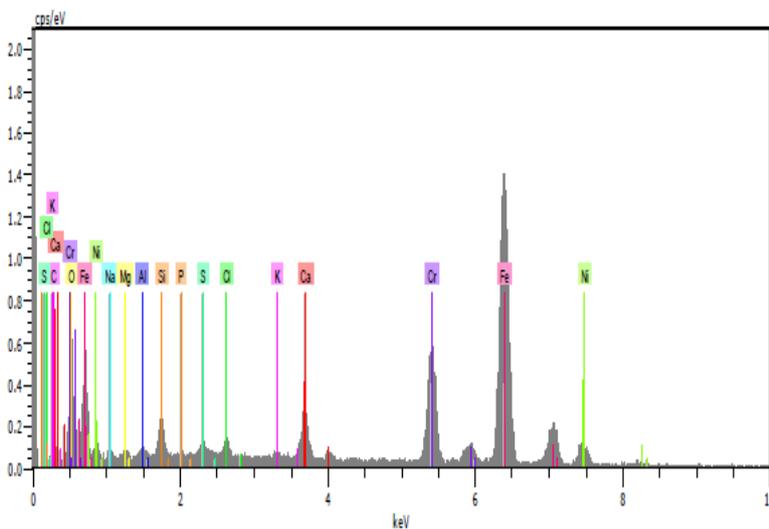
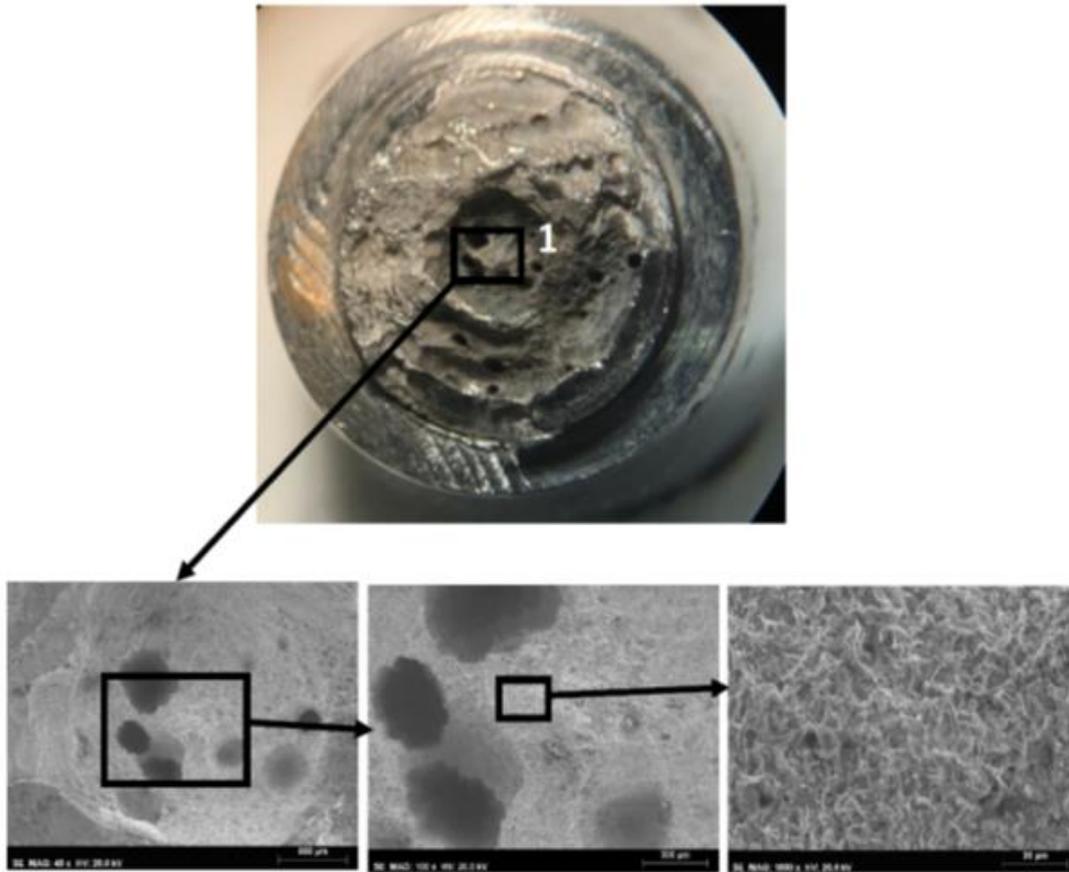
B – Visão à lupa parafuso fraturado no interior da porca

Fonte: Francisco M. - IST

Esta superfície resultou da descoesão do material (fratura) na água do mar, trata-se de duas superfícies originadas pela rotura, portanto não passivadas pelo O₂, sendo claro que o meio salino por outro lado e a proximidade de um meio anaeróbico, devido às condições em que se encontrava o fundo da jaula, facilita o ataque por pitting.

A origem do ataque corrosivo localizado, pode ter sido facilitada por defeitos usuais na trefilagem do fio, antes da operação de roscagem (é conhecido que, durante o processo de trefilagem, se podem originar descoesões do material, na zona central do fio trefilado), podendo contribuir para a nucleação do pitting, precedido a quando da fratura, pelo ataque em meio salino da zona da fratura, num meio propício à corrosão anaérobica. Não aprofundamos mais o estudo nessa direção, desconhecemos se os outros tirantes tinham o mesmo padrão de ocorrência. A existência de peixe vivo em toda a jaula, sugere que a corrosão anaérobica pode ter ocorrido na parte inferior da jaula também, mas de forma limitada junto da flange inferior.

Foram realizadas análises pela **técnica SEM-EDS** para detetar a composição química do material do parafuso, em vários pontos e que se exemplifica com o ponto 1, Fig.110.



Elemento	wt%
Fe	73,5
Cr	16,7
Ni	8,7
S	1,1

Fig. 110 – Análise da zona 1

Fonte: Projeto Cage4PtSea – Técnica SEM-EDS - IST

Foram quantificados apenas os elementos Fe, Cr, Ni e S, pois os restantes que foram detetados (Si, Ca, C, O, Al, K, Cl, Na, Mg) são provavelmente contaminantes devido ao ambiente marinho em que a peça se encontrava (oxidação, sujidade, sedimentos, etc.).

Foram realizadas análises pela **técnica DRX** ao cerra cabos, de que se apresentam dois exemplos.

A Fig. 111 mostra o Cerra Cabos em cobre oxidado superficialmente em cuprite (Cu_2O) e corroído com cloretos – Atacamite (verde).



Fig. 111 – Pormenor da soldadura do cabo – Cobre
Fonte: DRX Francisco M.-IST

A Fig.112 mostra o Corpo Central com roscado interior, apresenta incrustações que sugerem um ataque ao aço inox austenítico, no corpo do esticador, verificou-se por DRX ser Aragonite, resultante da colonização de crustáceos.



Fig. 112 - Corpo Central do tensor
Fonte: DRX Francisco M.-IST

Conclusões do Case Study

Seria desejável, ter-se os outros tirantes que também sofreram fratura, para se poder estudar com rigor, a sequência das fraturas, sua natureza, o papel dos materiais usados, e se houve participação de corrosão, as causas. Observa-se uma fratura dúctil no parafuso do tensor.

- Deve utilizar-se no tensor um aço com Mo, AISI 316, convenientemente dimensionado, de forma a resistir às tensões e á corrosão
- Seria recomendável alterar o projeto usando material adequado às ligações entre o tubo central e a jaula com tubos em HDPE, como é usual nestes equipamentos no lugar de tirantes;
- Esclarece-se que as incrustações nos tensores, são de Aragonite (Carbonato de cálcio biológico), proveniente da incrustação de seres marinhos e não produtos de corrosão;
- O equipamento fundamental, constituído por estrutura da jaula, tubo, lastro e rede, mantiveram-se em condições de reutilização, depois de recuperado decapado e protegido com antivegetativo;
- Faltou observar as regras de flutuação da jaula, não tendo assim previsto os choques com o

fundo do mar e na rede lateral com os sink ballast, colocados posteriormente nos últimos 4 meses e perdidos.

- Faltou respeitar as regras de estacionamento das jaulas guardando distância de 10m do fundo da jaula ao fundo do mar; mesmo nessa situação, verificou-se que, passados os 4 meses de imersão, o peixe estava de boa saúde;

As recomendações para o fundeamento das jaulas indicam:

- ✓ profundidade total mínima de 40 m para o local;
 - ✓ profundidade máxima de afundamento, deve garantir que o fundo da jaula quando imersa, tem uma distância superior a 10 m em relação ao fundo do mar;
 - ✓ Utilização de tubos de HDPE como elementos de ligação estrutural do tubo central à estrutura da jaula.
- Falta a proteção antifouling, essencial para um bom desempenho no bem-estar animal, promovendo a renovação da água na jaula e sua conseqüente oxigenação;
 - Foi verificado que a aglomeração de dejetos dos peixes e restos alimentares, em conjunto com lama resultante do contacto com o fundo, produziu forte concentração destes elementos no fundo da jaula.

Resumindo

A principal causa identificada como determinante do acidente, foi o contacto direto do tubo central (fixado à estrutura pelos tirantes), com o fundo do mar.

Os tirantes entraram em sobrecarga, uma vez que não estavam dimensionados para os esforços a que foram sujeitos, com cargas dinâmicas associadas à ondulação, choques e assentamento do tubo no fundo do mar, o tubo teve importantes movimentações verticais, que foram descarregadas no tubo e na jaula através dos tirantes, tensões suficientes para originar a rotura destes.

Apesar do sucedido, é possível a recuperação do equipamento e o retorno aos ensaios de mar.

Nota: Estudo realizado, exclusivamente sobre o elemento fornecido,

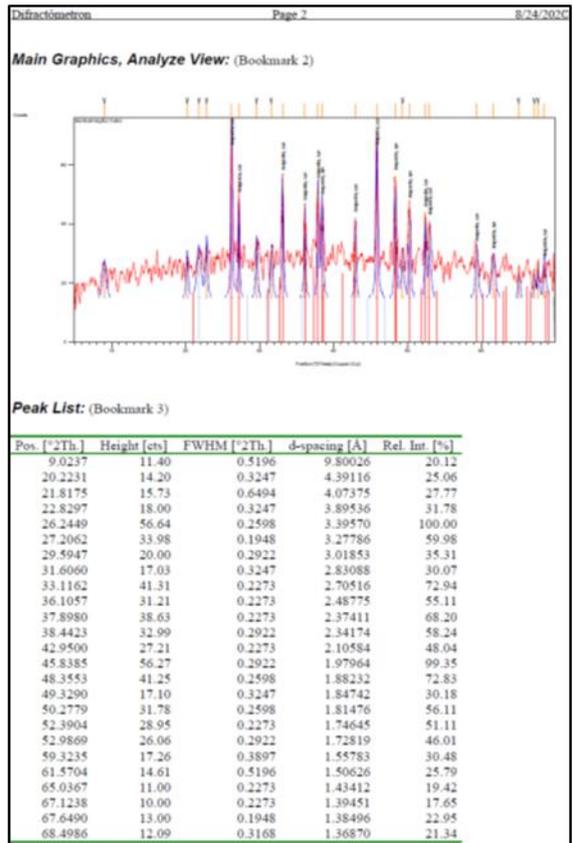
❖ Anexo 1.1 – DRX – Incrustações Tubo

Diffractometron Page 1 8/24/2020

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name INCRUSTAÇÃO TUBO
File name C:\XPert Data\Training\INCRUSTAÇÃO TUBO.xrdml
Comment Configuration=PW3064-60, Owner=User-1, Creation
date=3/2/2007 4:22:01 PM
Goniometer=PW3050-60 (Theta Theta); Minimum step size
2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
Sample stage=Transmission Spinner PW3064-60; Minimum
step size Phi:0.1
Diffractometer system=XPERT-PRO
Measurement program=Training1, Owner=User-1, Creation
date=4/2/2007 11:10:47 AM
Measurement Date / Time 7/17/2020 1:30:35 PM
Operator Administrador
Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis Gonio
Start Position [°2Th.] 4.9767
End Position [°2Th.] 69.9537
Step Size [°2Th.] 0.0330
Scan Step Time [s] 98.4804
Scan Type Continuous
PSD Mode Scanning
PSD Length [°2Th.] 2.12
Offset [°2Th.] 0.0000
Divergence Slit Type Automatic
Irradiated Length [mm] 3.00
Specimen Length [mm] 10.00
Measurement Temperature [°C] 25.00
Anode Material Cu
K-Alpha1 [Å] 1.54060
K-Alpha2 [Å] 1.54443
K-Beta [Å] 1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
Generator Settings 35 mA, 40 kV
Diffractometer Type 0000000011019195
Diffractometer Number 0
Goniometer Radius [mm] 240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100.00
Incident Beam Monochromator No
Spinning Yes



Diffractometron Page 3 8/24/2020

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
<input checked="" type="checkbox"/>	00-005-0453	40	Aragonite, syn	0.000	1.207	Ca C O3

Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:
- File name = "INCRUSTAÇÃO TUBO.xrdml"
- Modification time = "7/17/2020 2:04:11 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Default properties:
- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Incident beam monochromator = "No"
- Fixed div. slit size = "1.00000"
- Receiving slit size = "0.10000"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "7/17/2020 2:04:11 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Interpolate Step Size:
- Step Size = "Derived"
- Modification time = "9/1/2006"
- Modification editor = "PANalytical"

Smooth:
- Type of smoothing = "Polynomial"
- Polynomial type = "Quintic"
- Convolution range = "7"
- Modification time = "7/13/2020 5:40:00 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Search Peaks:
- Minimum significance = "0.25"
- Minimum tip width = "0.05"
- Maximum tip width = "1.00"

Diffractometron Page 4 8/24/2020

- Peak base width = "2.00"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "7/16/2020 7:26:58 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Correct Displacement:
- Known displacement = "-0.200 [mm]"
- Modification time = "7/16/2020 8:01:28 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Search & Match:
- Data source = "Profile and peak list"
- Restriction = "Restriction set"
- Description = "Minerals subfile only"
- All of: elements = ""
- At least one of: elements = ""
- None of: elements = ""
- Maximum no. of elements = "105"
- Skip marked as deleted by ICDD = "No"
- Skip marked as deleted by a user = "No"
- Skip non ambient pressure = "No"
- Skip non ambient temperature = "No"
- Skip alternate patterns = "No"
- Quality marks set = ""
- Subfiles = "Mineral"
- Scoring schema = "Multi phase"
- Auto residue = "Yes"
- Match intensity = "Yes"
- Denote unmatched strong = "No"
- Allow pattern shift = "No"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "No"
- Modification time = "1/11/2001 10:27:07 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

Smooth:
- Type of smoothing = "Polynomial"
- Polynomial type = "Quintic"
- Convolution range = "21"
- Modification time = "7/17/2020 2:05:55 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Search Peaks:
- Minimum significance = "0.50"
- Minimum tip width = "0.10"
- Maximum tip width = "1.00"
- Peak base width = "2.00"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "7/17/2020 2:06:08 PM"
- Modification editor = "Administrador"

❖ Anexo 1.2 – DRX – Cobre

Diffractometron Page 1 8/24/2020

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Dataset Name COBRE
 File name C:\Xpert Data\Training\COBRE.xrdml
 Comment Configuration=PW3064-60, Owner=User-1, Creation
 date=3/2/2007 4:22:01 PM
 Goniometer=PW3050/60 (Theta Theta); Minimum step size
 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
 Sample stage=Transmission Spinner PW3064-60; Minimum
 step size Phi:0.1
 Diffractometer system=XPERT-PRO
 Measurement program=Training1, Owner=User-1, Creation
 date=4/2/2007 11:10:47 AM
 Measurement Date / Time 7/17/2020 5:41:57 PM
 Operator Administrador
 Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis Gonio
 Start Position [°2Th] 4.9767
 End Position [°2Th] 69.9537
 Step Size [°2Th] 0.0330
 Scan Step Time [s] 98.4804
 Scan Type Continuous
 PSD Mode Scanning
 PSD Length [°2Th] 2.12
 Offset [°2Th] 0.0000
 Divergence Slit Type Automatic
 Irradiated Length [mm] 3.00
 Specimen Length [mm] 10.00
 Measurement Temperature [°C] 25.00
 Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1.54060
 K-Alpha2 [Å] 1.54443
 K-Beta [Å] 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
 Generator Settings 35 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000011019195
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100.00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning Yes

Diffractometron Page 2 8/24/2020

Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)

Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.3525	3.83	0.1948	12.02359	2.18
7.7159	4.69	0.1948	11.45805	2.67
10.0330	2.82	0.2922	8.81648	1.60
13.6874	3.80	0.2273	6.46971	2.16
15.4244	8.87	0.1948	5.74482	5.05
16.1104	24.34	0.2273	5.50169	13.85
19.5720	4.35	0.2598	4.53575	2.48
20.7425	6.86	0.2922	4.28237	3.90
22.6704	5.03	0.2922	3.92237	2.86
29.4667	15.58	0.1948	3.03135	8.87
31.5022	20.40	0.2598	2.83997	11.61
32.2691	37.57	0.2273	2.77421	21.38
34.7265	12.74	0.2273	2.58332	7.25
36.3669	108.95	0.2598	2.47047	61.99
38.4013	10.25	0.2922	2.34415	5.83
39.7783	26.98	0.3247	2.26612	15.35
41.1115	3.17	0.2598	2.19566	1.81
42.2341	38.05	0.2273	2.13986	21.65
43.2832	175.74	0.2922	2.09039	100.00
50.4427	74.86	0.2922	1.80922	42.60
53.6830	12.04	0.3897	1.70741	6.85
61.3589	26.52	0.2922	1.51095	15.09
66.2008	12.47	0.2772	1.41053	7.10

Diffractometron Page 3 8/24/2020

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-004-0836	58	Copper, syn	-0.036	0.963	Cu
*	00-005-0667	46	Cuprite, syn	-0.075	0.555	Cu ₂ O
*	00-023-0948	12	Atacamite, syn	0.019	0.155	Cu ₇ Cl ₄ (OH) ₁₀ ·H ₂ O

Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:
 - File name = "COBRE.xrdml"
 - Modification time = "7/17/2020 6:33:16 PM"
 - Modification editor = "Administrador"

Default properties:
 - Measurement step axis = "None"
 - Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
 - Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
 - Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
 - Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
 - Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
 - Original K-Beta wavelength = "1.39225"
 - Used K-Beta wavelength = "1.39225"
 - Incident beam monochromator = "No"
 - Fixed div. slit size = "1.00000"
 - Receiving slit size = "0.10000"
 - Step axis value = "0.00000"
 - Offset = "0.00000"
 - Sample length = "10.00000"
 - Modification time = "7/17/2020 6:33:16 PM"
 - Modification editor = "Administrador"

Interpolate Step Size:
 - Step Size = "Derived"
 - Modification time = "9/1/2006"
 - Modification editor = "PANalytical"

Smooth:
 - Type of smoothing = "Polynomial"
 - Polynomial type = "Quintic"
 - Convolution range = "11"
 - Modification time = "7/17/2020 6:33:40 PM"
 - Modification editor = "Administrador"

Smooth:
 - Type of smoothing = "Polynomial"
 - Polynomial type = "Quintic"

Diffractometron Page 4 8/24/2020

- Convolution range = "19"
- Modification time = "7/17/2020 6:33:49 PM"
- Modification editor = "Administrador"

Search Peaks:
 - Minimum significance = "0.50"
 - Minimum tip width = "0.10"
 - Maximum tip width = "1.00"
 - Peak base width = "2.00"
 - Method = "Minimum 2nd derivative"
 - Modification time = "7/17/2020 2:06:08 PM"
 - Modification editor = "Administrador"

Correct Displacement:
 - Known displacement = "-0.300 [mm]"
 - Modification time = "7/17/2020 6:34:08 PM"
 - Modification editor = "Administrador"

Search & Match:
 - Data source = "Profile and peak list"
 - Restriction = "None"
 - Scoring schema = "Multi phase"
 - Auto residue = "Yes"
 - Match intensity = "Yes"
 - Demote unmatched strong = "Yes"
 - Allow pattern shift = "Yes"
 - Two theta shift = "0"
 - Identify = "Yes"
 - Max. no. of accepted patterns = "5"
 - Minimum score = "50"
 - Search depth = "10"
 - Min. new lines / total lines = "30"
 - Minimum new lines = "4"
 - Minimum scale factor = "0.1"
 - Modification time = "7/17/2020 6:34:15 PM"
 - Modification editor = "Administrador"

❖ Anexo 1.3 - SEM – EDS – Lado 1

LADO 1 - A



Zona 1

Elemento	wt%
Fe	73,5
Cr	16,7
Ni	8,7
S	1,1

Foram quantificados apenas os elementos Fe, Cr, Ni e S, pois os restantes que foram detectados (Si, Ca, C, O, Al, K, Cl, Na, Mg) são provavelmente contaminantes devido ao ambiente marinho em que a peça se encontrava (oxidação, sujidade, sedimentos, etc).

Zona 2

Elemento	wt%
Fe	72,3
Cr	18,6
Ni	8,5
S	0,6

Zona 4

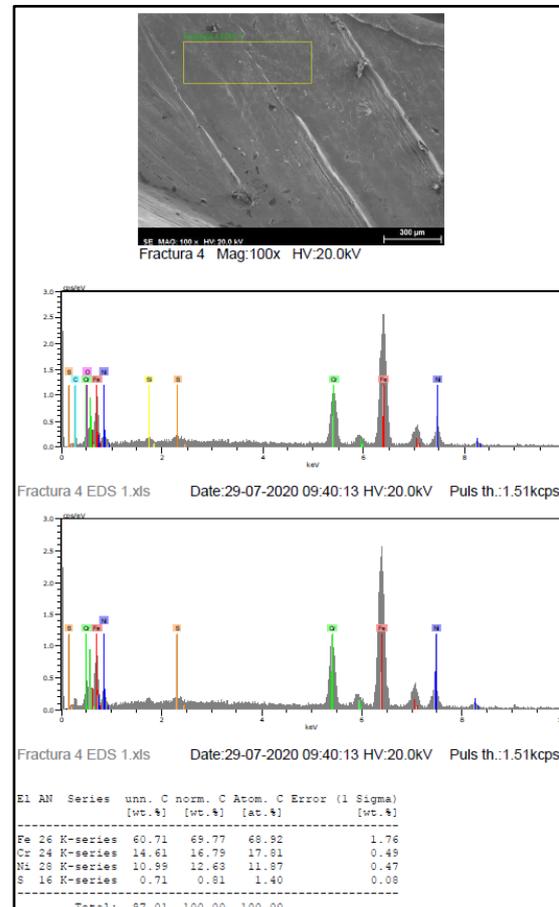
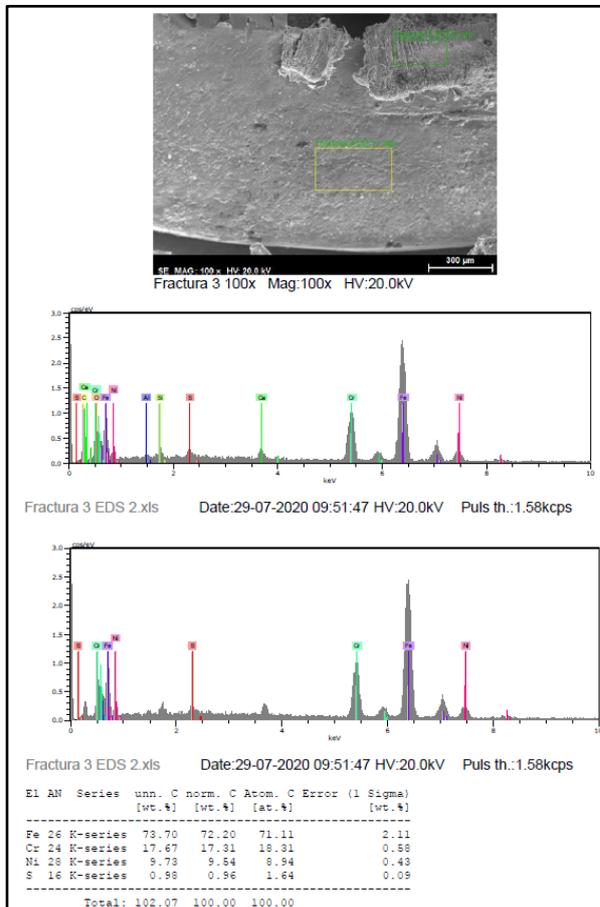
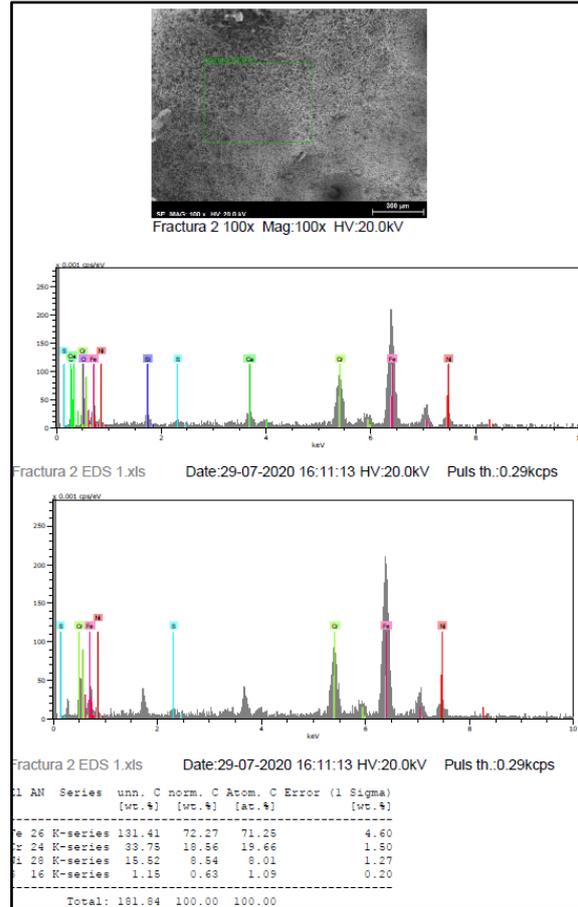
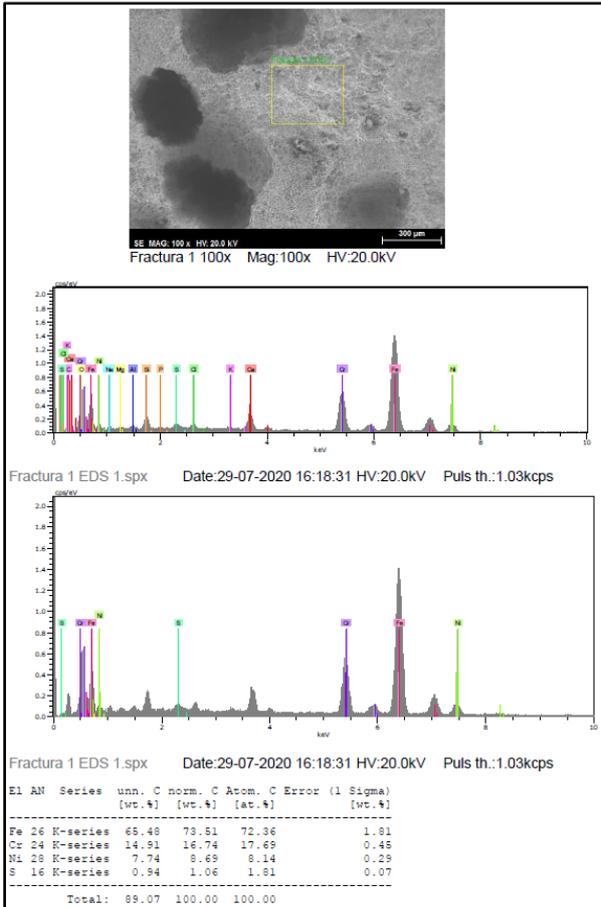
Elemento	wt%
Fe	69,8
Cr	16,8
Ni	12,6
S	0,8

Zona 3

Elemento	wt%
Fe	72,8
Cr	16,5
Ni	9,4
S	1,3

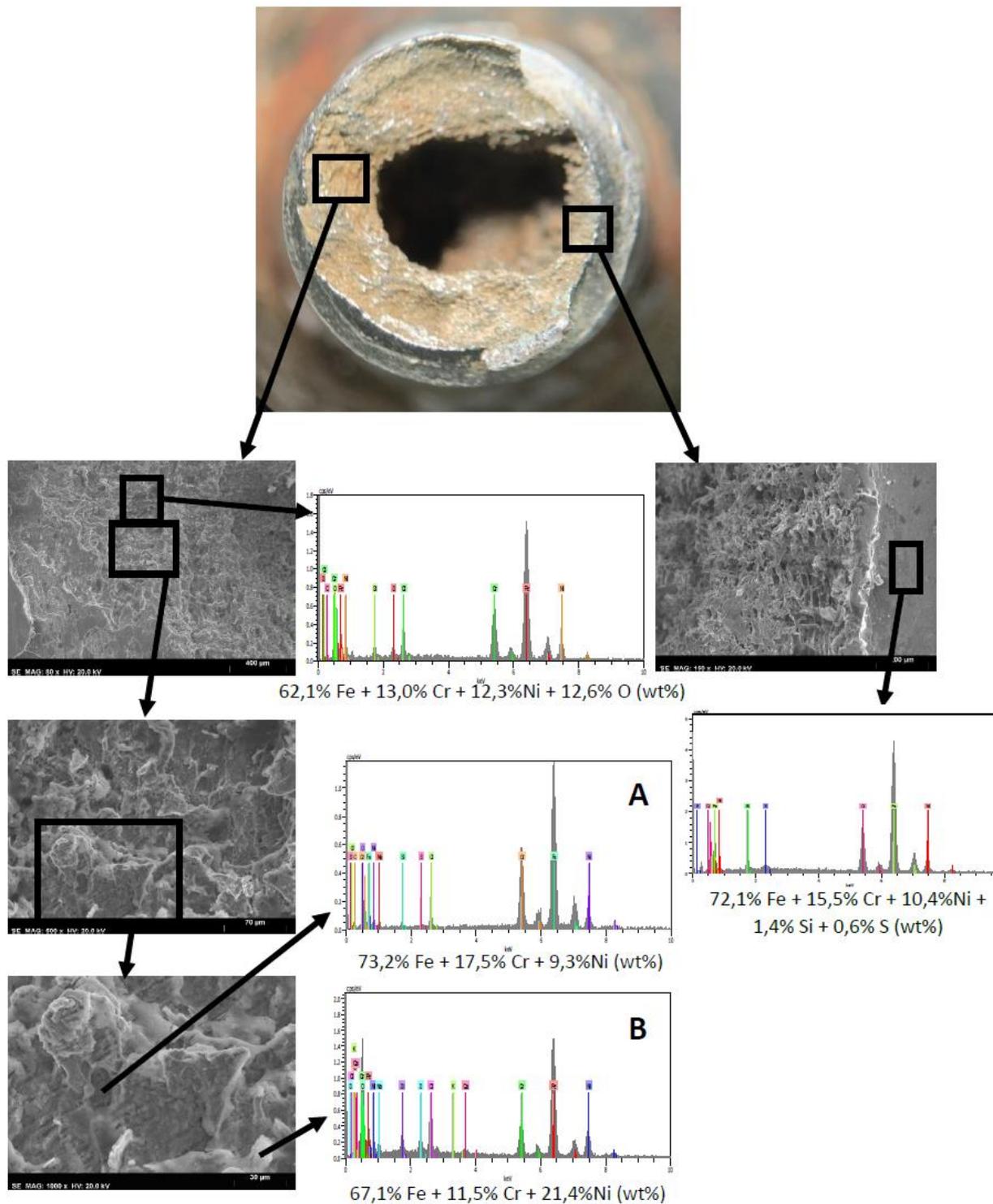
Elemento	wt%
Fe	72,2
Cr	17,3
Ni	9,5
S	1,0

LADO 1 - B



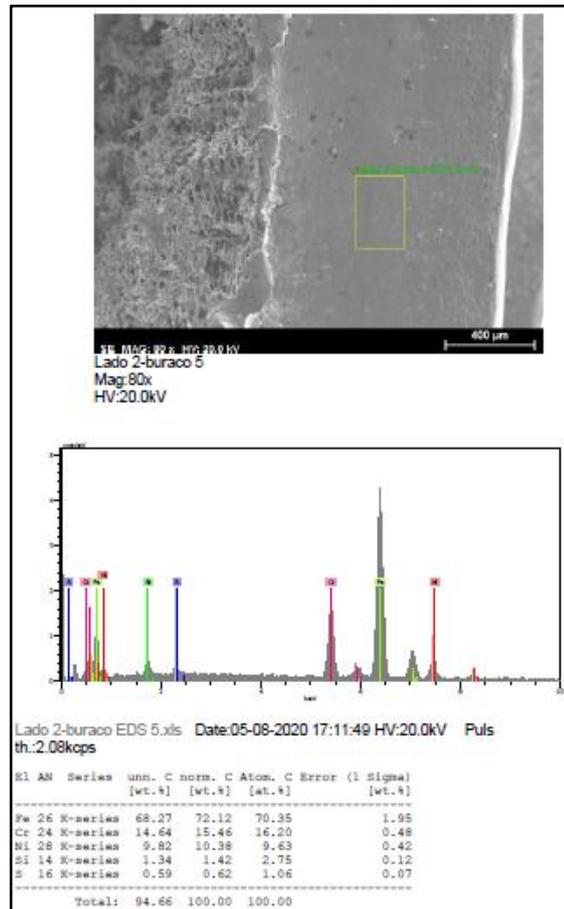
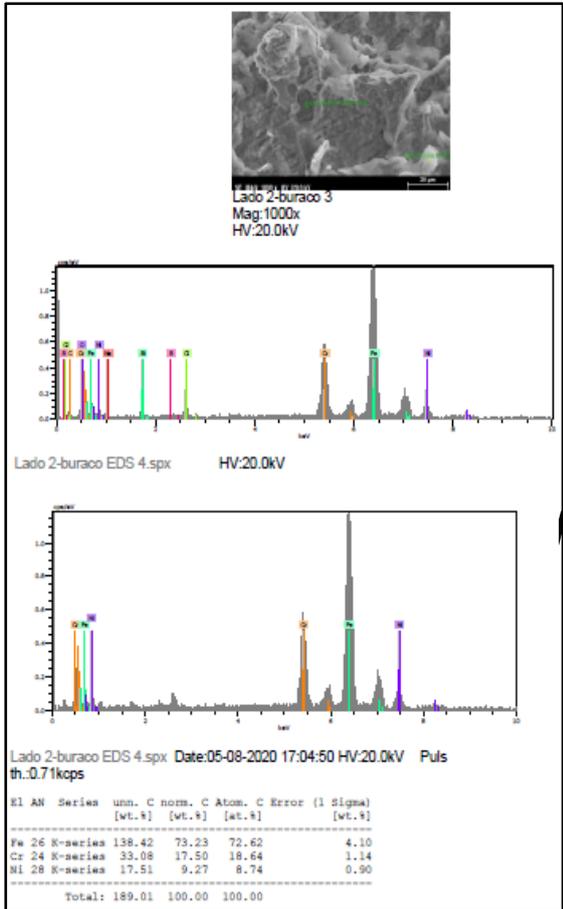
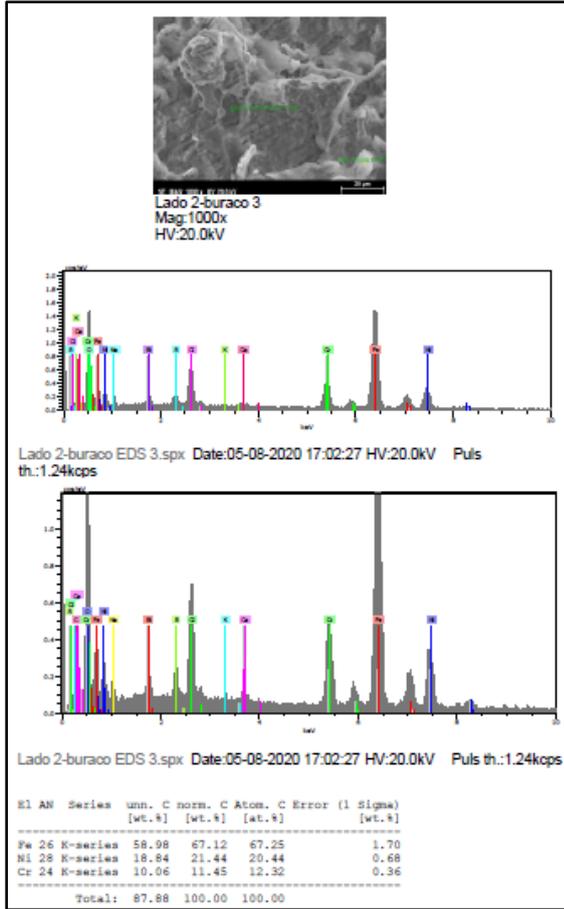
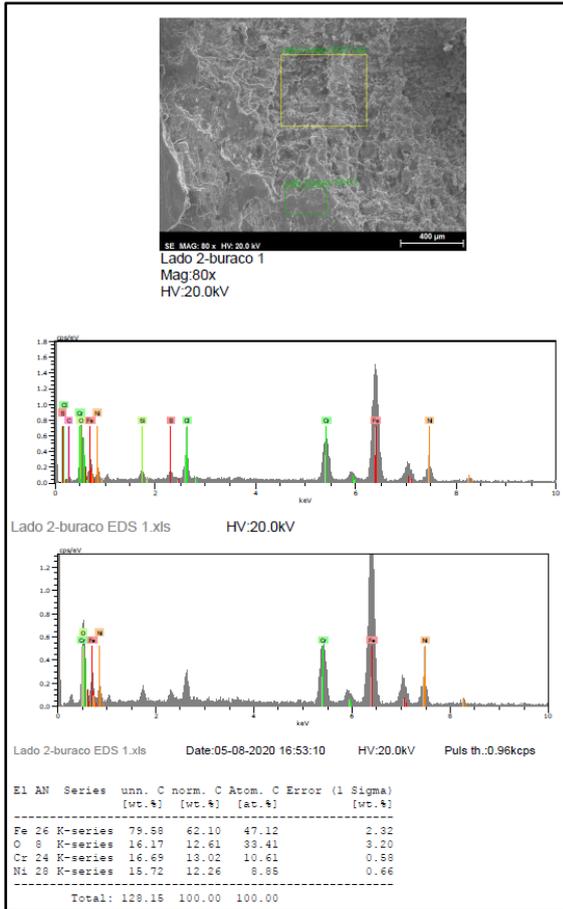
❖ Anexo 1.4 - SEM – EDS – Lado 2

LADO 2 - A

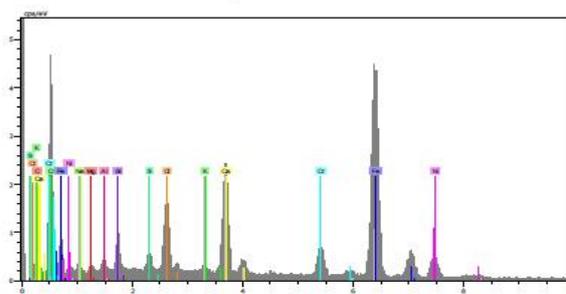
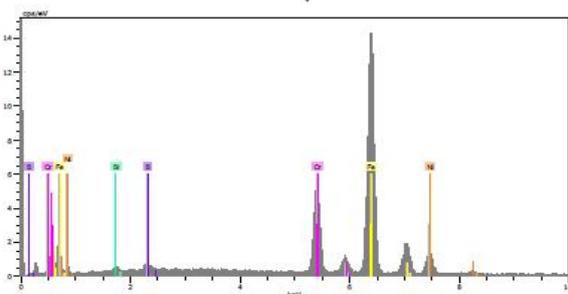
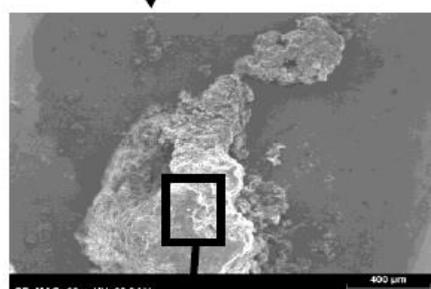
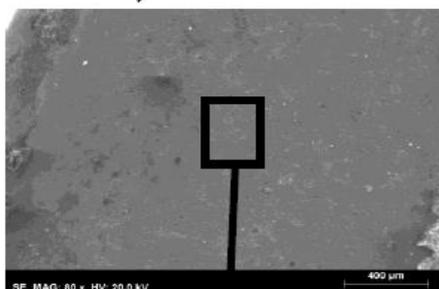
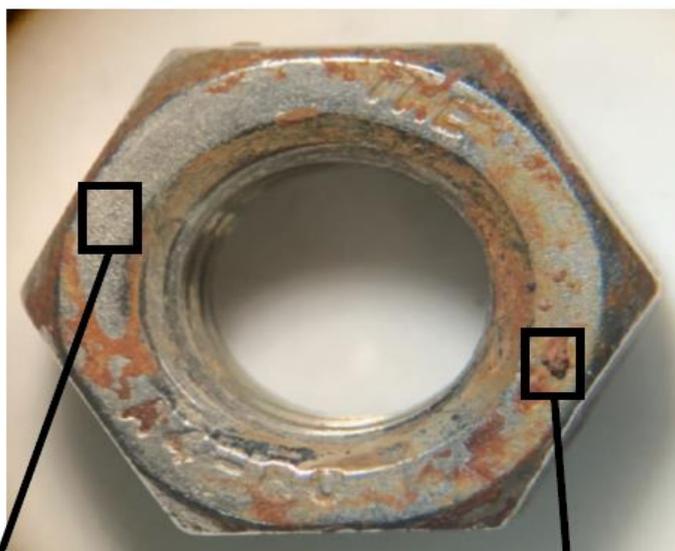


O espectro B (zona mais contaminada) revelou bastante mais Cl, O e Ni que o espectro A (zona mais limpa).

LADO 2 - B



PORCA



72,5% Fe + 16,1% Cr + 10,4%Ni +
0,3% Si + 0,7% S (wt%)

Rosca EDS 2.xls Date:05-08-2020 18:07:02 HV:20.0kV Puls th.:6.95kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	122.57	72.46	71.37	3.31
Cr	24	K-series	27.24	16.11	17.04	0.78
Ni	28	K-series	17.60	10.41	9.75	0.55
S	16	K-series	1.24	0.74	1.26	0.08
Si	14	K-series	0.50	0.30	0.58	0.06
Total:			169.16	100.00	100.00	