

Desenvolvimento de jaula de piscicultura em materiais compósitos para aplicação em alto mar

Pedro Filipe Alves Ferro

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professor António Torres Marques

Orientadora no INEGI: Eng.^a Carla Gomes



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2019

Ao meu avô Zeca, por tudo ...

Resumo

O presente trabalho de dissertação incide no desenvolvimento de uma jaula de aquacultura capaz de operar na costa marítima portuguesa para estabulação do peixe corvina. O principal objetivo deste trabalho passa pelo desenvolvimento de um conceito de jaula capaz de suportar a ação das ondas, correntes e marés deixando espaço para a criação de uma estrutura autónoma e autossuficiente.

A realização deste projeto iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica sobre o mercado de aquacultura, tipos de soluções de jaulas existentes e implementadas à escala mundial, assim como, a localização ideal para a atividade aquícola e principais materiais utilizados nestas aplicações, dando ênfase aos materiais compósitos e tirando partido das suas propriedades.

De seguida, foram identificados os principais problemas que causariam dificuldades na implementação de uma jaula em alto mar, constatando-se que ainda não foi implementado no mercado mundial um sistema capaz de imergir e emergir a jaula. Desta forma, traçou-se o objetivo de desenvolver uma jaula com um sistema capaz de a operar verticalmente em alto mar, entre a superfície e 20m de profundidade.

Estudos realizados sobre os esforços a que a estrutura estará sujeita pela ação da pressão ao mergulhar até 20m, pela ação das ondas, correntes e marés, demonstram que a solução pode ser viável. O estudo da flutuação da estrutura foi a base do projeto sendo o sistema desenvolvido em função deste estudo.

A implementação de um sistema pneumático capaz de operar a bexiga pneumática torna possível a variação de lastro. Esta variação resulta na entrada e saída de água do interior de uma câmara, por enchimento e esvaziamento da bexiga pneumática.

Os objetivos estabelecidos no início do projeto foram atingidos. Desenvolveu-se um conceito funcional de uma jaula capaz de efetuar um mergulho estático com a possibilidade do sistema se tornar autónomo e autossuficiente.

Development of a fish farming cage in composite materials for offshore application

Abstract

The present dissertation focuses on the development of an aquaculture cage capable of operating on the Portuguese coast to house corvina fish. The main objective of this work is the development of a cage concept capable of supporting the action of waves, currents and tides, leaving room for the creation of an autonomous and self - sufficient structure.

The project started with a bibliographical research on the aquaculture market, types of existing and implemented cages solutions worldwide, as well as the ideal location for aquaculture activity and main materials used in these applications, with emphasis on composites materials taking advantage of their properties.

Then, the main problems that would lead to difficulties in the implementation of a cage in the high seas were identified, noting that a system capable of immersing and emerging the cage has not yet been implemented in the world market. In this way, the goal was to develop a cage with a system capable of operating vertically on the high seas, between the surface and 20 meters deep.

Studies carried out regarding the effects of the structure to be subjected to pressure by diving up to 20 meters, by the action of waves, currents and tides, have demonstrated the viability of the solution. The study of the structure fluctuation was the basis of the project being the system developed as function of this study.

The implementation of a pneumatic system capable of operating the pneumatic bladder makes ballast variation possible. This variation results in the inflow and outflow of water from the interior of a chamber by filling and emptying the pneumatic bladder.

The objectives established at the beginning of the project were positively achieved. A functional concept was developed for a cage capable performing a static dive with the possibility of the system becoming autonomous and self-sufficient.

Agradecimentos

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes.” — Isaac Newton

A todos que, de forma direta ou indireta, tornaram possível a realização desta dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

Começo por agradecer ao meu orientador, Professor António Torres Marques pela elevada competência na orientação e pelos conhecimentos que me transmitiu ao longo deste trabalho. Nos momentos mais difíceis foram inúmeros os conselhos, mostrando-se sempre disponível a ajudar e a partilhar a sua experiência. Será, para mim, sempre lembrado como um Professor de excelência.

À coorientadora Engenheira Carla Gomes pelo tempo dedicado a esta dissertação, por ter disponibilizado os meios necessários à realização desta investigação e pela partilha de ideias, que em muito contribuíram para o resultado final. Além disso, agradeço-lhe pela oportunidade de integrar a equipa do projeto *Cage4PtSea* e participar em reuniões de partilha de saberes que enriqueceram esta dissertação.

A toda a equipa da Unidade de Materiais e Estruturas Compósitas, em especial aos Engenheiros Tiago e Pedro pela partilha de conhecimentos, ideias e conselhos.

Ao Engenheiro João Pedro Pinto, da Unidade de Integração de Sistemas e Processos Automatizados, pela partilha de conhecimentos e amizade de longos anos.

Aos meus amigos de sempre, Francisco, João Telmo, Diogo e Ana Maria pela lealdade, apoio, incentivo, motivação e contribuição no alcançar dos meus objetivos.

Aos meus companheiros de estudo Rui, Gabriel, Jorge, João, Miguel e ao meu primo José por todos os bons momentos e companheirismo ao longo destes anos.

À minha família, em especial ao meus pais e avós, pelo amor, alegria e atenção sem reservas... Obrigado por acreditarem, sempre, que este sonho seria possível de concretizar.

À minha Gi, um agradecimento especial, por ter estado sempre ao meu lado e me ter ajudado em todos os momentos!

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Projeto e objetivos.....	1
1.3	Método seguido no projeto.....	2
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	Enquadramento teórico	3
2.1	Aquacultura	3
2.1.1	Tipos de aquacultura	4
2.1.2	Panorâmica do mercado mundial	5
2.2	Portugal e a aquacultura	7
2.2.1	Condições naturais portuguesas	9
2.2.2	Produção aquícola.....	10
2.2.3	Perspetivas de evolução do setor aquícola	11
2.2.4	Legislação portuguesa.....	11
2.3	Aquacultura em mar aberto.....	12
2.4	Crítérios de seleção de locais para implementação de jaulas de aquacultura	13
2.4.1	Parâmetros ambientais para o cultivo de organismos	14
2.4.1.1	Oxigénio dissolvido	14
2.4.1.2	Poluição	15
2.4.1.3	Temperatura	15
2.4.1.4	Salinidade	16
2.4.1.5	pH	16
2.4.1.6	Transparência da água	17
2.4.1.7	Doenças.....	17
2.4.1.8	Correntes	17
2.4.1.9	<i>Fouling</i>	17
2.4.2	Parâmetros relevantes para a jaula	18
2.4.2.1	Batimetria.....	19
2.4.2.2	Caraterísticas das correntes	21
2.4.2.3	Ondas	24
2.4.2.4	Vento	28
2.4.2.5	Solo oceânico	31
2.4.2.6	<i>Fouling</i>	34
2.4.3	Parâmetros legais e logísticos	34
2.4.3.1	Logística	34
2.4.3.2	Minimização do impacto com outros utilizadores.....	35
2.4.3.3	Restrições espaciais	35
2.4.3.4	Área de navegação regulamentada.....	36
2.4.3.5	Áreas militares	36
2.5	Jaulas de aquacultura	36
2.5.1	Tipos de jaulas.....	37
2.5.1.1	<i>Gravity cages</i> (flutuantes ou submersível).....	38
2.5.1.2	<i>Gravity cages</i> flutuantes com o colarinho submerso.....	39
2.5.1.3	<i>Gravity cages</i> semissubmersíveis.....	40
2.5.1.4	<i>Gravity cages</i> totalmente submersíveis	41
2.5.1.5	<i>Anchor tension ages and enclosures</i>	43
2.5.1.6	Jaulas semirrígidas	44
2.5.1.7	Jaulas rígidas.....	46
2.5.1.8	Jaulas rígidas esféricas	48
2.5.1.9	Jaulas <i>tension-leg</i>	50
2.5.1.10	<i>Untethered cages</i>	51
2.5.1.11	<i>PDW submersible cage</i>	53
2.5.1.12	<i>SLW cage</i>	54
2.5.2	Conclusões sobre os tipos de jaulas existentes no mercado atualmente	55
2.6	Materiais utilizados em meio marinho	55
2.6.1	Polietileno de alta densidade.....	56
2.6.2	Fibras de vidro	57

2.6.3 Resinas de poliéster insaturado.....	58
3 Desafios associados a jaulas aquícolas	59
3.1 <i>Fouling</i> e incrustações	59
3.1.1 <i>Antifoulings</i>	61
3.2 Submersão das jaulas.....	63
3.2.1 Tipos de submersão	63
3.3 Sistemas de alimentação	67
3.4 Geração de energia	71
3.4.1 Energia das ondas	71
3.4.2 Energia eólica	74
3.4.3 Energia solar.....	77
3.5 Manutenção	78
4 Desenvolvimento de conceito	79
4.1 Requisitos	79
4.2 Desenvolvimento de conceitos.....	81
4.3 Impacto das variáveis do meio sobre a jaula	88
4.3.1 Esforços da pressão hidrostática na estrutura da jaula	88
4.3.2 Esforços na estrutura.....	89
4.4 Projeto de detalhe de sistemas de submersão	93
4.4.1 Conceitos de sistemas de submersão	95
4.4.2 Conceito de mastro autónomo e autossuficiente	101
4.5 Sistema de imersão e emersão.....	102
4.5.1 Pressão hidrostática no mastro central.....	104
4.5.2 Sistema de imersão e emersão	105
4.5.3 Bexiga pneumática	107
4.5.4 Botija de ar comprimido	111
4.5.5 Tubagens.....	112
4.5.6 Lastro aço inoxidável	113
4.5.7 Mecanismo de travagem.....	114
4.6 Flutuação	115
4.6.1 Impulsão e Lei de Arquimedes	115
4.6.2 Flutuação do mastro central	117
4.6.3 Flutuação do mastro central e da estrutura da jaula.....	122
5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	126
5.1 Conclusões	126
5.2 Perspetivas de trabalho futuro	127
Referências	128
ANEXO A: Manta de fibra de vidro com resina de poliéster isóftalica	133

Siglas

APPA	Área de Produção Piloto Aquícola
ARH	Administração dos Recursos Hídricos
DGPA	Direção Geral das Pescas e da Agricultura
EMEC	<i>European Marine Energy Centre</i>
ENP	Estaleiros Navais de Peniche
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FBG	<i>Fiber Bragg gratings</i>
IMO	Organização Marítima Internacional
INAG	Instituto Nacional da Água
INE	Instituto Nacional de Estatística
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
IPMA	Instituto Português do Mar e Atmosfera
IST	Instituto Superior Técnico
MADRP	Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas
MIC	<i>Minimum Inhibitory Concentration</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OPT	<i>Ocean Power Technology</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PIP	Pedido de Informação Prévia
POEM	Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo
PVP	Preço de Venda ao Público
ROV	<i>Remotely Operated Underwater Vehicle</i>
UMEC	Unidade de Materiais e Estruturas Compósitas
UNCLOS	<i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>
UUV	<i>Unmanned underwater vehicle</i>
ZEE	Zona Económica Exclusiva

Índice de Figuras

Figura 1 – Diagrama de <i>Gantt</i>	2
Figura 2 – Produção de produtos cárneos e pesqueiros (FAO 2012).	7
Figura 3 – Produção mundial em aquacultura (Halwart et al., 2007).	7
Figura 4 – Produção de aquacultura em Portugal (INE 2017).	8
Figura 5 – Capturas nominais de peixe em portos nacionais (INE 2017).	8
Figura 6 – Comércio Internacional dos produtos de pesca ou relacionados com esta atividade (INE 2017).	9
Figura 7 – Estabelecimentos de aquacultura em Portugal (INE 2017).	10
Figura 8 – Diagrama das principais interações em sistemas de aquacultura (Cardia and Lovatelli 2015).	13
Figura 9 – Efeitos do oxigénio dissolvido nos peixes (Boyd and Lichtkoppler 1979).	15
Figura 10 – Escala de pH e efeitos nos peixes (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).	16
Figura 11 – Barreira de <i>fouling</i> impedindo trocas com o exterior da jaula (“Fouling Removing Aquaculture - Pesquisa Google” 2012).	18
Figura 12 – Influência da profundidade no deslocamento das partículas solidas (Cardia and Lovatelli 2015).	20
Figura 13 – Distância da base da rede ao fundo marinho em função da altura das ondas (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).	20
Figura 14 – Redução de volume por deformação da rede (Fredheim 2014).	21
Figura 15 – Efeito das correntes na submersão das jaulas (Cardia and Lovatelli 2015).	22
Figura 16 – Efeito das correntes ortogonais no sistema de amarração (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).	23
Figura 17 – Reforço do sistema de amarração (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).	23
Figura 18 – Orientação de um sistema de amarração numa frota de jaulas (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).	25
Figura 19 – Propriedades rotacionais de uma partícula de água numa onda (James and Slaski 2006).	26
Figura 20 – Efeito da profundidade nas ondas e nas orbitais (“Wave Orbitals and the Effect of Depth on Wave Behaviour - Pesquisa Google” 2010).	26
Figura 21 – Representação das observações históricas do vento num dado local, através de uma rosa dos ventos (Cardia and Lovatelli 2015).	29
Figura 22 – Fundo do mar arenoso (“Sandy Seabed - Pesquisa Google” 2018).	32
Figura 23 – Ancoras de arado (“Plow Anchors Animated - Pesquisa Google” 2015).	32
Figura 24 – Posicionamento da âncora em camadas arenosas no leito do mar (“THE ACTION OF A STOCKLESS ANCHOR BEING SET - Pesquisa Google” 2018).	33
Figura 25 – Fundo do mar rochoso (“Rocky Seabed - Pesquisa Google” 2018).	33
Figura 26 – Construção de ancoras de gravidade em blocos de betão (Cardia and Lovatelli 2015).	34

Figura 27 – Jaula submersível PolarCirkel® projetada para locais sujeitos a condições meteorológicas desfavoráveis, poluição, proliferação de algas, amplas variações de temperatura, incrustações, congelamento e gelo flutuante (James and Slaski 2006).	38
Figura 28 – Conjunto de seis jaulas anexadas e ligadas a uma barça de alimentação e serviço, com um único ponto de ancoragem (James and Slaski 2006).	39
Figura 29 – <i>Farmocean</i> (James and Slaski 2006) e (Scott and Muir 2000).	40
Figura 30 – SADCO (James and Slaski 2006).	41
Figura 31 – Diagrama da <i>Ocean Spar net pen</i> (Scott and Muir 2000).	43
Figura 32 – Diagrama de segmento conceptual do <i>Maris Platform Fish Ranch</i> (James and Slaski 2006).	43
Figura 33 – <i>Ocean Spar Sea Station</i> (Scott and Muir 2000).	44
Figura 34 – Quinta de aquacultura <i>offshore</i> de <i>Campbeltown Developments Ltd. – Cruive</i> (James and Slaski 2006).	46
Figura 35 – Plataforma de piscicultura da <i>Marine System Iberica – Cultimar</i> (James and Slaski 2006).	46
Figura 36 – <i>Cripesa</i> da <i>Marine System Iberica</i> (Scott and Muir 2000).	46
Figura 37 – <i>OceanGlobe</i> (James and Slaski 2006).	48
Figura 38 – <i>RefaMed</i> (Scott and Muir 2000).	50
Figura 39 – Diagrama da vista lateral e vista detalhada do mastro central do sistema <i>Ocean Drifter</i> (James and Slaski 2006).	51
Figura 40 – Navio e plataforma <i>Izar Fene Semi-submersible tuna/Restocking</i> (James and Slaski 2006).	52
Figura 41 – Jaula PDW (J. Chen et al. 2008).	53
Figura 42 – <i>SLW submersible cage</i> (J. Chen et al. 2008).	54
Figura 43 – Esquematização das etapas das incrustações marinhas (Dennington 2007).	60
Figura 44 – Processo de submersão da jaula do tipo <i>Oceanics I</i> (Badinotti 2018).	63
Figura 45 – Sistema de amarração do <i>Oceanics I</i> (“Fish Farming Submersible Cages” 2015).	64
Figura 46 – Processo de submersão da jaula do tipo <i>Oceanics II</i> (Badinotti 2018).	65
Figura 47 – Câmara de compensação (Badinotti 2018).	65
Figura 48 – <i>Sea Station</i> (Gace 2016).	66
Figura 49 – <i>Aquapod</i> (Gace 2016).	66
Figura 50 – <i>Aquapod</i> com a capacidade de rolar (Gace 2016).	67
Figura 51 – Dispositivo usado para a administrar manualmente a ração numa jaula offshore (Carrasquinho 2009).	68
Figura 52 – Representação esquemática de um sistema de alimentação automático acionado por controlo remoto (Carrasquinho 2009).	69
Figura 53 – Plataforma de controlo de alimentação com silos incluídos e sistemas de bombagem (“Huge Feed Barge to Iceland - AKVA Group 2018” 2018).	70
Figura 54 – Solução para inclusão de sistemas de alimentação no mastro central (“Humanus Corporation” 2015).	70

Figura 55 – Sistema de alimentação incluído numa jaula de aquacultura (Cashion et al. 2017).	71
Figura 56 – Fluxo médio expresso em kW por metro de frente de onda (Silva et al. 2013)...	72
Figura 57 – Exemplos de dispositivos testados em alto mar para produção de energia a partir das ondas (Silva et al. 2013).....	74
Figura 58 – Batimetria da plataforma continental europeia e potencial eólico <i>offshore</i> na Europa (Silva et al. 2013).	75
Figura 59 – <i>Windfloat</i> (“Windfloat - Pesquisa Google” 2018).	76
Figura 60 – Principais sistemas de sustentação flutuantes de turbinas eólicas (“Floating Wind Turbines - Pesquisa Google” 2018).....	77
Figura 61 – Corvina-legítima (“Argyrosomus Regius Length - Pesquisa Google” 2012).....	80
Figura 62 – Local previsto para implementação da jaula (INEGI, IST, and ENP 2018).	80
Figura 63 – Diferentes tipos de modelos.	81
Figura 64 – Vista de isométrica do modelo 1.....	82
Figura 65 – Vista de isométrica do modelo 2.....	83
Figura 66 – Vista de isométrica do modelo 3.....	84
Figura 67 – Vista de isométrica do modelo 4.....	85
Figura 68 – Modelo selecionado.	86
Figura 69 – Modelo selecionado com legenda de componentes.	87
Figura 70 – Pressão hidrostática na jaula à superfície.....	88
Figura 71 – Pressão hidrostática na jaula a 20 m de profundidade.	88
Figura 72 – Representação esquemática dos painéis de rede.	90
Figura 73 – Esquema dos painéis de redes.....	91
Figura 74 – Definição dos pontos de carregamento.	91
Figura 75 – Definição das interações.	92
Figura 76 – Carregamento das forças.....	92
Figura 77 – Tensões Equivalentes de von Mises.....	93
Figura 78 – Aplicações da lei de Arquimedes (“Water Lifting Bag Diagram - Pesquisa Google” 2019).....	93
Figura 79 – Sistema de lastro à base de ar comprimido num submarino (Y. Chen et al. 2017).	94
Figura 80 – Tanque de lastro em submarinos e navios (Balaji, Yaakob, and Koh 2014).	94
Figura 81 – Esquema de lastro flexível (Tusar et al. 2015).....	96
Figura 82 – Exemplo de equipamento danificado pelo efeito da cavitação (“Cavitação Em Bombas - Pesquisa Google” 2015).....	96
Figura 83 – Tanque com bexiga de água incorporada (“Pressure Bladder Water Tank - Pesquisa Google” 2019).	96
Figura 84 – Esquema de tanque de lastro ventilado (Tusar et al. 2015).....	97
Figura 85 – Esquema de tanque de lastro pressurizado (Tusar et al. 2015).	97

Figura 86 – Esquema de tanque de lastro de pistão com atuação de fuso roscado (Tusar et al. 2015).....	98
Figura 87 – Sistema hidráulico de comando para a atuação de um cilindro de duplo efeito por atuação de uma electroválvula direcional 4/3.....	98
Figura 88 – Esquema de tanque de lastro de pistão com atuação de cilindro hidráulico.	98
Figura 89 – Esquema de tanque de lastro de ar comprimido (Tusar et al. 2015).....	99
Figura 90 – Esquema de tanque de lastro com inclusão de <i>lifting bags</i> no exterior.	99
Figura 91 – Esquema de tanque de lastro de água com bexiga de ar interior.	101
Figura 92 – Esquema do conceito a desenvolver.	102
Figura 93 – Diagrama do tubo do mastro central com as respetivas dimensões.	103
Figura 94 – Pressão hidrostática relativa do mastro à superfície.	104
Figura 95 – Pressão hidrostática relativa do mastro à profundidade de 20m.	104
Figura 96 – Circuito pneumático para operação do sistema de submersão e emersão.....	105
Figura 97 – Sistema de controlo para atuação do sistema de submersão e emersão.....	106
Figura 98 – Estrutura construtiva em quatro camadas de PVC e uma base de poliéster têxtil de alta resistência (“Pvc Inflatable Boat Fabric - Pesquisa Google” 2017).	108
Figura 99 – Estrutura construtiva em quatro camadas de Neopreno Hypalon® (“Neoprene Hypalon - Pesquisa Google” 2011).	108
Figura 100 – Processo <i>Thermosealing</i> ® (“Material e Tecnologia - Vanguard Marine” 2015).	109
Figura 101 – Bexiga pneumática.	110
Figura 102 – Garrafa de ar comprimido (“UK BOC Online Shop: Compressed Air (Industrial) Cylinder” 2019).	112
Figura 103 – Fixação do lastro no exterior da estrutura.	113
Figura 104 – Fixação do lastro no interior da estrutura.....	114
Figura 105 – Boias de sustentação para travagem da estrutura no mergulho.....	115
Figura 106 – Corpo cilíndrico de secção reta constante totalmente imerso num líquido (Ferreira 2017).....	115
Figura 107 – Diagrama de corpo livre do mastro na situação inicial à superfície.	117
Figura 108 – Esquema de alturas.....	121
Figura 109 – Diagrama de corpo livre da estrutura da jaula e do mastro central.....	123
Figura 110 – Volume acima da linha de água na situação inicial.	124

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Regimes de aquacultura (Beveridge 2004).....	4
Tabela 2 – Classificação da localização (Cardia et al., 2017)	5
Tabela 3 – Produção e utilização da pesca e aquacultura no mundo (FAO 2012).	6
Tabela 4 – Parâmetros e fatores importantes na escolha de um local para aquacultura.	14
Tabela 5 – Escala de Beaufort (Martinez-cinco 2008)	30
Tabela 6 – Símbolos indicativos do leito marinho em cartas náuticas (Cardia and Lovatelli 2015).	31
Tabela 7 – Resumo dos tipos de jaulas, características e modelos existentes (Scott and Muir 2000).....	37
Tabela 8 – Projetos de dispositivos testados em alto mar (Silva et al. 2013).....	73
Tabela 9 – Tipos de fundação utilizados em estruturas eólicas <i>offshore</i> (Portella 2007)	76
Tabela 10 – Requisitos da jaula	81
Tabela 11 – Vantagens e desvantagens do modelo 1	82
Tabela 12 – Vantagens e desvantagens do modelo 2	83
Tabela 13 – Vantagens e desvantagens do modelo 3	84
Tabela 14 – Vantagens e desvantagens do modelo 4	85
Tabela 15 – Comparação entre todos os modelos propostos.....	86
Tabela 16 – Características dos materiais da estrutura.....	87
Tabela 17 – Materiais e legendas dos componentes do modelo.....	87
Tabela 18 – Estudo da tensão de cedência nos dois cenários possíveis	89
Tabela 19 – Propriedades da rede selecionada	90
Tabela 20 – Esforços de arrasto e das ondas (Inegi 2019)	90
Tabela 21 – Análise dos diferentes sistemas de submersão	100
Tabela 22 – Dados do mastro central	103
Tabela 23 – Cálculo de áreas e volumes do mastro central.....	103
Tabela 24 – Componentes do circuito pneumático	106
Tabela 25 – Caracterização qualitativa dos diferentes materiais utilizados na construção de barcos semirrígidos (“Infanta Inflatables International Technologies Materials and Application” 2019).	109
Tabela 26 – Vantagens e desvantagens do PVC	109
Tabela 27 – Vantagens e desvantagens do Hypalon®	109
Tabela 28 – Dados da bexiga pneumática	110
Tabela 29 – Especificações da botija de ar comprimido	111
Tabela 30 – Mangueira Parker® SAE 100R2 Tipo AT 301 – 8.....	112
Tabela 31 – Mangueira Parker® SAE J1527 Tipo A - Classe 1 221FR-6	112
Tabela 32 – Massa dos componentes do sistema de submersão e emersão	118
Tabela 33 – Esforços até aqui calculados	119

Tabela 34 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação inicial no que respeita o mastro.....	121
Tabela 35 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação de mergulho à linha de água no que respeita o mastro.....	122
Tabela 36 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação inicial no que respeita o conjunto jaula e mastro	124
Tabela 37 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação de mergulho à linha de água no que respeita o conjunto jaula e mastro	125

1 Introdução

1.1 Contextualização

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Dissertação, parte integrante do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, durante o segundo semestre do ano letivo 2018/2019. Esta dissertação enquadra-se num projeto denominado *Cage4PTSea*, no qual o Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, comumente designado INEGI, se integra, juntamente com outras instituições e empresas como o Instituto Superior Técnico, Instituto Português do Mar e da Atmosfera e os Estaleiros Navais de Peniche.

1.2 Projeto e objetivos

O projeto, *Cage4PTSea*, onde este trabalho se insere, vem no seguimento do Plano Estratégico para a aquacultura portuguesa que, por sua vez, toma como referência duas orientações estratégicas:

- A Estratégia Nacional para o MAR 2013-2020 (ENM 2013-2020) aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 12/2014, de 12 de fevereiro;
- A Estratégia de Desenvolvimento Sustentável da Aquacultura Europeia, objeto de comunicação da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu e ao Conselho Europeu, a qual visou sensibilizar os decisores e os organismos públicos para a importância da aquacultura na União Europeia (DGPA 2014).

O projeto *Cage4PTSea* tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologia inovadora, suportada por materiais avançados, revestimentos de última geração e testes em condições próximas das condições reais de equipamentos produtivos – jaulas oceânicas - para estabulação de peixe em fase de engorda em regime intensivo em mar aberto, para as condições da costa portuguesa, com vista a adquirir e divulgar a tecnologia testada.

A costa portuguesa, em especial a norte do país, é banhada por águas revoltas e que se traduzem numa elevada complexidade quando falamos na colocação de qualquer tipo de estrutura neste meio. Assim, a melhor solução passa pela capacidade de imersão da mesma, por forma a garantir a sua integridade física, bem como a integridade física dos peixes. A acrescentar às fortes correntes, alta ondulação e ventos por vezes de grande intensidade, em particular entre o outono e inverno, alia-se a difícil manutenção deste tipo de jaulas e a criação de camadas biológicas com incrustações, denominadas de *fouling*.

O objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de um conceito de jaula, partindo de soluções já existentes no mercado e das possibilidades oferecidas pelos materiais compósitos.

O conceito a desenvolver procurará dar respostas aos obstáculos que o oceano coloca no caminho da evolução, tais como, a força das ondas, correntes, marés e vento.

1.3 Método seguido no projeto

O planeamento e as fases de maior importância na realização deste projeto são representados no diagrama de *Gantt*.

A – Pesquisa bibliográfica e estudos preliminares sobre aquacultura.

B – Estudo de mercado de soluções existentes de equipamentos e jaulas aquícolas.

C – Identificação e estudo de necessidades para um conceito de jaula autossuficiente.

D – Desenvolvimento de um conceito de jaula capaz de responder aos requisitos do projeto.

E – Estudo de forças atuantes na jaula e no mastro central.

F – Desenho do circuito.

G – Escrita da dissertação.

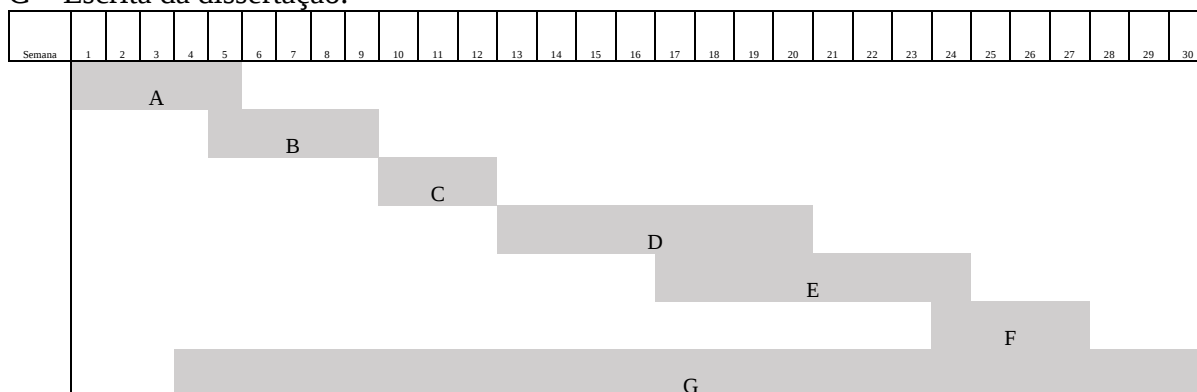


Figura 1 – Diagrama de *Gantt*.

1.4 Estrutura da dissertação

Relativamente à organização, a presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos distintos que, por sua vez, estão divididos em vários subcapítulos.

Neste presente capítulo introdutório é apresentado o projeto, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo baseia-se nos fundamentos teóricos e conceitos abordados na presente dissertação. Com toda a informação explanada neste capítulo foi possível explorar e estruturar o problema, permitindo um paralelismo entre os conhecimentos adquiridos durante o percurso académico e o trabalho a realizar.

Seguidamente, no terceiro capítulo são explorados os problemas derivados de uma jaula autónoma em zonas desprotegidas de mar aberto.

As soluções propostas e implementadas no projeto são descritas no quarto capítulo.

Por fim, no quinto capítulo, são expostas as conclusões, bem como perspetivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 Enquadramento teórico

Ao longo deste capítulo é feito o enquadramento teórico, abordando todos os conceitos ligados à aquacultura, bem como metodologias e fenómenos relevantes na realização desta dissertação.

2.1 Aquacultura

A designação de aquacultura foi dada em 1990 pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) como "o cultivo de organismos aquáticos incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas" (Barg 1992). Esta atividade é, contudo, bastante antiga, tendo-se iniciado, provavelmente, em simultâneo com a agricultura e a pecuária. As suas origens podem ser rastreadas há cerca de três milénios atrás, tendo surgido na região Asiática (Beveridge and Little 2002).

A comparação da aquacultura com a agricultura é inevitável dadas as suas similaridades. Ambas são atividades de cultivo e necessárias para responder à procura de uma população crescente. No meio terrestre a caça foi, em parte, substituída pela domesticação e criação de animais. Por outro lado, no meio aquático, prevaleceu o princípio de caçadores-recoletores, melhorando a procura e captura das presas pelo incremento de tecnologias de pesca (Demir et al. 2014).

Desde o fim da Segunda Guerra Mundial, a aquacultura tem sofrido um crescimento provocado pela globalização e pela procura mundial de produtos aquáticos, que aliados à evolução tecnológica e intelectual tornaram possível o cultivo de organismos em meio aquático (Cardia and Lovatelli 2015). A Noruega foi pioneira na utilização de jaulas para criação de salmão, na década de setenta para fins comerciais (Halwart et al., 2007). Atualmente, a aquacultura desempenha um papel fundamental na oferta mundial de peixe (Demir et al. 2014).

A sobre-exploração dos recursos pesqueiros tem contribuído para que a aquacultura se converta numa atividade em expansão no setor alimentar.

2.1.1 Tipos de aquacultura

A aquacultura marinha moderna é hoje praticada de formas muito diversificadas e complementares sendo, em geral de acordo com o sistema produtivo, classificada como extensiva, semi-intensiva e intensiva, tal como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Regimes de aquacultura (Beveridge 2004)

Extensiva	O foco principal deste regime centra-se na limitação das movimentações, no caso dos organismos com locomoção ativa, ou numa preparação de local para receber organismos sedentários. Neste regime não há aporte de rações, controlo de predadores e doenças, o que resulta no regime menos dispendioso e trabalhoso, mas o menos rentável. Normalmente sediado junto ao mar, o que possibilita a renovação das águas e alimentos com as marés, é o menos manipulado e, como tal, o que produz organismos mais parecidos com os seus semelhantes selvagens.
Semi-intensiva	No regime semi-intensivo existe um aumento do controlo de fatores de produção. As densidades são maiores, permitindo obter um maior número de peixes (nos casos das pisciculturas) num espaço mais confinado. Há fornecimento de ração para além do alimento natural presente na água, controlam-se os predadores e as doenças que causam maior prejuízo. O rendimento é maior, mas a qualidade é substancialmente inferior à produção extensiva.
Intensiva	No regime intensivo, o controlo do meio é mais apertado, o que leva a um máximo de produção, com densidades elevadas em espaços mais exíguos, mas com alguma perda de qualidade. A alimentação é praticamente toda fornecida por rações e as doenças são prevenidas, vigiadas e combatidas. Para se obter um rendimento máximo é necessário um rigoroso controlo nos diferentes parâmetros. Esta forma de produção aquícola é muito dispendiosa, tanto em material e equipamentos, como em mão-de-obra. Aqui, os juvenis criados em maternidades requerem níveis de controlo elevados e mais tarde serão enviados para unidades de engorda. O ciclo reprodutivo dos peixes é artificialmente manipulado, de forma a obter posturas de ovos constantes e planeados ao longo do ano.

A aquacultura pode ser diferenciada pelo facto de ser em terra, em tanques de terra ou outros reservatórios, ou no mar, em áreas mais ou menos protegidas, na zona entre marés (*inshore*) ou em mar aberto (*offshore*), sendo essa descrição apresentada na Tabela 2 (FAO 2008).

Tabela 2 – Classificação da localização (Cardia et al., 2017)

	<i>Coastal</i>	<i>Off the Coast</i>	<i>Off shore</i>
<i>Localização hidrográfica</i>	• Até 500m da costa. • Até 10m de profundidade em maré baixa. • Vista da linha costeira. • Geralmente protegido.	• 500m a 3km da costa. • Entre 10 e 50 metros de profundidade em maré baixa. • Geralmente à vista da linha costeira. • Por vezes protegido.	• A mais de 2km, geralmente dentro da plataforma continental em oceano aberto. • Mais de 50m de profundidade.
<i>Caraterísticas ambientais</i>	• Ondas com menos de 1m de altura. • Pequenos períodos de vento. • Correntes costeiras fortes.	• Ondas com 3 a 4 metros. • Correntes costeiras localizáveis.	• Ondas com 5m ou mais. • Períodos de vento variáveis. • Geralmente poucas correntes localizadas.
<i>Acesso</i>	• 100% de acesso. • Desembarque sempre possível.	• 90% de acesso. • Possível desembarque pelo menos 1 vez por dia.	• Usualmente 80% de acesso. • Desembarque possível em períodos de 3 a 10 dias.
<i>Operacionalidade</i>	• Regular. • Alimentação manual. • Monitorização.	• Algumas operações automatizadas. • Alimentação semi-automática.	• Operações remotas. • Alimentação monitorizada.

As expectativas na aquacultura *offshore* para as próximas décadas são elevadas, mas para que sejam atingíveis é necessário o desenvolvimento e construção de conhecimentos em vários campos para que as oportunidades disponíveis sejam realizadas.

2.1.2 Panorâmica do mercado mundial

O crescimento da produção de peixe e a melhoria dos canais de distribuição originaram um aumento considerável no consumo mundial de produtos da pesca, tal como é apresentado na Tabela 3, nas últimas cinco décadas, com uma taxa média de crescimento de 3.2 % ao ano, no período de 1961 a 2009, superando o índice de crescimento da população mundial de 1.7 % ao ano. O consumo mundial de peixe per capita passou de 9.9 kg em 1960, para 18.8 kg em 2011. Um estudo do *International Food Policy Research Institute* e *WorldFish Center* (2003), aponta que o consumo de peixe nos países em desenvolvimento irá aumentar 57%, de 62,7 milhões de toneladas em 1997 para 98,6 milhões, em 2020. Em comparação, o consumo de peixe nos países desenvolvidos aumentará apenas cerca de 4%, de 28,1 milhões de toneladas em 1997 para 29,2 milhões, em 2020 (Delgado et al., 2003).

Tabela 3 – Produção e utilização da pesca e aquacultura no mundo (FAO 2012)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	(Milhões de toneladas)					
Produção						
<i>Pesca de captura</i>						
Continental	9,8	10,0	10,2	10,4	11,2	11,5
Marítima	80,2	80,4	79,5	79,2	77,4	78,9
Pesca de captura total	90,0	90,3	89,7	89,6	88,6	90,4
<i>Aquacultura</i>						
Continental	31,3	33,4	36,0	38,1	41,7	44,3
Marítima	16,0	16,6	16,9	17,6	18,1	19,3
Aquacultura total	47,3	49,9	52,9	55,7	59,9	63,6
<i>Produção pesqueira mundial total</i>	137,3	140,2	142,6	145,3	148,5	154,0
Utilização						
<i>Consumo humano</i>	114,3	117,3	119,7	123,6	128,3	130,8
<i>Usos não alimentares</i>	23,0	23,0	22,9	21,8	20,2	23,2
<i>População (Biliões)</i>	6,6	6,7	6,7	6,8	6,9	7,0
<i>Oferta de peixe comestível per capita</i>	17,4	17,6	17,8	18,1	18,6	18,8

A OCDE e FAO preveem que a produção mundial do setor pesqueiro e aquícola, impulsionada pela maior procura de peixe, alcançará em 2021 um valor de aproximadamente 172 milhões de toneladas, o que supõe um incremento de 15 % em relação à média de 2009-2011. Este aumento de capacidade produtiva dever-se-á, na maior parte, à aquacultura, que se espera que chegue aos 79 milhões de toneladas, correspondendo a um aumento de aproximadamente 33 % face ao período 2012-2021, em comparação com 3 % da pesca extrativa (FAO 2012).

Contudo, prevê-se uma desaceleração no crescimento da aquacultura, de uma taxa média anual de 5.8 % no último decénio para 2.4 % durante o período objeto de exame. Esta diminuição dever-se-á principalmente à escassez de água, à limitada disponibilidade de lugares adequados para a produção e ao aumento dos custos de farinha e óleo de peixe e consequentemente das rações (FAO 2012).

Apesar da taxa de crescimento vir a ser previsivelmente mais lenta, pelas razões apontadas, a aquacultura continuará a ser um dos setores de produção de alimentos de origem animal de crescimento mais rápido como se pode observar na Figura 2. Graças ao seu contributo, a produção total de peixe superará a de carne de vaca, porco e aves (FAO 2012).

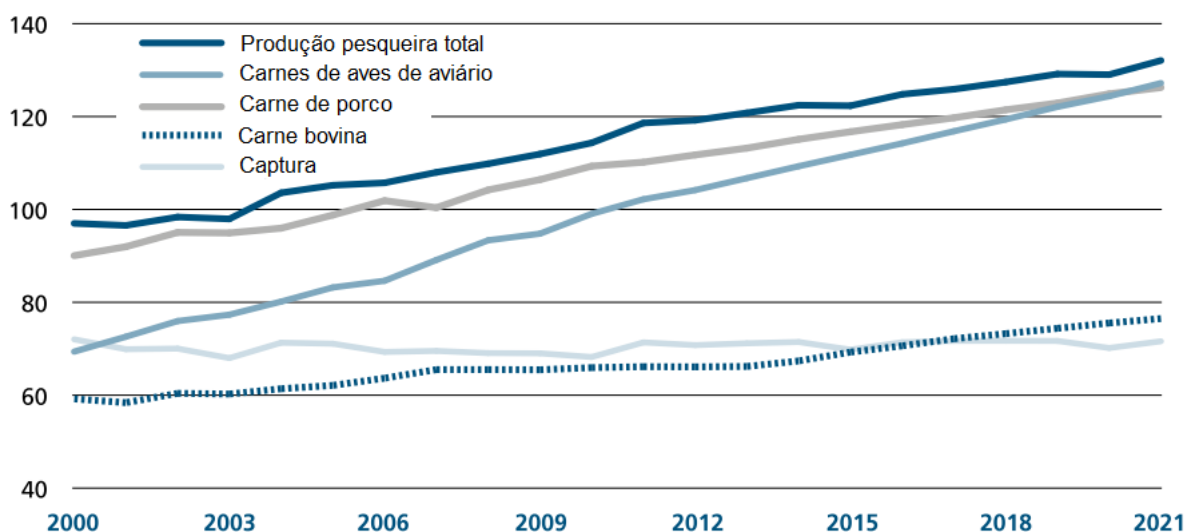
Milhões de toneladas

Figura 2 – Produção de produtos cárneos e pesqueiros (FAO 2012).

Embora não exista uma informação estatística oficial sobre a produção global total de espécies aquáticas cultivadas em jaulas de aquacultura, ou sobre o crescimento global do setor, existem algumas informações relativas ao número de jaulas e estatísticas de produção apresentadas na Figura 3 (Halwart et al., 2007).

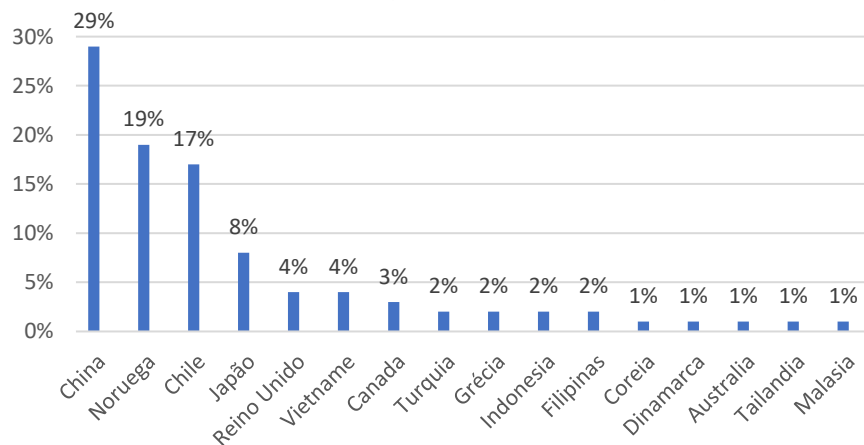
Produção em aquacultura a nível global

Figura 3 – Produção mundial em aquacultura (Halwart et al., 2007).

2.2 Portugal e a aquacultura

A aquacultura, apesar de constituir um importante complemento das formas tradicionais de abastecimento de peixe em Portugal, não se tem revelado, até à data, uma alternativa ao peixe proveniente da pesca (DGPA 2014).

A produção na aquacultura em 2016, informação mais recente disponível, foi de 11259 toneladas e gerou uma receita de 75,2 milhões de euros. Estes resultados traduzem um aumento em quantidade de 17,8%, e um acréscimo em valor de 38,9% relativamente a 2015 (Figura 4) (INE 2017).

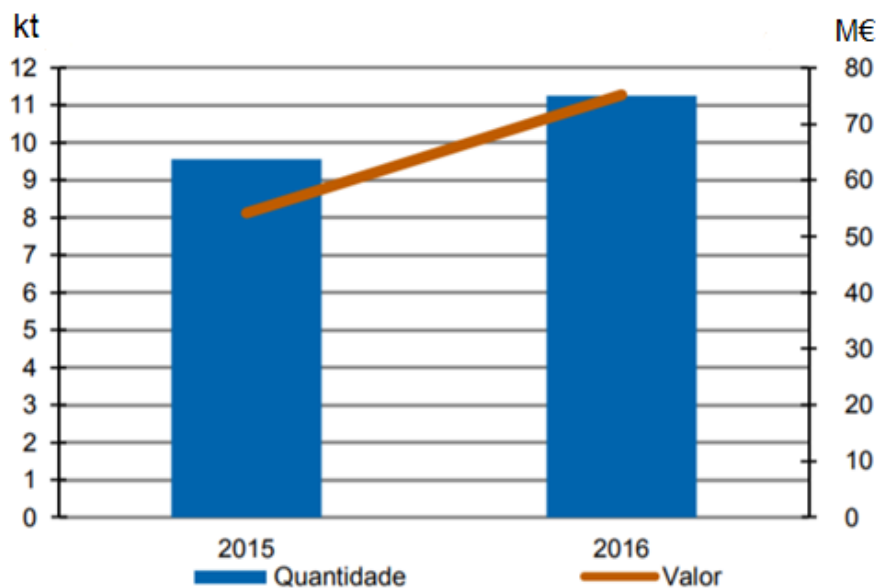


Figura 4 – Produção de aquacultura em Portugal (INE 2017).

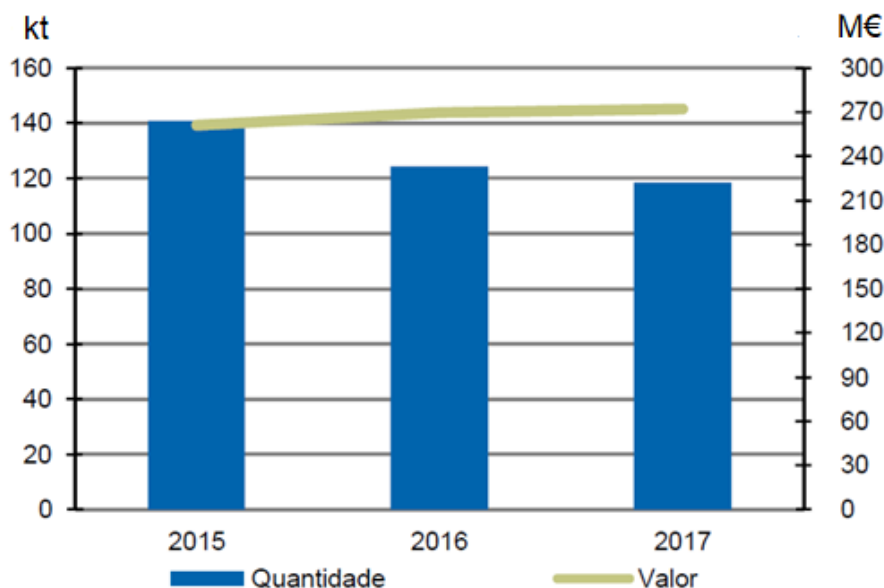


Figura 5 – Capturas nominais de peixe em portos nacionais (INE 2017).

A redução de capturas registada a nível nacional ficou a dever-se à menor captura de peixes marinhos que registou um decréscimo de 3,9% em relação a 2016 (Figura 5) (INE 2017).

Numa publicação do jornal *Expresso*, afirma-se que os níveis de consumo *per capita* suportados pela produção nacional de peixe, 23 kg/ano, não permitem satisfazer os elevados níveis de consumo nacionais, 56 kg/ano (Delimbeuf 2017). O défice produtivo (Figura 6) é, assim, compensado pela importação de peixe de outros países resultando num défice económico significativo.

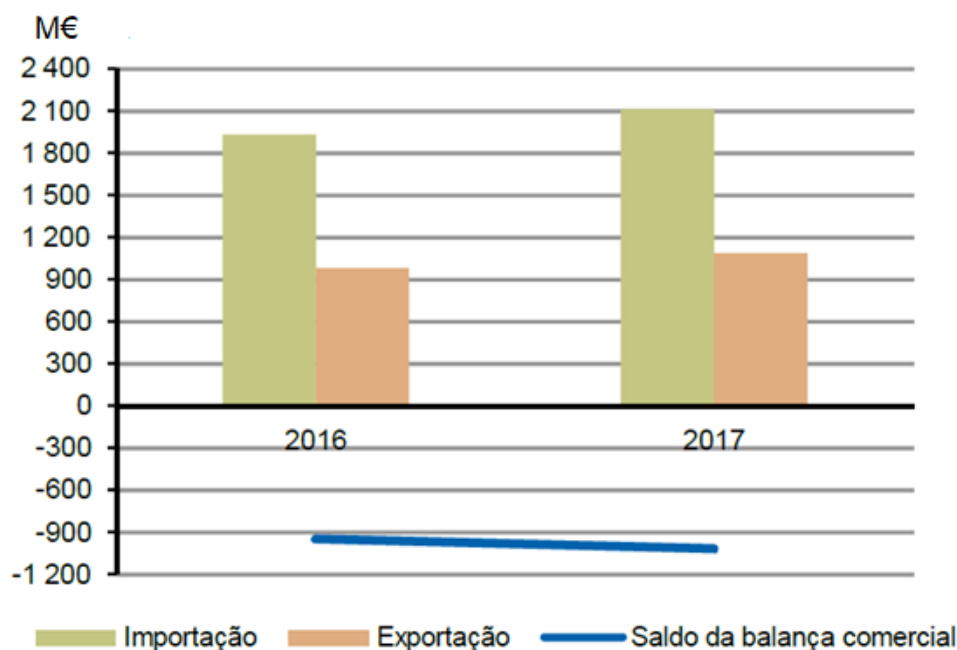


Figura 6 – Comércio Internacional dos produtos de pesca ou relacionados com esta atividade (INE 2017).

Verifica-se uma elevada procura de produtos da pesca no espaço nacional, o que assegura um mercado potencialmente significativo para os produtos da aquacultura (DGPA 2014).

2.2.1 Condições naturais portuguesas

A localização geográfica da costa continental portuguesa, na transição de duas importantes sub-províncias oceanográficas do Norte Atlântico - a subtropical e a subtropical/subpolar - permite a existência de uma grande diversidade de habitats sendo, por isso, considerada uma das zonas mais ricas em termos biológicos, nomeadamente pela qualidade das suas águas e pela diversidade das espécies nelas existentes.

A costa portuguesa tem aproximadamente 1860 Km, divididos entre 943 Km de Portugal Continental, 667 Km do arquipélago dos Açores e 250 Km do arquipélago da Madeira. Esta área representa 2.7% da zona costeira total e 11.72% da ZEE da União Europeia. A Zona Económica Exclusiva portuguesa compreende as subáreas do Continente, Açores e da Madeira e corresponde à terceira maior zona económica exclusiva da União Europeia e à décima primeira do mundo (DGPA 2007).

A zona costeira tem uma grande variedade geomorfológica, com costas baixas arenosas mas também costas altas e rochosas. Verifica-se a existência de algumas desembocaduras de cursos de água, nomeadamente estuários e rias, suscetíveis de reunir condições favoráveis para a prática aquícola (MADRP and DGPA 2007).

Contudo, as condições geomorfológicas da costa continental portuguesa e das ilhas atlânticas e, sobretudo, as condições de mar nos meses de inverno não são das mais vantajosas para a instalação de unidades de aquacultura oceânica, obrigando ao recurso de soluções tecnológicas adaptadas às condições do meio. Trata-se de uma costa muito exposta, sobretudo a costa ocidental do Continente e o norte das ilhas atlânticas, com poucos espaços naturais que possam proteger as estruturas aquícolas em mar aberto, pelo que o seu aproveitamento para a instalação de estabelecimentos aquícolas exige a utilização de tecnologias inovadores (DGPA 2014).

Apesar deste constrangimento, a costa algarvia, a costa sul da Madeira, bem como, as lagunas, rias e alguns estuários, para além de algumas baías mais abrigadas, reúnem condições satisfatórias para a prática da aquacultura em mar aberto, encontrando-se instalados e em funcionamento vários estabelecimentos nomeadamente, cabos em suspensão para o cultivo de bivalves no Algarve e jaulas flutuantes para peixes na Madeira. Foram ainda identificadas, no âmbito dos trabalhos de preparação do Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo (POEM), outras áreas potenciais para fins aquícolas em mar aberto, sendo necessário para tal inovar e melhorar a tecnologia existente (Português 2011).

Nas zonas costeiras, lagunas, rias e alguns estuários, para além de algumas baías mais protegidas, têm vindo a ser instaladas estruturas produtivas de peixes e de bivalves, em tanques em suspensão ou com assentamento no fundo.

De entre as espécies mais comuns da nossa fauna marinha (peixes, moluscos e crustáceos), algumas já foram domesticadas (trabalhadas zootecnicamente para produção em cativeiro) e outras reúnem boas características para poderem vir a sê-lo. Tais características passam pelo valor comercial, pela adaptabilidade ao cativeiro e, sobretudo, pelas perspectivas do domínio a médio prazo, do seu ciclo biológico (DGPA 2007).

2.2.2 Produção aquícola

Os estabelecimentos aquícolas de culturas marinhas estão localizados na zona costeira em mar aberto, nas zonas entre marés e em terra, fora das zonas de influência direta das marés, mas suficientemente próximas do mar para efeitos de captação de água.

A aquacultura em Portugal caracteriza-se pela existência de um elevado número de estabelecimentos de pequena dimensão, nomeadamente viveiros de bivalves em zonas estuarinas ou de ria tal como podemos observar na Figura 7.

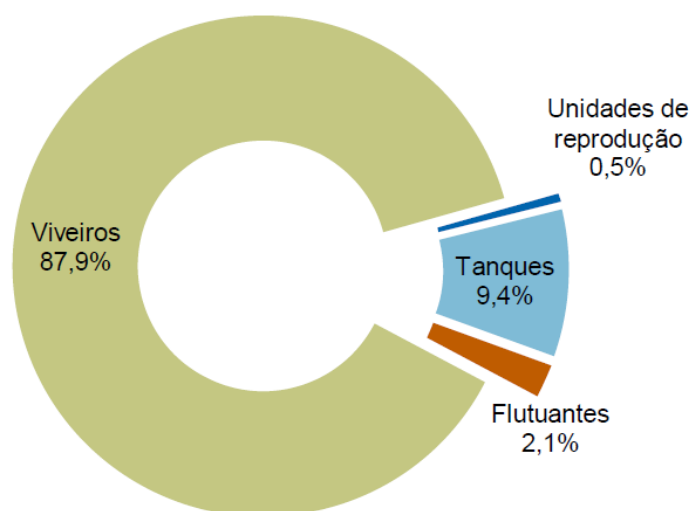


Figura 7 – Estabelecimentos de aquacultura em Portugal (INE 2017).

Relativamente aos regimes de exploração, a produção de aquacultura em águas doces manteve-se exclusivamente intensiva. Na produção aquícola em águas marinhas e salobras, o regime extensivo saiu reforçado, com 60,2% do volume total (54,9% em 2015), tendo sido utilizado sobretudo para a cultura de bivalves. O regime intensivo representava 28,4% da produção, menos 5,6% do que em 2015, enquanto o semi-intensivo, responsável por 11,3% do total produzido, manteve aproximadamente o peso em relação ao ano anterior (11,1% em 2015) (INE 2017).

2.2.3 Perspetivas de evolução do setor aquícola

Apesar da relativa abundância de recursos hídricos em Portugal, especialmente de águas marinhas ou salobras, as taxas de crescimento do setor estão limitadas pelas condições técnicas e/ou naturais de utilização dos recursos existentes, pelos espaços disponíveis de cultivo e pela disponibilidade de financiamentos. Este crescimento será também afetado pelo aumento estimado dos custos, nomeadamente da energia e das rações. Contudo, o desenvolvimento tecnológico poderá, nos próximos anos, possibilitar, por um lado, o recurso a espaços e a recursos hídricos até agora por explorar ou subaproveitados e, por outro, proporcionar ganhos de eficiência na utilização dos consumos intermédios.

A par deste desenvolvimento tecnológico cada vez mais eminente, ações governamentais como melhorias do enquadramento legal e regulamentar, desenvolvimento dos instrumentos de ordenamento e gestão territorial, criação de novas áreas de produção aquícola e simplificação de procedimentos administrativos, estão a ser tomadas e muitas delas em vigor com o plano estratégico para a aquacultura portuguesa (DGPA 2014).

2.2.4 Legislação portuguesa

As últimas décadas testemunharam uma corrida sem precedentes entre diferentes setores pelo acesso ao mar. Interesses como energia renovável offshore, extração de areia e cascalho, segurança nacional, pesca e conservação da natureza, exigem mais espaço e os usos exclusivos de áreas marinhas estão a ser substituídos por soluções mais integradas (Röckmann, Lagerveld, and Stavenuiter 2017).

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS - estabelecida em 1982) define os direitos de um Estado costeiro sobre o seu mar territorial e também estabelece os seus direitos sobre os mares além destes limites (James and Slaski 2006).

A legislação que regula a atividade da aquacultura em Portugal em águas salobras e marinhas, data de finais da década de 80. Os principais pontos legislativos que regulam esta atividade são:

- a) Decreto Regulamentar n.º 14/2000
- b) Decreto-lei n.º 278/ 87
- c) Lei n.º 58/2005
- d) Decreto-lei n.º 226-A/2007
- e) Decreto Regulamentar n.º 9/2008
- f) Decreto-lei n.º 70/90

O Decreto Regulamentar n.º 14/2000, de 21 de setembro define os requisitos e as condições relativas à instalação e exploração de estabelecimentos de aquacultura em terra. No entanto, este Decreto apresenta algumas lacunas no que diz respeito, a agrupamentos de estabelecimentos em mar aberto, também designados por offshore. Estas lacunas são consideradas no Decreto Regulamentar n.º 9/2008.

Resumidamente, a exploração de um estabelecimento de culturas marinhas e conexos está sujeita a licenciamento a conferir pelo Director-Geral das Pescas e Agricultura. A autorização de instalação de estabelecimentos em áreas de produção aquícola inicia-se com o Pedido de Informação Prévia (PIP) sobre a possibilidade de utilização do domínio público hídrico prevista na Lei n.º 226-A/2007, artigo 11, que deve ser entregue na Administração dos Recursos Hídricos (AHR), no qual deve constar a identificação da utilização pretendida e do local, recorrendo às coordenadas geográficas. Com as informações fornecidas pela entidade é realizado o requerimento da licença de utilização dos recursos hídricos. Os documentos

necessários para a realização do requerimento estão dispostos no artigo 14º do Decreto-lei n.º 226-A/2007.

Antes da atribuição das licenças, a ARH deve certificar-se se o requerimento da licença está de acordo com os requisitos legais. Nesta fase a ARH pode fazer depender a licença de utilização do domínio hídrico dos seguintes requisitos: estudos de viabilidade, impacto ambiental, modelo de financiamento, modelo de gestão e projeto de execução.

No prazo de 45 dias a entidade competente emite um parecer nos termos previstos no Artigo 15º, 73º e 74º do Decreto de Lei nº 226-A/2007. A autoridade competente procede à publicação do pedido da utilização dos recursos hídricos apresentado através da afixação de editais. Se, eventualmente, o número de pedidos exceder o número de lotes disponíveis será iniciado um procedimento concursal entre os interessados.

Depois de emitida a licença de utilização do domínio público hídrico, o requerente possui seis meses para iniciar a instalação do estabelecimento e um período de dois anos para a conclusão da instalação.

Após a conclusão da instalação, o interessado requer à Direção Geral das Pescas e Agricultura (DGPA) a licença de exploração do estabelecimento nos termos do artigo 24º do Decreto Regulamentar nº 14/2000, de 21 de setembro, observando-se para o exercício da exploração, o disposto no artigo 25º do mesmo Decreto Regulamentar.

O Decreto Regulamentar n.º 9/2008 determina ainda que o espaço ocupado pela piscicultura não deve exceder 70% do lote e que a produção máxima por hectare não deve ultrapassar as 1000 toneladas por cada ciclo produtivo de 18 meses.

Os espécimes oriundos de um estabelecimento de cultura marinha podem ser comercializados com um peso e comprimento inferiores ao fixado para os produtos da pesca, sendo apenas permitido o cultivo de espécies indígenas.

Só é permitida a navegação na zona APPA de embarcações pertencentes aos titulares dos estabelecimentos, a autoridades marítimas, investigação ou outras devidamente autorizadas.

Devido aos elevados capitais iniciais de investimento necessários à instalação e manuseio de uma aquacultura em mar aberto o INAG (Instituto Nacional da Água) pode financiar parcialmente a fundo perdido a aquisição de estruturas primárias e outras necessidades relacionadas com uma unidade em mar aberto (DGPA 2014).

2.3 Aquacultura em mar aberto

Uma das grandes potencialidades da aquacultura em mar aberto é a possibilidade de implementar uma economia de escala, verificando-se uma relação decrescente de custos com o aumento dos níveis produtivos. Por exemplo, os custos logísticos implicados na alimentação de uma jaula são semelhantes aos implicados na alimentação de 10 jaulas.

Ao contrário dos tanques de terra, o cultivo de peixes em jaulas oceânicas não necessita de bombeamento e arejamento de água, dependendo das condições hidrodinâmicas do oceano, reduzindo, assim, os custos energéticos e permitindo uma densidade de cultivo superior por metro cúbico (Lucas, Southgate, and Tucker 2005).

A aquacultura em mar aberto apresenta a vantagem de se situar em zonas oceânicas, sendo estas menos suscetíveis à poluição oriunda das zonas costeiras. Por outro lado, as 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. Outra vantagem é a estabilidade dos parâmetros físico-químicos sendo as flutuações na qualidade da água menos acentuadas em mar aberto quando comparadas com um tanque em terra. Os níveis de oxigénio são normalmente superiores aos necessários, a salinidade é altamente estável, o pH é controlado

pelo sistema tampão do oceano, os níveis de nutrientes são relativamente baixos e as flutuações diárias e sazonais de temperatura são menos marcadas (Bridger and Springs 2004).

No entanto, existem algumas desvantagens associadas ao desenvolvimento da aquacultura offshore, nomeadamente relacionadas com os elevados capitais iniciais de investimento. As instalações capazes de suportar as condições oceânicas são mais dispendiosas de construir, instalar e manter quando comparadas com as instalações usadas em terra e em zonas costeiras.

Outra desvantagem está relacionada com problemas logísticos que aumentam com a distância à terra devido ao tempo de deslocação, à necessidade de embarcações capazes de suportar condições adversas e os combustíveis necessários ao seu funcionamento. As atividades de manutenção e operação de uma unidade offshore dependem ainda, em muito, das condições climáticas do momento. Em situações climáticas adversas, atividades como a alimentação e pesca ficam comprometidas, condicionando o estado do stock e o bom funcionamento da unidade.

Ao contrário dos tanques de terra em que a vigilância e controlo do ambiente produtivo dependem quase exclusivamente de fatores humanos, um sistema em mar aberto encontra-se mais sujeito a soluções tecnológicas para manter um mesmo nível de controlo produtivo.

Apesar de se situarem em zonas oceânicas, as elevadas densidades de peixe no interior das jaulas aumentam o risco de ocorrência de surtos patológicos e o consequente contágio dos peixes selvagens. Uma possível fuga dos peixes das jaulas pode pôr em risco as populações selvagens em termos genéticos e ecológicos. Outra desvantagem reside na dificuldade de controlar incrustações nas estruturas, parasitas, doenças, poluição e *blooms* de algas tóxicas (Lucas, Southgate, and Tucker 2005).

2.4 Critérios de seleção de locais para implementação de jaulas de aquacultura

A cultura de organismos em jaulas refere-se a um sistema aberto onde o ambiente de criação é o próprio ambiente onde esta se insere, ou seja, existem interações entre jaulas e o ambiente em ambas as direções. A acrescentar a este impacto, as jaulas normalmente inserem-se num conjunto das mesmas, por isso, jaulas contíguas afetam-se mutuamente tal como representado na Figura 8 (Cardia and Lovatelli 2015).

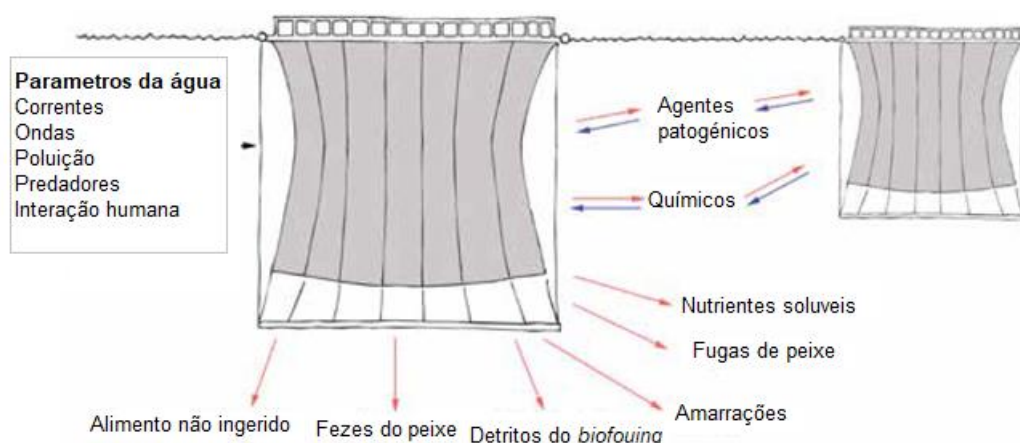


Figura 8 – Diagrama das principais interações em sistemas de aquacultura (Cardia and Lovatelli 2015).

A seleção de um local com viabilidade económica para implementação de sistemas de aquacultura é crucial, pois as características do local selecionado afetam diretamente os custos operacionais, a produção, a mortalidade e o lucro em geral vs o peixe que se pretende estabelecer. Em comparação com uma instalação terrestre, a aquacultura em jaulas marítimas tem menos margem de erro em relação à seleção de locais, especialmente porque uma localização incorreta pode resultar na perda do *stock* de peixes e das próprias jaulas (Cardia and Lovatelli 2015).

Uma primeira abordagem no que diz respeito ao local escolhido relaciona-se com a sua exposição às ondas, ventos e correntes. Uma localização offshore com grande exposição implica maiores investimentos iniciais, amarrações e redes, maiores custos de manutenção e maiores riscos, resultando em maiores custos de produção. Por outro lado, um local exposto terá um melhor hidrodinamismo, resultando num menor impacto ambiental, promovendo o bem-estar dos peixes e uma melhor qualidade do produto. Um local abrigado e protegido será menos exposto a ondas, ventos e correntes, o que implica menores danos estruturais, mas riscos mais altos no que concerne a impactos ambientais significativos (Cardia and Lovatelli 2015).

Assim, numa primeira abordagem os parâmetros que devem ser avaliados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros e fatores importantes na escolha de um local para aquacultura.

<i>Parâmetros ambientais para o cultivo de organismos</i>	<i>Parâmetros relevantes para a jaula</i>	<i>Parâmetros legais e logísticos</i>
Temperatura	Profundidade	Aspeto político e legal
Salinidade	Ondas	Acesso
Poluição	Fundo do mar	Segurança
Sólidos em suspensão	Correntes	Proximidade do mercado
pH	<i>Fouling</i>	Direitos de posse tradicionais
Doenças	Poluição	Permissão de aluguer
Reciclagem da água	Vento	-
Correntes	-	-
<i>Fouling</i>	-	-
Oxigénio dissolvido	-	-

2.4.1 Parâmetros ambientais para o cultivo de organismos

2.4.1.1 Oxigénio dissolvido

O oxigénio dissolvido é um dos parâmetros mais importantes a considerar na escolha de um local (Figura 9). Os requisitos de oxigénio variam de acordo com a espécie, estágio de desenvolvimento e tamanho do peixe. O nível de oxigénio dissolvido é influenciado pela temperatura e afeta diretamente a taxa de conversão alimentar. Quanto mais baixo for o oxigénio dissolvido na água, maior será a taxa de conversão alimentar final, o que resultará em maiores custos de alimentação.

Este parâmetro pode ser determinado pelas comunidades de algas. A fotossíntese diurna aumenta o nível de oxigénio dissolvido, enquanto a respiração noturna promove a sua diminuição. Quando há uma mudança nas condições oceânicas, as algas morrem repentinamente ou reduzem o seu número. Com a sua mortalidade os níveis de oxigénio dissolvido diminuem.

O nível de oxigénio dissolvido está relacionado com as incrustações na jaula, porque o crescimento de organismos na rede pode reduzir a troca de água.

A salinidade da água, estudada mais à frente, causa uma diminuição nos níveis de oxigénio dissolvido aquando de um acréscimo desta (Cardia and Lovatelli 2015).

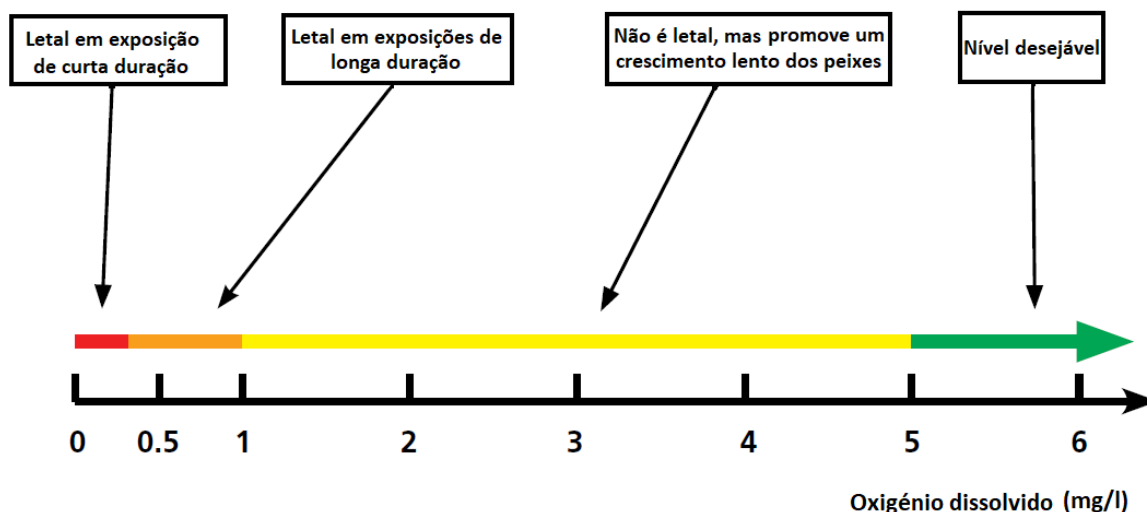


Figura 9 – Efeitos do oxigênio dissolvido nos peixes (Boyd and Lichtkoppler 1979).

2.4.1.2 Poluição

Uma grande variedade de poluentes pode danificar as jaulas e pode afetar negativamente o *stock* de peixes cultivados, causando morte ou contaminação do peixe, de tal forma que não possa ser comercializado para consumo humano. Os riscos podem ser minimizados evitando áreas altamente industrializadas, embora também possa ocorrer poluição como resultado do tráfego marítimo.

Os rios podem conter detritos ou grandes objetos flutuantes que podem danificar a rede ou mesmo a estrutura em caso de choque (Cardia and Lovatelli 2015).

2.4.1.3 Temperatura

A temperatura tem influência direta no metabolismo dos peixes e, consequentemente, no consumo de oxigênio e na taxa de atividade, além da tolerância aos níveis de amônia e dióxido de carbono. Uma variação súbita de temperatura pode ser uma fonte de *stress* para os peixes e pode originar surtos de doenças. É importante perceber que:

- A temperatura das áreas costeiras pode ser influenciada pelo fluxo de águas doces de rios que, por sua vez, são influenciados pela sazonalidade das chuvas.
- Águas mais rasas têm inevitavelmente temperaturas mais elevadas.
- A radiação solar recebida pela água é absorvida, apenas, pelos primeiros metros de água. Se não houver mistura, a água ficará estratificada e a temperatura da coluna de água poderá variar drasticamente da superfície até a base da jaula.

2.4.1.4 Salinidade

Salinidade é a quantidade de sais dissolvidos na água, normalmente expressa em partes por milhar.

Níveis inadequados de salinidade podem influenciar negativamente a alimentação, a taxa de conversão alimentar e a taxa de crescimento específico.

Variações significativas de salinidade contribuem para um aumento de *stress*, que pode deprimir o sistema imunológico dos peixes cultivados, tornando-os mais suscetíveis a infecções por organismos parasitas e outras doenças (Cardia and Lovatelli 2015).

Por exemplo, os estuários são locais que apresentam grandes variações de salinidade e, como tal, devem ser evitados (Cardia and Lovatelli 2015).

2.4.1.5 pH

O pH é definido como um logaritmo decimal negativo da concentração do ião hidrogênio numa dada solução, ou seja:

$$\text{pH} = \log [\text{H}^+] \quad (2.1)$$

Desta forma, numa alteração de uma unidade de pH corresponde a uma alteração de dez vezes na concentração de hidrogênio (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

O nível de pH é uma medida de acidez onde a água doce no estado puro tem um valor de pH neutro (próximo de 7,0 a 25 ° C). Valores menores que 7 são ácidos, enquanto níveis maiores que 7 são básicos ou alcalinos, numa escala de 1 a 14.

O pH do sistema marinho varia pouco no dia a dia estando geralmente na faixa de 8.0 a 8.2, o que fornece condições ideais de crescimento às espécies de peixes. Fora dessa faixa, os peixes serão afetados, por exemplo, por danos na pele e nas guelras e, ainda, crescimento deficiente (Figura 10) (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

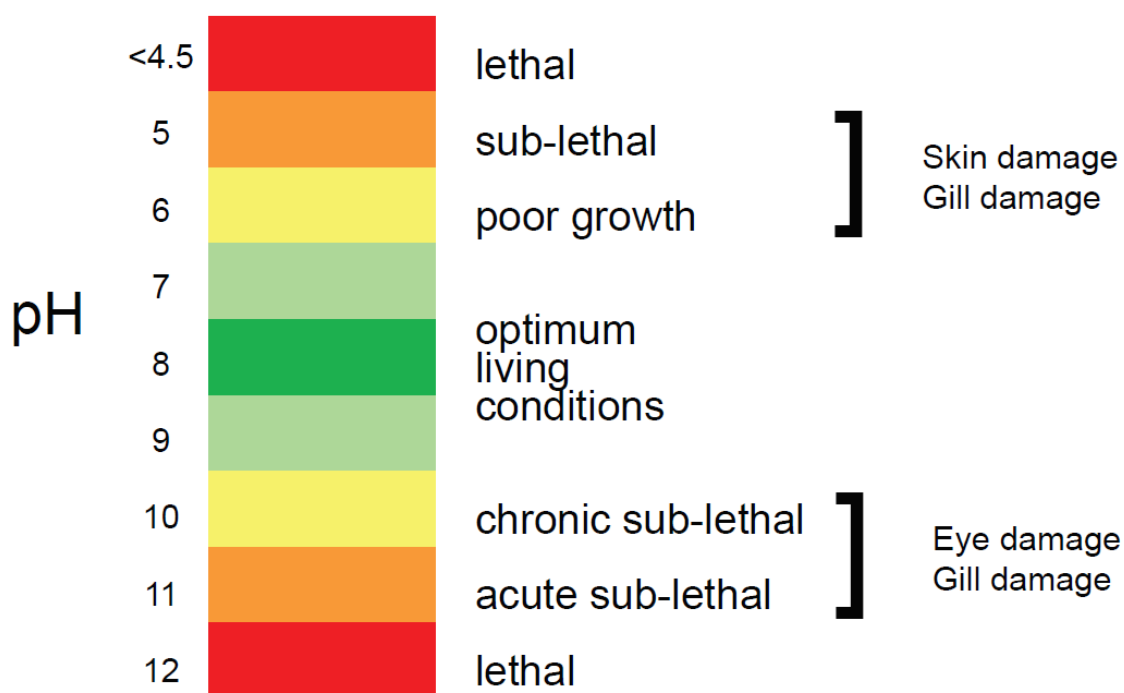


Figura 10 – Escala de pH e efeitos nos peixes (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

Embora a acidificação oceânica seja uma questão a longo prazo é improvável que o pH mude o suficiente para afetar a aquacultura no oceano a curto e médio prazo, como resultado da acidificação global.

O pH não é um fator fulcral na seleção do local, exceto quando o local pode ser afetado por fluxos de saída de águas residuais ou outros dejetos que podem conter produtos químicos reduzindo ou aumentando o pH total (Cardia and Lovatelli 2015).

2.4.1.6 Transparência da água

As frotas de jaulas aquícolas devem ser instaladas em áreas com água relativamente limpa e transparente. Os sólidos suspensos devem preferencialmente ser inferiores a 5 mg / litro e não devem exceder 10 mg / litro. A água turva não é adequada para a piscicultura, pelas seguintes razões:

- Sedimentos na água contribuem para a incrustação que, quando depositados na rede aceleram o entupimento servindo como substrato para o crescimento de organismos incrustantes.
- A dificuldade do peixe em ver a ração leva a défices alimentares.
- Quantidades elevadas de sedimentos podem entupir as guelras dos peixes tornando-se letal.

2.4.1.7 Doenças

Alguns agentes patogénicos estão presentes no ambiente, especialmente se os locais estão localizados em áreas poluídas como portos ou perto de esgotos não tratados ou mesmo bacias fechadas com troca de água contaminada. As doenças bacterianas são frequentemente associadas à má qualidade da água.

Alguns locais abrigam hospedeiros intermediários ou definitivos de parasitas que podem mudar os hospedeiros de peixes selvagens para peixes de criação. Isso não é fácil de avaliar à priori, embora um laboratório especializado em doenças de peixes possa aconselhar sobre possíveis surtos de doenças em populações de peixes selvagens no local alvo (Cardia and Lovatelli 2015).

2.4.1.8 Correntes

As correntes afetam a troca de água das próprias jaulas, na dispersão de alimento, de secreções dos peixes e na renovação de águas. Como tal, uma corrente adequada deve ser tomada em consideração e será abordada mais à frente com maior detalhe (Cardia and Lovatelli 2015).

2.4.1.9 Fouling

O *fouling*, representado na Figura 11, é uma das questões mais importantes da maricultura e pode causar sérios problemas estruturais e na produção de peixe. Este caracteriza-se por incrustações, ou seja, uma composição mista de várias floras e faunas marinhas, organismos, tais como, microalgas, bivalves, corais, nudibrânquios, esponjas, briozoários e cracas que se ligam à rede e a todas as estruturas submersas.

Os organismos incrustantes ligados à rede provocam entupimento da malha da rede e a água fica incapaz de fluir através da jaula, levando a uma deficiente troca de água entre as áreas internas e externas da jaula. Como resultado desta troca deficitária, ocorre uma queda na troca

de oxigênio dissolvido que, por sua vez, afeta o crescimento e a saúde dos peixes. Quando a rede é coberta por organismos com casca dura, os peixes podem sofrer cortes e lacerações, o que possibilita a ocorrência de infecções e doenças levando a maior mortalidade. Quando os peixes são pequenos, as incrustações tornam-se um problema na taxa de crescimento, ou seja, quanto mais *fouling* existir, mais dificuldade existe nas trocas com o exterior como já foi referido anteriormente. Como os peixes mais jovens necessitam de mais oxigênio irão apresentar um crescimento deficitário (Cardia and Lovatelli 2015).



Figura 11 – Barreira de *fouling* impedindo trocas com o exterior da jaula (“Fouling Removing Aquaculture - Pesquisa Google” 2012).

Em áreas onde o *fouling* se trata de uma constante é de prática comum tratar as redes com um revestimento anti-*fouling*, onde o principal ingrediente biocida é o óxido de cobre, que pode ser tóxico para os animais e plantas aquáticos mais sensíveis. A quantidade (%) do metal pesado (óxido de cobre) em produtos anti-incrustantes comerciais vendidos no mercado geralmente reflete os limites permitidos pelo *Health and Safe Regulations* (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

Uma tecnologia mais recente de proteção antivegetativa passa pela aplicação de resinas *antifouling*. O tipo de ligação química covalente entre os elementos estruturais e o antivegetativo limita ou anula a lixiviação do *antifouling* selecionado e incorporado, pelo que se prevê os melhores resultados (Cardia and Lovatelli 2015).

2.4.2 Parâmetros relevantes para a jaula

Aliados aos fatores que podem afetar a criação dos peixes é necessário, também, considerar todos os parâmetros que podem influenciar a instalação da jaula, barcas e sinalizadores marinhos no processo de seleção do local. Na escolha do modelo da jaula, no projeto e construção do sistema de ancoragem, bem como na seleção da embarcação de serviço é

necessário considerar a batimetria ou profundidade local, direção e velocidade das correntes, o vento, as ondas, quer a sua amplitude, assim como, a sua frequência, o leito do mar e a incidência de tempestades e tornados.

2.4.2.1 Batimetria

A batimetria é a medição da profundidade dos oceanos, lagos e rios expressa cartograficamente por curvas batimétricas que unem pontos da mesma profundidade com equidistâncias verticais.

Poucos autores falam sobre a influência da pressão nas jaulas de aquacultura, no que concerne às suas limitações estruturais. No entanto, é um fator a ter em atenção, especialmente quando nos referimos a jaulas submergíveis, uma vez que a pressão hidrostática aumenta com a profundidade. Jaulas a profundidades muito elevadas estarão sujeitas a esforços de pressão muito elevados e como tal os materiais utilizados terão de ser resistentes a estas.

De forma geral, é assumido que as jaulas são projetadas para que aguentem as pressões até 15m de profundidade, sem que este fator se torne uma variável a considerar nos cálculos. No entanto, na ocorrência de fenómenos mais extremos, como ondas de maiores dimensões, pode levar à necessidade de submergir as jaulas a profundidades entre os 30 e 50 metros, mas muitas estruturas não estão preparadas para esse tipo de profundidades (Ágústsson 2004).

A velocidade média e a direção da corrente em combinação com a profundidade da água, pode determinar a concentração de sedimentos residuais na área circundante da jaula.

A profundidade acarreta alguns impactos quando falamos de aquacultura. No que respeita à pegada deixada pela atividade é mais acentuada quando nos deslocamos para profundidades maiores. O projeto de ancoragem é influenciado ao nível de materiais, equipamentos e dimensões consoante a profundidade. Quando necessárias, as inspeções de mergulho a profundidades a partir dos 50m requerem equipamento e profissionais especializados. Relativamente à profundidade da jaula, esta, de uma maneira geral, dependendo sempre da velocidade das correntes, não deve ter uma profundidade maior do que um terço da profundidade do local em questão. Devem ainda ser deixados pelo menos 15m desde o fundo mar até a parte inferior da jaula em baixa mar (Cardia and Lovatelli 2015).

Durante a fase de projeto, a profundidade deve ser alvo de um estudo, tal como é representado na Figura 12, por via de gráficos marítimos e posteriormente verificada com uma extensa pesquisa de campo. Zonas planas, sem rochas ou formações de corais são preferenciais na alocação de sistemas de aquacultura.

Em muitos casos, a ação das ondas em águas mais rasas, se não forem abrigadas como no caso da existência de fiordes, é mais violenta e as ondas são mais altas. Um local raso pode ser submetido a condições severas de ondulação, sendo mais exigente em termos de engenharia do que em locais de águas mais profundas (Cardia and Lovatelli 2015).

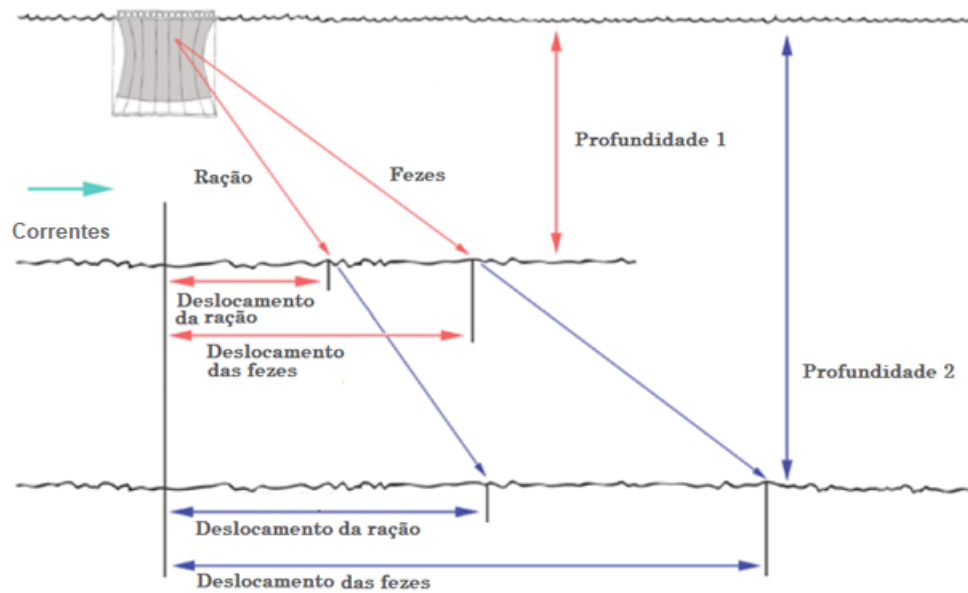


Figura 12 – Influência da profundidade no deslocamento das partículas sólidas (Cardia and Lovatelli 2015).

Se o local for muito raso e estiver sujeito às marés, ação do vento e das ondas, a rede está sujeita a abrasão no fundo do mar. O alongamento natural de alguns materiais poliméricos usados no fabrico das redes, como a poliamida (*Nylon*®), pode e geralmente gera um “abaulamento (protrusão para baixo)” na parte central da base líquida, devido à elasticidade do material que é afetado pela gravidade. O alongamento pode aumentar se a rede estiver contaminada com algas ou *fouling*.

A profundidade mínima, (Figura 13) da água deve ser medida a partir do ponto mais baixo das maiores ondas prováveis na maré baixa e recomenda-se que a profundidade da água seja 2 vezes a profundidade total da rede, o que eliminará qualquer possível abrasão (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

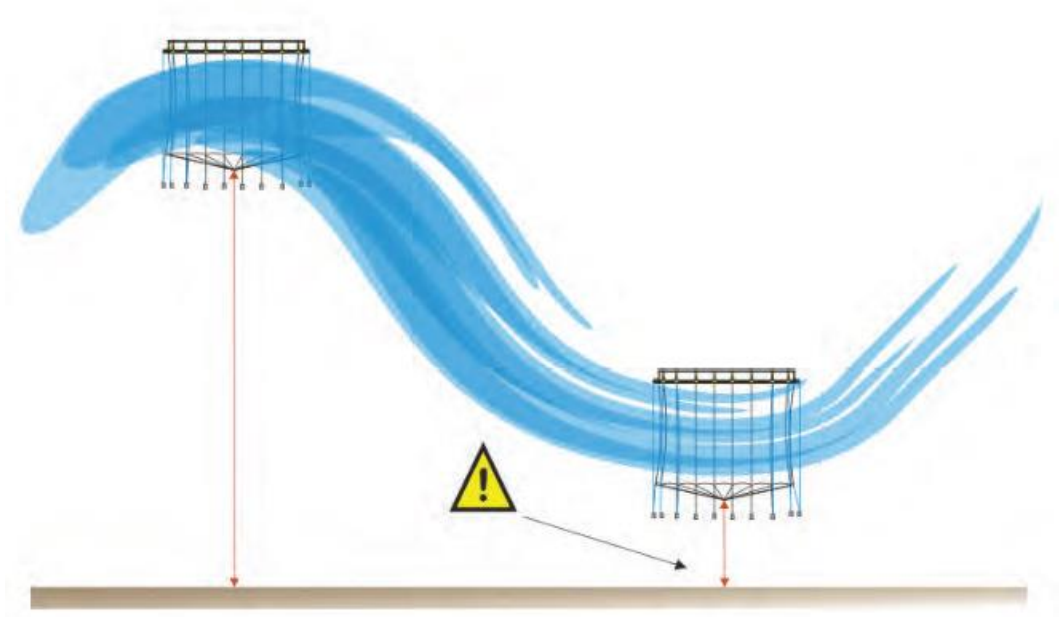


Figura 13 – Distância da base da rede ao fundo marinho em função da altura das ondas (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

2.4.2.2 Características das correntes

No que respeita às velocidades das correntes, estas representam 70% a 75% das forças aplicadas numa estrutura de uma jaula de tamanho médio, com uma produção de 3000 a 4000 toneladas por ano (Cardia and Lovatelli 2015).

As correntes são importantes para determinar os pesos necessários de forma a manter a rede esticada e, na posição correta, provocam a deslocação da jaula, como pode ser observado na Figura 14, bem como, transferência de peixes, afetam a forma da rede, podem comprometer as operações de manutenção que requerem mergulho e ainda são responsáveis por dispersar os resíduos sólidos.

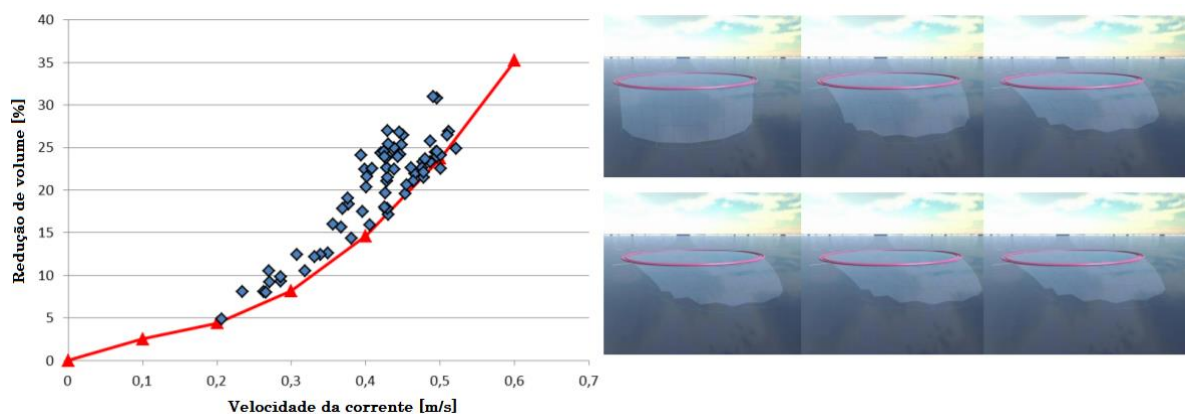


Figura 14 – Redução de volume por deformação da rede (Fredheim 2014).

Ao projetar o sistema de amarração da jaula é necessário tomar em consideração a velocidade das correntes. As boias compensadoras são dimensionadas de acordo com a velocidade esperada da corrente registada no local, bem como as dimensões de cada um dos componentes que compõem um sistema de ancoragem. A rede gera forças de arrasto muito fortes devido à sua grande área, o que é exponencialmente agravado quando uma rede está repleta de incrustações. Neste caso, ela torna-se uma barreira quase sólida, aumentando a carga suportada pelo sistema de ancoragem e potencialmente excedendo o seu limite de descarga.

As correntes colocam uma força de arrasto adicional no sistema de ancoragem, para além da força de onda já presente nos componentes da âncora. Essa carga pode gerar um efeito de impacto, tanto nas âncoras como nos blocos de betão, especialmente quando o fundo do mar é particularmente duro e a âncora fica aí e não no sedimento.

Em áreas rasas, ou onde o leito do mar é “macio”, por exemplo, lama e areia lamacenta, o deslocamento do leito do mar devido a correntes profundas pode desgastar a área de ancoragem, o que expõe a âncora e reduz significativamente o poder de ancoragem.

Dentro do sistema de ancoragem, a corrente também enfatiza a flutuação das boias de ancoragem na linha de água. As correntes mais altas resultam de uma força de afundamento adicional sobre a capacidade elástica de amarração normal, o que pode levar à rotura e à perda de jaulas e peixes.

A velocidade ideal da corrente varia de acordo com as espécies cultivadas e o tamanho da malha das redes da jaula. No mar Mediterrâneo, a velocidade da corrente ótima na aquacultura em jaulas é, geralmente, entre 10 e 20 cm/s e não superior a 60 cm/s. Na aquacultura do salmão, 25–50 cm/s é a velocidade atual ideal e 75 cm/s é a velocidade máxima recomendada. A Norma Norueguesa NS9415 requer 50 cm/s como entrada mínima para determinar o tamanho do sistema de ancoragem e os elementos a serem usados (Cardia and Lovatelli 2015).

A direção da corrente também deve ser tomada em consideração para prever a área de dispersão. Para tal, recorre-se à consulta de cartas náuticas temáticas disponibilizadas pelas autoridades e à implementação de uma boia de corrente que permita a recolha de dados. Estes dados das correntes recolhidos em alguns ciclos lunares são depois extrapolados para um período de 50 anos.

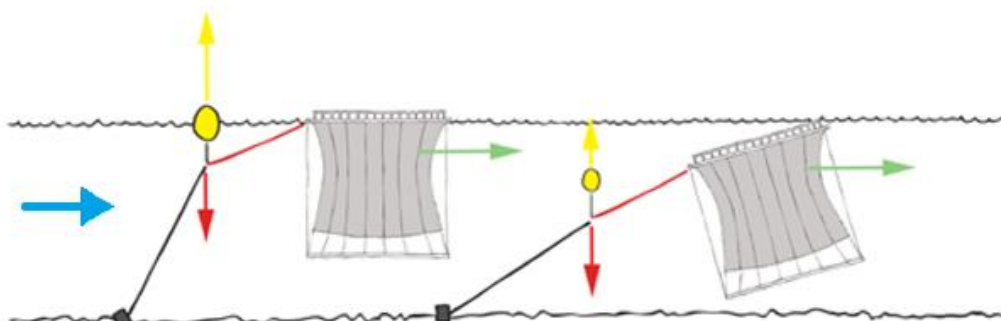


Figura 15 – Efeito das correntes na submersão das jaulas (Cardia and Lovatelli 2015).

Quando uma jaula é submetida a uma corrente (seta azul), a rede gera uma força de arrasto (seta verde), as boias do sistema de amarração (conhecidas como boias de ancoragem) são submetidas a uma tração descendente (setas vermelhas). Esta carga descendente é contrastada com a impulsão (setas amarelas). Se as boias forem muito pequenas como vemos no lado direito da Figura 15, a impulsão será menor do que a carga descendente resultando na submersão da boia e do colarinho da jaula em condições de corrente forte.

As correntes têm características relativamente simples, em comparação com as ondas, podendo ser uniformes com a profundidade, exceto à superfície e no fundo do mar. Estas dividem-se em duas características principais, as correntes de longa duração, que são o resultado do fluxo de águas profundas em oceano aberto, com baixas velocidades e as correntes originadas pelas marés, como em baías e canais com elevada velocidade.

A influência das correntes é significativa nas cargas experimentadas por um objeto no oceano, por exemplo, aumentando a amplitude da ação da onda ou afetando o comprimento de onda ou alterando a direção de propagação da onda.

Em projetos à superfície, as forças das ondas são fatores dominantes. No entanto, correntes fortes e persistentes também existem em profundidade e colocam as jaulas, amarrações e mesmo o stock de peixes sob o efeito de forças de arrasto, que por sua vez, dependem do tamanho e geometria dos objetos expostos a esta corrente. De acordo com Ágústsson (2004), as forças de arrasto quadruplicam em relação ao aumento da velocidade atual, de modo que, um aumento na velocidade resultará numa força de arrasto dezasseis vezes maior. A Farmocean International AB, produtores de uma conhecida jaula de peixes offshore, não recomenda a criação de peixes em correntes acima de 1.3m/s (Ágústsson 2004).

Para a compreensão de fenómenos de correntes é importante olharmos para as correntes no interior da jaula, que são de extrema importância a nível biológico, no bem-estar e desenvolvimento dos peixes. A corrente no interior da jaula será influenciada pela malha da rede, o nível de incrustações e movimento dos peixes e, assim sendo, segundo Lee e Pei (2000), ocorre uma redução de 74% relativamente à velocidade exterior da jaula, ou seja, uma corrente com 1 m/s no exterior da jaula, no seu interior apresentará uma velocidade de 0.74 m/s (Lee and Pei-Wen 2000).

A orientação da frota de jaulas é pensada parcialmente devido à direção das ondas incidentes. Quando as correntes são ortogonais em relação à jaula é possível que uma carga seja colocada nas âncoras na área intermediária da amarração (Figura 16). Isto pode gerar uma tensão elevada nos equipamentos, isto é, cordas, armações de gaiola e redes levando a possíveis quebras com uma perda de peixe e equipamento.

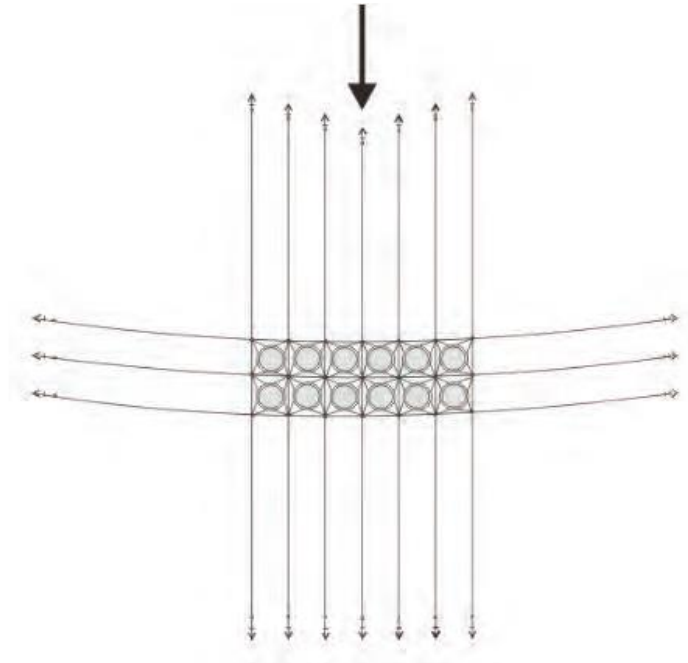


Figura 16 – Efeito das correntes ortogonais no sistema de amarração (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

Se as correntes forem suficientemente fortes é preferível expor o lado curto da rede à direção da corrente de entrada, de modo que o menor número de jaulas seja exposto à corrente principal como será mencionado mais à frente (Figura 18). No caso de tal solução ser impossível de implementar, o número das linhas de ancoragem deve ser aumentado, especialmente dentro da área central do sistema de ancoragem da jaula (Figura 17).

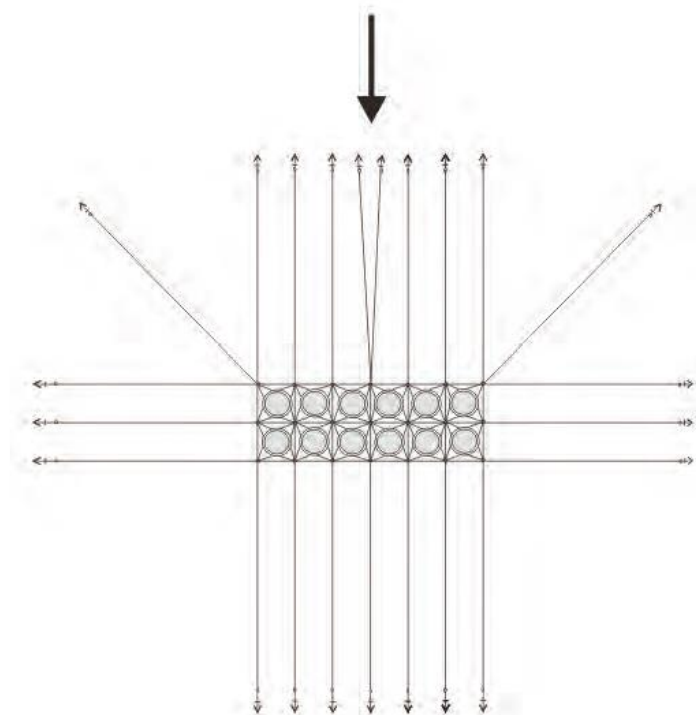


Figura 17 – Reforço do sistema de amarração (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

Do ponto de vista técnico e de engenharia, a ação das ondas em offshore é a principal consideração a ter em conta. Uma compreensão básica dos princípios subjacentes para analisar as várias abordagens técnicas que foram propostas ou adotadas para enfrentar o desafio de cultivar peixes no mar torna-se imperativa. O movimento da jaula é o resultado da absorção de energia proveniente das ondas que, por sua vez, é transformada em energia cinética e potencial, sendo as forças residuais dissipadas dentro da estrutura ou transmitidas para jaulas adjacentes, amarras e para a própria água. O impacto na estrutura da jaula e nas redes gera uma carga estrutural, fadiga, desgaste e até mesmo falha ou rotura. A acrescentar aos problemas estruturais criados pelas ondas marítimas estas, quando demasiado expressivas, podem originar problemas no *stock* de peixe. Problemas fisiológicos, como *stress* osmótico originam a perda de escamas do peixe, a redução na taxa de crescimento, danos físicos e mesmo a mortalidade são alguns exemplos dos problemas associados à ondulação elevada.

2.4.2.3 Ondas

As ondas representam cerca de 20% a 25% das forças totais que afetam os sistemas de amarração e o equipamento aquícola.

A onda é, portanto, um dos principais fatores limitantes no desenvolvimento da piscicultura marinha em jaulas. Nos últimos anos, o material usado para produzir as jaulas flutuantes está lentamente a transitar do metal para o polietileno de alta densidade. Este material polimérico é muito flexível e possui excelente capacidade de adaptação ao movimento sinusoidal das ondas marinhas (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

Naturalmente, o diâmetro da jaula deve ser adequadamente dimensionado de acordo com a altura e o período de onda. Geralmente, é recomendado ter grandes diâmetros de jaula em locais onde as ondas altas são um recurso frequente.

Em locais onde as ondas são menos significativas em altura, mas com um período muito curto, o desgaste dos materiais aumenta bastante. Neste caso, embora as ondas não transfiram alta quantidade de energia para as estruturas, elas são muito mais solicitadas devido à maior frequência das ondas que atingem a estrutura.

A direção da onda principal, indicada em graus ou radianos, geralmente determina a orientação do sistema de ancoragem. Uma indicação mais detalhada das várias direções das ondas no local selecionado é fundamental para obter um projeto mais preciso do sistema de ancoragem.

Num sistema de amarração, onde geralmente há várias jaulas alocadas como uma estrutura unitária, é geralmente aceite que as jaulas devem ser orientadas de forma que a borda curta da estrutura esteja na mesma direção das ondas predominantes, como exemplifica a Figura 18, enquanto a borda longa do sistema aquícola está de frente para as correntes predominantes. Se as correntes predominantes e as ondas predominantes não tiverem direção ortogonal, como mostra a Figura 18 é preferível que a amarração seja alinhada considerando a direção das ondas primeiro.

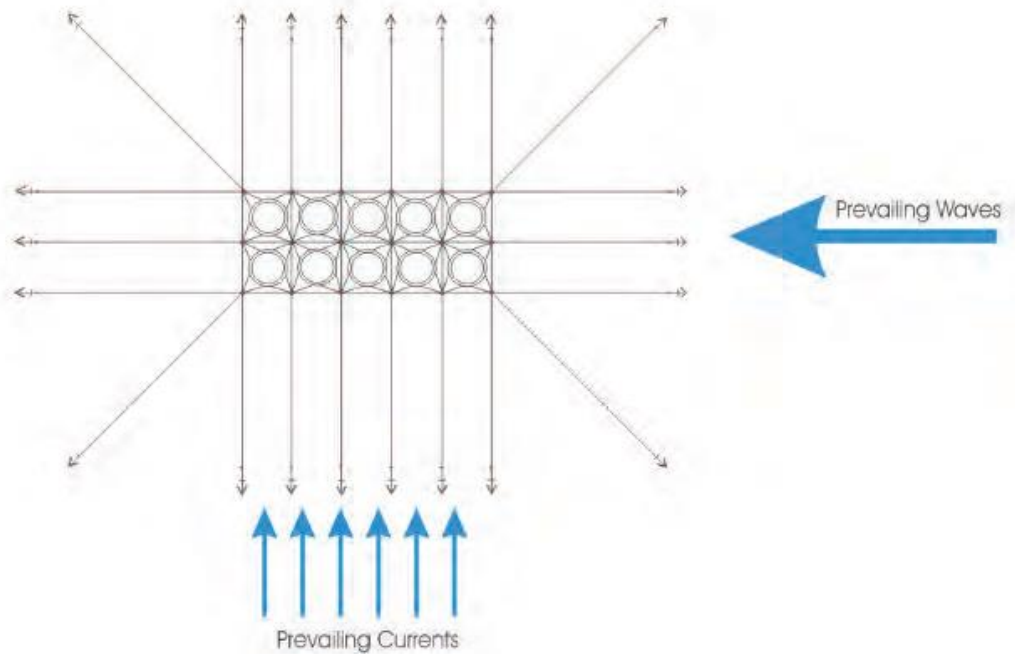


Figura 18 – Orientação de um sistema de amarração numa frota de jaulas (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

A formação de ondas é influenciada pela velocidade do vento, pela distância e largura percorrida, quer pelo vento quer pelas ondas em mar aberto, pela duração de vento na área selecionada e ainda pela profundidade da água. A conjugação de todos estes fatores determina o tamanho das ondas, ou seja, quanto maior for alguma das variáveis, maiores as ondas se tornam, excetuando a profundidade como será explicado mais adiante. As correntes também influenciam indiretamente a formação de ondas, já que os ventos contra as correntes geram ondas mais curtas e mais íngremes.

Medidas e características das ondas

Altura da onda

As ondas diferem na sua origem, forma e velocidade. No que respeita à aquacultura, o vento é o principal fator na origem das ondas. A altura das ondas aumenta com a velocidade do vento e a energia das ondas aumenta proporcionalmente com o quadrado da altura das ondas. O movimento da água produzido pelas ondas é, em grande parte, um fenómeno superficial. Quando uma onda se move em oceano aberto podemos observar que as partículas dentro da própria onda tendem a girar em órbitas circulares (Figura 19). Na superfície, o diâmetro da órbita é igual à altura da onda, H . No entanto, a órbita das partículas diminui exponencialmente com a profundidade e é expressa da seguinte forma:

$$D_z = H^{(2z/L)} \quad (2.2)$$

Onde:

D_z , é o diâmetro da órbita
 H , é a altura da onda
 Z , é a profundidade, e
 L , é o comprimento de onda

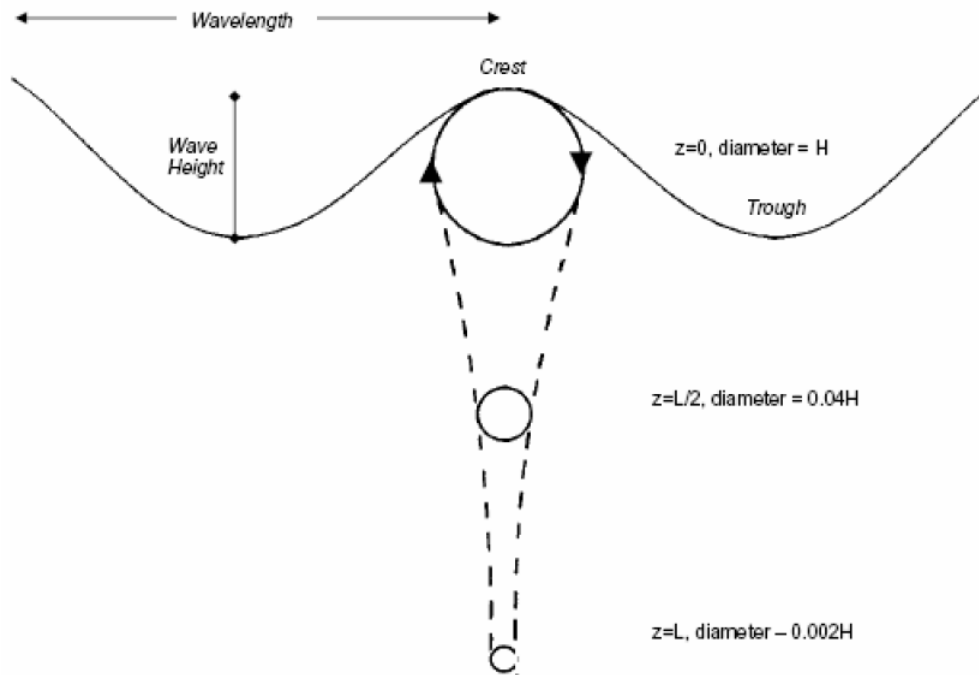


Figura 19 – Propriedades rotacionais de uma partícula de água numa onda (James and Slaski 2006).

Quando as ondas se aproximam da costa e a profundidade se torna menor que a metade do comprimento das ondas, os orbitais podem alcançar o fundo. O atrito entre o fundo e o movimento do orbital dissipa a energia das ondas. A quantidade de energia dissipada depende principalmente da velocidade orbital e da qualidade do leito do mar.

Quando os orbitais de uma onda atingem o fundo, a onda torna-se mais íngreme e dobra-se tal como podemos ver na Figura 20. Este efeito do leito do mar nas ondas são o motivo pelo qual as ondas têm maior inclinação e se tornam mais destrutivas perto da costa (Cardia and Lovatelli 2015).

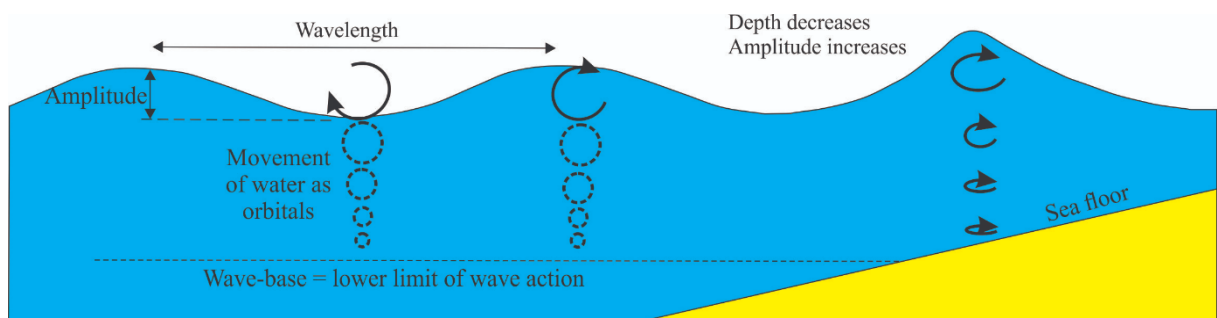


Figura 20 – Efeito da profundidade nas ondas e nas orbitais (“Wave Orbitals and the Effect of Depth on Wave Behaviour - Pesquisa Google” 2010).

Outros parâmetros de medição em relação às ondas são:

- O período de onda dominante, em segundos, que corresponde ao período entre ondas com energia máxima. Num determinado período, corresponde ao tempo entre as ondas de maior energia.
- O período médio de onda, em segundos, de todas as ondas durante um período de 20 minutos.

- A direção das ondas de período de onda dominante em graus do norte geodésico, aumenta no sentido horário, com o norte como 0 (zero) graus e o Leste como 90 graus.

A previsão das ondas, no que se refere às suas amplitudes, períodos e frequências, torna-se de extrema importância quando pretendemos colocar uma estrutura para aquacultura em offshore. Para tal é necessário obter informações como frequência a longo prazo e a direção do vento.

A adoção de uma estrutura para este tipo de jaulas deve ter em consideração dados estatísticos para as ondas com amplitudes mais elevadas, num dado período, que facilmente originam uma falha instantânea na estrutura. Por outro lado, deve ser considerada a média das amplitudes registadas nesse mesmo período que, por sua vez, originará uma falha gradual por efeito de fadiga criada na estrutura. Para o projeto de estruturas costeiras e offshore, é importante prever o efeito combinado da altura máxima das ondas e do período de ondas associadas. A altura de onda significativa (H_s) é a altura média de 33% das ondas mais altas e é cerca de 40-60% maior do que a altura de ondas médias no geral. A altura máxima de uma onda num local pode ser 1,8 a 2 vezes a altura de onda significativa (James and Slaski 2006).

Um estudo mais recente, de Perez et al. (2003) revelou que a utilização dos dados das alturas de ondas chega para a implementação de jaulas num dado lugar, ao invés de utilizar informações complementares de períodos de onda que, apesar de ser um variável importante, é mais dependente do desenho da estrutura da jaula, do projeto das amarrações e a orientação da jaula (Perez et al., 2003).

Comprimento de onda e período

O comprimento de onda e o período, que normalmente não são considerados para a seleção do local, são características importantes do efeito de onda ao projetar estruturas flutuantes no mar. As ondas de período mais longo produzem as cargas maiores nas amarrações e os maiores movimentos de deriva das jaulas, enquanto que as ondas com período mais curto produzem um deslocamento angular das articulações superior. Segundo Pond (1983) as cargas na jaula, associadas a um maior comprimento de onda são relativamente pequenas e, por outro lado, as forças máximas estão associadas a ondas mais curtas e mais frequentes geradas por tempestades locais (Pond and Pickard 1983). A força dinâmica nas linhas de ancoragem diminui significativamente com o aumento dos comprimentos de onda. À medida que o comprimento de onda aumenta, a profundidade na qual a carga de onda atua também aumenta, afetando a distribuição de forças nas estruturas em diferentes profundidades. Perez et al., (2003) sugerem que uma melhoria adicional no seu modelo poderia incluir o uso combinado das alturas de onda e períodos de onda. Alguns locais escoceses banhados pelo Oceano Atlântico apresentam grande intensidade de ondas, o que causa descalcificação nos peixes e consequentemente alta mortalidade devido ao movimento excessivo da jaula (Beveridge 2004). Perez et al., (2003) reconhecem que, para locais não oceânicos, a inclusão de dados atuais, juntamente com a batimetria e o declive dos fundos marinhos, melhoraria a caracterização das condições marinhas (Perez, Telfer, and Ross 2003).

Forças das ondas

As forças dinâmicas verticais impostas pelas ondas tendem a ser as mais importantes, pois exercem forças de flexão e torção. As forças de flexão são máximas em comprimentos de onda semelhantes à dimensão da jaula. Portanto, locais costeiros podem ser vulneráveis a forças, assim como, locais offshore. Tensões cíclicas impostas pela periodicidade das ondas podem causar fadiga nos membros da estrutura, o que pode ser mais significativo do que ocasionais ondas muito grandes. Assim sendo, locais costeiros podem ser piores do que locais offshore (Beveridge 2004).

A modelação de forças dinâmicas que atuam nas estruturas das jaulas de aquacultura é um assunto complexo e em evolução. No entanto, pode ser uma grande ajuda na seleção de

estruturas para que correspondam aos requisitos marítimos, tanto a nível de exigências físicas, como biológicas para uma operação *offshore*.

Existem várias fórmulas para estimar a força horizontal máxima das ondas no ponto central de objetos de grandes dimensões e várias geometrias (Silvester 1974). De acordo com Ágústsson (2004), a estimativa mais comumente aplicada é a Equação de Morison (Equação 2.3), que é geralmente aplicada a estruturas offshore delgadas (Ágústsson 2004).

$$F = C_M \cdot \rho \cdot V \cdot a + \frac{1}{2} \rho l^2 C_D v |v| \quad (2.3)$$

Onde:

F , é a força horizontal de onda [N]
 ρ , é a massa específica de água [kg/m³]
 l , é o comprimento do objeto [m]
 C_M , é massa efetiva de fluido que envolve o objeto
 V , é o volume deslocado do fluido [m³]
 a , é a aceleração de fluido [m/s²]
 C_D , é o coeficiente de arrasto, e
 $v |v|$ é a velocidade do fluido quadrada [(m²/s²)].

O primeiro termo da equação de Morison, que corresponde à força de inércia, é a força necessária para manter o objeto, sujeito a uma aceleração de fluxo livre, constante no lugar. O segundo termo, a força de arrasto é a força necessária para manter o objeto, sujeito a uma corrente, com uma certa velocidade (Ágústsson 2004).

Fredriksson et al., (2003a e 2003b) sugerem o uso de uma versão modificada da equação de Morison para explicar o movimento relativo, entre os elementos estruturais e os fluidos circundantes, ou seja, coeficientes de arrasto e massa adicionada (inércia) (Fredriksson 2001).

A influência das forças de arrasto e inércia torna-se altamente dependente do tamanho e da forma da jaula, bem como das características das ondas. Quando falamos de jaulas esféricas, obrigatoriamente, teremos de prever oscilações. A deflexão da rede irá variar dependendo do tipo de jaula. Para a maioria das jaulas rígidas submersíveis, onde a rede é altamente tensionada, este fator pode não ser significativo. Da mesma forma, a distribuição de forças sobre a superfície das estruturas varia e o efeito da distribuição do peixe na jaula também necessita de ser levado em consideração (Ágústsson 2004).

2.4.2.4 Vento

O vento é responsável por aproximadamente 5% a 10% do total de forças que atuam no sistema de ancoragem da jaula. O vento pode ter um impacto direto sobre as jaulas e a sua atividade, ou seja, exercendo esforços de tração na rede, perturbando as embarcações que se movem à sua volta ou mesmo dispersando a ração fora das jaulas. Por exemplo, uma jaula circular de 30 m de diâmetro com uma rede de 1 m de altura tem uma área superficial aproximada de contato com o vento de 40 m² (Cardia and Lovatelli 2015).

O vento tem um impacto direto nas correntes e ondas que, como já foi referido afetam a atividade aquícola.

Os dados relativos ao vento estão geralmente disponíveis nas autoridades competentes do clima, e podem ser analisados e resumidos numa “rosa dos ventos” (Figura 21). A rosa dos ventos é uma ferramenta gráfica onde os registos estatísticos do vento, num dado local, são reportados. Ela fornece informações sobre velocidade, direção e ocorrência do vento observado.

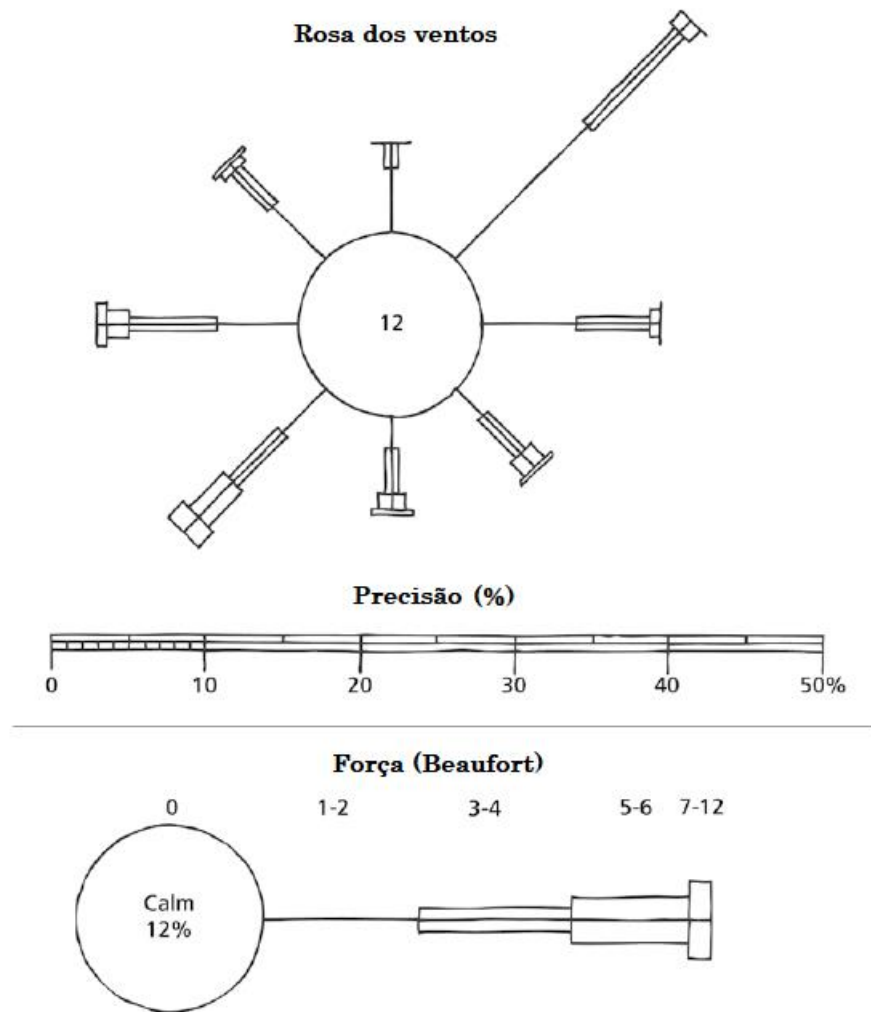


Figura 21 – Representação das observações históricas do vento num dado local, através de uma rosa dos ventos (Cardia and Lovatelli 2015).

Cada “braço” é a representação gráfica da velocidade e direção do vento (N, NE, E, SE, S, SW, W e NW). O comprimento representa a ocorrência, em percentagem de observações, e a espessura representa as classes de força do vento expressas na escala de *Beaufort* apresentada na Tabela 5. Esta escala apresenta treze níveis de intensidade, foi inventada em 1805 por *Sir Francis Beaufort* e é uma forma de avaliar a intensidade do vento por observação do estado do mar (Martinez-cinco 2008).

Tabela 5 – Escala de Beaufort (Martinez-cinco 2008)

Força (Escala de Beaufort)	Velocidade equivalente			Descrição	Especificações no mar
	mph	Nós	Km/h		
0	0 – 1	0 – 1	0 – 1	Calmo	-
1	1 – 3	1 – 3	1 – 5	Ar ligeiro	Ondulações com a aparência escalada são formadas, mas sem cristas de espuma.
2	4 – 7	4 – 6	6 – 11	Ligeira brisa	Pequenas <i>wavelets</i> , ainda curtas, mas mais pronunciadas. Cristas têm uma aparência vítrea.
3	8 – 12	7 – 10	12 – 19	Brisa gentil	Grandes <i>wavelets</i> , as cristas começam a quebrar, a espuma de aparência vítrea.
4	13 – 18	11 – 16	20 – 28	Brisa moderada	Pequenas ondas, <i>white horses</i> bastante frequentes.
5	19 – 24	17 – 21	29 – 38	Brisa fresca	Ondas moderadas, tomando uma forma mais pronunciada e mais longa, muitos <i>white horses</i> . Possibilidade de alguma pulverização.
6	25 – 31	22 – 27	39 – 49	Brisa forte	Grandes ondas, as cristas de espuma branca são mais extensas. Provavelmente alguns respingos de água.
7	32 – 38	28 – 33	50 – 61	Quase vendaval	O mar amontoa-se e a espuma branca das ondas começa a ser soprada em estrias ao longo da direção do vento.
8	39 – 46	34 – 40	62 – 74	Vendaval	Ondas moderadamente altas de maior comprimento, as bordas das cristas começam a transformar-se em fendas. A espuma é soprada em estrias bem marcadas.
9	47 – 54	41 – 47	75 – 88	Vendaval severo	Ondas altas. Densas estrias de espuma ao longo da direção do vento. Cristas de ondas começam a cair, cair e rolar.
10	55 – 63	48 – 55	89 – 102	Tempestade	Ondas muito altas com longas cristas salientes. A espuma resultante, em grandes manchas, é soprada em faixas brancas densas ao longo da direção do vento. Toda a superfície do mar assume um branqueamento. A "queda" do mar torna-se mais imensa e chocante. Visibilidade afetada.
11	64 – 72	56 – 63	103 – 117	Tempestade violenta	Ondas exceccionalmente altas (navios de pequeno e médio porte podem, por algum tempo, perder a visão por trás das ondas). A superfície é coberta com longas manchas brancas de espuma ao longo da direção do vento. Em todos os lugares, as bordas das cristas das ondas estão sendo sopradas em espuma. Visibilidade afetada.
12	73 – 83	64 – 71	118 – 133	Tornado	O ar é preenchido com espuma e respingos de água. Mar completamente branco; visibilidade muito seriamente afetada.

O vento é geralmente medido em nós, milhas por hora (mph) ou quilômetros por hora (km/h). No entanto uma classificação frequentemente usada é a Escala de *Beaufort*, onde uma escala de 1 a 12 representa uma gama de possíveis ventos, força e condições subsequentes do mar.

2.4.2.5 Solo oceânico

A morfologia do fundo do mar deve ser identificada e estudada de modo a classificar o tipo de sedimento e identificar as comunidades bentônicas. Tal análise é crucial para definir o sistema de amarrações e localizar *habitats* sensíveis (Cardia and Lovatelli 2015).

A importância de saber mais sobre o fundo do mar, do que apenas a camada superior, reside no facto da impossibilidade de posicionamento de âncoras. Assim sendo, conchas, ervas daninhas e ervas marinhas podem influenciar a seleção do local de ancoragem.

As composições mais comuns no leito marinho são geralmente relatadas em cartas marítimas, usando letras como símbolos para indicar o tipo de leito marinho. A Tabela 6 fornece uma lista de possíveis composições do leito do mar ao lado do símbolo apropriado usado nas cartas marítimas.

Tabela 6 – Símbolos indicativos do leito marinho em cartas náuticas (Cardia and Lovatelli 2015)

<i>Símbolo</i>	<i>Tipo de fundo</i>
S	<i>Sand</i>
M	<i>Mud</i>
Cy, Cl	<i>Clay</i>
G	<i>Gravel</i>
Co	<i>Coral</i>
Cb	<i>Cobbles</i>
Sn	<i>Shingle</i>
P	<i>Pebbles</i>
St	<i>Stones</i>
Rk, Rky	<i>Rock, Rocky</i>
Ch	<i>Chalk</i>
Sh	<i>Shells</i>
Wd	<i>Weed</i>
S/M	<i>Two layers (e.g. sand over mud)</i>

Em sedimentos macios ou “móveis” como está representado na Figura 22, ou seja, um fundo do mar arenoso ou enlameado é preferível usar âncoras de arado, representadas na Figura 23 (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).



Figura 22 – Fundo do mar arenoso (“Sandy Seabed - Pesquisa Google” 2018).



Figura 23 – Ancoras de arado (“Plow Anchors Animated - Pesquisa Google” 2015).

A espessura da camada macia do fundo do mar deve ser devidamente avaliada para permitir que a âncora afunde firmemente, tal como pode ser observado na Figura 24. Esta camada requer alguns metros, quer em comprimento quer em profundidade, permitindo assim, que a âncora seja arrastada adequadamente para o fundo do mar. A penetração profunda nesta camada é necessária para garantir que as forças aplicadas na âncora pela infraestrutura da jaula, sejam compensadas pela “mordida” pela própria âncora (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

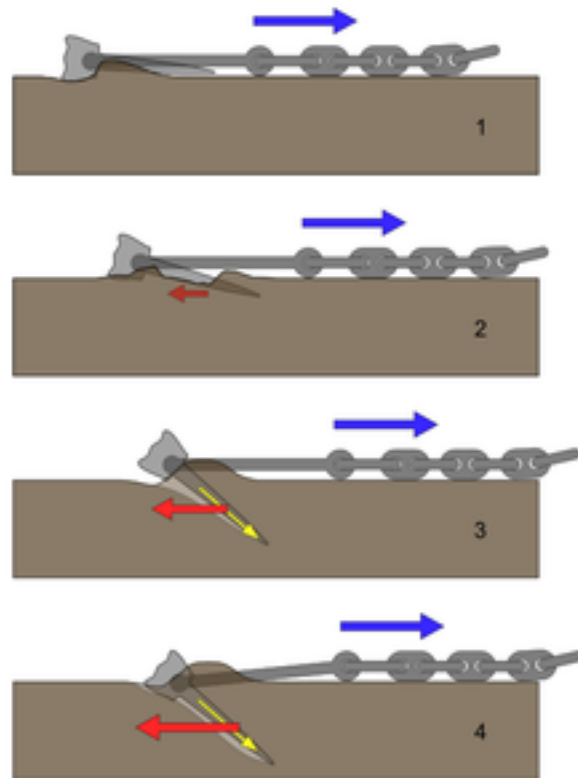


Figura 24 – Posicionamento da âncora em camadas arenosas no leito do mar (“THE ACTION OF A STOCKLESS ANCHOR BEING SET - Pesquisa Google” 2018).

Quando o fundo do mar apresenta fundos duros ou rochosos, ilustrados na Figura 25, a utilização de âncoras de arado não seria uma boa solução, pois a sua penetração seria árdua. Desta forma, neste tipo de morfologias são preferencialmente utilizadas âncoras de gravidade. Uma boa prática nestes casos é usar blocos de betão.



Figura 25 – Fundo do mar rochoso (“Rocky Seabed - Pesquisa Google” 2018).

Os blocos de betão devem ser fabricados com um reforço interno de aço, ter uma base maior que a altura, ter anéis de aço salientes adicionais. Estes detalhes de construção são usados para aumentar o desempenho do bloco de betão, aumentando sua aderência na parte inferior e ao mesmo tempo, alargando a vida útil do componente.

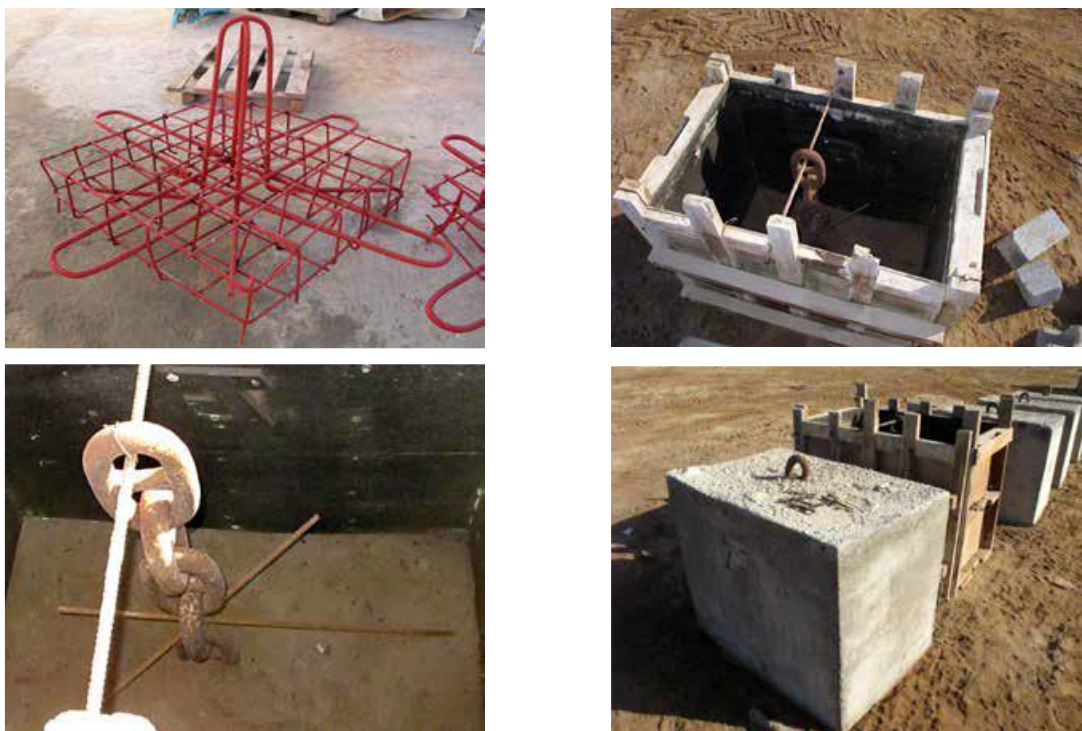


Figura 26 – Construção de ancoras de gravidade em blocos de betão (Cardia and Lovatelli 2015).

O leito do mar pode ser inutilizável para ancoragem, ou a ancoragem pode ser proibida por outras razões além da natureza do leito marinho, como a presença de cabos, linhas telefônicas ou tubagens, áreas de despejo de explosivos ou locais históricos de naufrágios. Estas limitações devem ser indicadas na carta náutica ou recorrer à guarda costeira para obter este tipo de informações.

2.4.2.6 Fouling

O *fouling* adere à rede em formas muito afiadas que podem causar sérios danos por contato e abrasão na rede e nas cordas, levando a desgaste e eventual quebra.

Além de todos os riscos até aqui referidos, se a manutenção e a limpeza não forem realizadas periodicamente e de forma adequada, o peso aumenta drasticamente, originando uma tensão adicional nas estruturas que seguram a rede no lugar e no colarinho da superfície. O *fouling* torna a rede mais difícil de manusear aquando de uma substituição ou troca da mesma com um consequente aumento no stress do peixe cultivado na jaula durante o processo de mudança (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

2.4.3 Parâmetros legais e logísticos

2.4.3.1 Logística

A distância entre o local das jaulas e as instalações terrestres necessárias afeta diretamente os custos operacionais. Uma distância excessiva implicará:

- maiores tempos de transferência e, portanto, menos tempo para trabalhar nas jaulas;
- maiores custos de combustível;
- maiores riscos durante o transporte de alevinos.

A distância pode representar um fator limitante se ocorrer uma emergência nas jaulas, por exemplo em caso de acidentes ou danos nas redes. O tempo necessário para responder deve ser o mais curto possível de forma a minimizar as perdas (Cardia and Lovatelli 2015).

As infraestruturas disponíveis nos locais aquícolas devem ser identificadas para avaliar possíveis vantagens ou desvantagens relacionadas com a sua localização. Estes podem incluir:

- estradas;
- cais ou portos;
- espaço de trabalho disponível em terra;
- disponibilidade de armazenamento ou armazém.

2.4.3.2 Minimização do impacto com outros utilizadores

A aquacultura em zonas costeiras pode coexistir com outros utilizadores do ambiente marinho. Como tal, há probabilidade de ocorrência de conflitos com pessoas que exerçam legitimamente pesca e pesca desportiva, transporte de mercadorias, abastecimento de combustível, turismo e turismo de mergulho e outras utilizações visíveis do ambiente marinho a ter lugar em áreas que também são adequadas para a aquacultura (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

Comunidades pesqueiras

Conflitos com a pesca podem surgir principalmente na competição espacial. Áreas tradicionalmente exploradas por comunidades de pescadores locais podem ser adequadas para a aquacultura, levando ao uso competitivo e à necessidade de um compromisso. Idealmente, limitar o acesso em áreas de pesca tradicionais aos pescadores, apenas, limitará as discussões e confrontos entre o setor da pesca e os aquicultores.

Proximidade de áreas turísticas

As interações com a aquacultura podem gerar conflitos e protestos contra as instalações aquícolas, tanto em terra como no mar. O estudo de seleção do local deve ter em consideração esse aspeto e analisar o setor turístico na área.

Proximidade de atividades aquícolas em terra

Os níveis bacterianos de fundo podem aumentar em torno das jaulas de peixes e a qualidade da água também pode ser afetada localmente o que, por sua vez, pode causar problemas nas jaulas que usam esse abastecimento de água. Portanto, a licença para jaulas de peixe deve estar localizada a uma distância apropriada.

Outras atividades industriais

As descargas e as saídas provenientes de áreas fortemente industrializadas podem levar a uma deterioração da qualidade da água.

2.4.3.3 Restrições espaciais

Certas áreas restritas podem não ser facilmente identificadas e podendo incluir, por exemplo, linhas de cabos submarinos, enquanto que outras serão mais óbvias, como áreas de ancoragem de navios.

Áreas de interesse arqueológico devem ser evitadas, pois as ruínas ou outros achados podem ser danificados por atracação submarina ou por construções na terra. Áreas protegidas, como parques naturais ou patrimónios, devem ser evitadas para reduzir qualquer tipo de ameaça para as áreas protegidas. Devem ser evitados pontos de descarga e saídas submarinas ao longo da

costa e a área da licença deve estar localizada a uma distância de pelo menos 1 km destes pontos. Áreas com cabos ou condutas submarinas devem ser destacadas no mapa do projeto e não devem ser instaladas amarras ou jaulas que possam interferir nos cabos (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

2.4.3.4 Área de navegação regulamentada

As áreas de ancoradouro de embarcações são frequentemente localizadas nas proximidades de portos, estreitos ou áreas industriais e podem ser alocadas para navios porta-contentores e outros navios de transporte, incluindo o abastecimento de petróleo. Estas áreas são usadas como um suporte de ancoragem para gerar o fluxo de tráfego. Tais áreas são geralmente indicadas em cartas marítimas e não podem ser ocupadas por frotas de jaulas de aquacultura, visto que, apresentam perigo de colisão claro.

Rotas de navegação ou vias de embarque para navios (petroleiro, navio de cruzeiro, navio de carga, etc.) também serão indicadas nos mapas e apresentam risco de colisão. No caso de estar perto de uma via de remessa ou de uma rota regular de barco, recomenda-se que os locais da jaula estejam equipados com luzes de navegação, para torná-los visíveis à noite. Uma outra razão para que a aquacultura não possa ser efetuada nestas áreas passa pelo facto das grandes embarcações perturbarem a produção de peixe devido às ondas criadas pelos navios e ao ruído subaquático do motor e da hélice que causam *stress* nos peixes (Cardia, Ciattaglia, and Corner 2017).

2.4.3.5 Áreas militares

Qualquer área designada como zona militar ou área militar protegida não pode ser seleccionada como um local potencial. Zonas interditas a áreas marítimas de navegação ou de tiro ao alvo onde a atividade de aquacultura de jaulas não pode ser desenvolvida.

2.5 Jaulas de aquacultura

Nos tempos correntes, os avanços tecnológicos aliados à extensa procura tornaram a aquacultura um tema apelativo de estudo e investimento e, como tal, as soluções tecnológicas deste setor são expressas num mercado diversificado (Edwards 2015). A evidência de numerosas marcas de equipamentos, desde jaulas a barcos de apoio, permite uma adaptação a qualquer requisito imposto pelas condições do local de exploração.

2.5.1 Tipos de jaulas

Tabela 7 – Resumo dos tipos de jaulas, características e modelos existentes (Scott and Muir 2000)

<i>Classificação das jaulas</i>				
Estrutura	Modo Operacional	Vantagens	Desvantagens	Modelos
Flexível	Flutuante	- Sistema de fixação da rede testado e aprovado; - Variedade de configurações; - Custos reduzidos para elevados volumes; - Facilidade de ampliação.	- Resistência moderada a ondas e correntes; - Riscos elevados em mar aberto; - Ausência de estruturas de suporte operacional.	<i>Corelsa®</i> <i>Aqualine®</i> <i>Fusion marine®</i> <i>OceanSpar net systems®</i>
	Semi Submersível	- Área de instalação reduzida; - Facilidade de operação; - Submersão automática em caso de tempestades; - Relação preço/volume reduzido.	- Reduções de volume até 25%; - Sistema de lastro difícil de instalar; - Alimentação pouco eficiente.	<i>Refa®</i> <i>Technosea®</i>
Rígida	Flutuante	- Plataforma operacional estável; - Capacidade de armazenagem; - Capacidade de instalar sistemas automáticos de alimentação.	- Difíceis de instalar; - Resistência moderada; - Elevados custos de manutenção; - Elevado capital inicial de investimento.	<i>Cruive®</i> <i>Pisbarca®</i>
	Semi Submersível	- Volume estável; - Capacidade de submergir; - Capacidade de integração de sistemas automáticos de alimentação; - Sistema provado comercialmente.	- Capital de investimento elevado; - Complexidade de operação e manutenção; - Necessita de mergulhadores a tempo inteiro.	<i>OceanSpar</i> <i>Sea Station®</i> <i>Farmocean®</i>
	Submersível	- Volume estável; - Impacto visual mínimo; - Capacidade de emergir.	- Dificuldade de operação e manutenção; - Capital de investimento elevado.	<i>Trident®</i> <i>Sdaco®</i> <i>Seatreck®</i>

2.5.1.1 Gravity cages (flutuantes ou submersível)

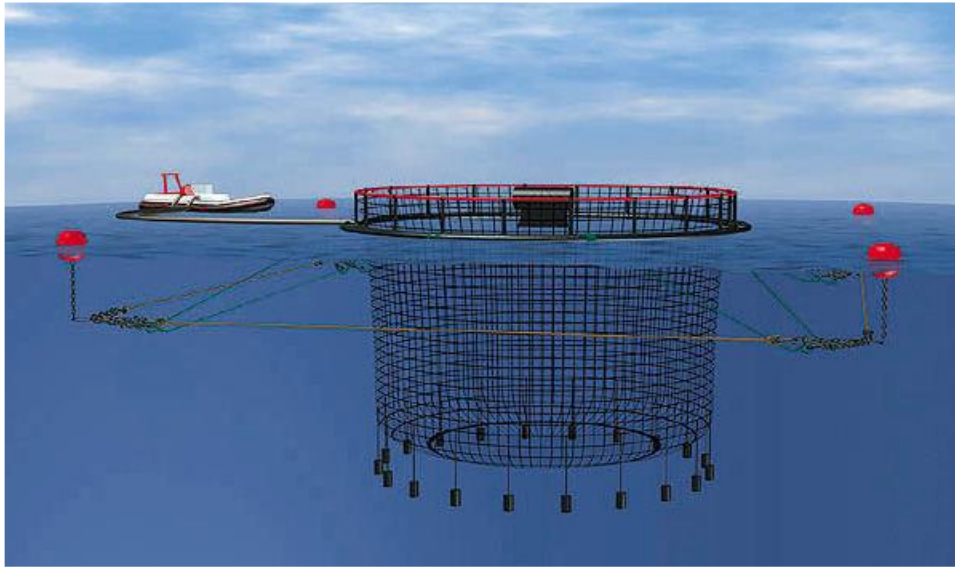


Figura 27 – Jaula submersível PolarCirkel® projetada para locais sujeitos a condições meteorológicas desfavoráveis, poluição, proliferação de algas, amplas variações de temperatura, incrustações, congelamento e gelo flutuante (James and Slaski 2006).

- Descrição

Sistema de colarinho flutuante agregado a uma rede com pesos por baixo da mesma com a função de impor uma força vertical mantendo a estrutura dentro da forma pretendida, podendo esta ser circular ou quadrada (Figura 27).

- Exemplos

Kames (Escócia), Bridgestone (Japão), Dunlop (Irlanda), Marine Construction (Noruega), PolarCirkel (Noruega).

- Construção

Colarinhos flutuantes podendo ser feitos de madeira, metal e plásticos/borracha, onde as redes são acopladas, ficando suspensas por pesos colocados na base, tal como pode ser observado na Figura 27. Os colarinhos são projetados, nestes casos para servir de apoio à rede e não para que sejam efetuadas operações a partir dos mesmos. As intervenções devem ser efetuadas a partir de embarcações ou balsas de apoio.

- Volume

A maior jaula da Bridgestone, e de forma similar a Dunlop e a PolarCirkel, atualmente disponível apresenta como volume mais de 40000m³ (James and Slaski 2006).

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Grande resiliência para com a força das ondas permitindo longos períodos de uso	Os postes podem causar problemas de torção
Boa resistência ao impacto	Relativamente caros para pequenos volumes
Sistema de suspensão de rede eficaz e comprovado	Acesso a saídas limitado
Variedade de configurações possíveis	Difícil posicionamento da rede superior e sistemas de alimentação
Relativamente barata para grandes volumes	Serviço de grandes embarcações necessário
Sistema mais utilizado a nível mundial	-

2.5.1.2 Gravity cages flutuantes com o colarinho submerso

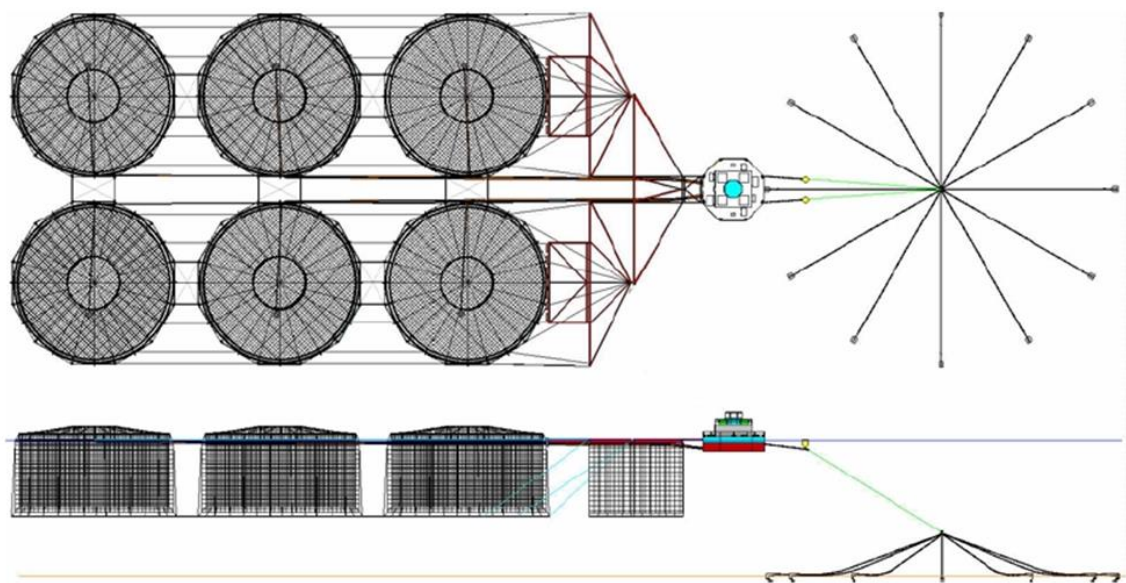


Figura 28 – Conjunto de seis jaulas anexadas e ligadas a uma barça de alimentação e serviço, com um único ponto de ancoragem (James and Slaski 2006).

- Descrição

Sistema de colarinho circular com a parte inferior da rede presa na estrutura rígida (Figura 28).

- Exemplos

Canadian Aquaculture Engineering Group (Canada).

- Construção

Atualmente em desenvolvimento, este sistema utiliza jaulas de colarinho de plástico relativamente convencionais dispostas em frotas de seis ou oito jaulas, fixadas na sua base a uma estrutura rígida. Um novo design de amarração de ponto único protege a estrutura e a embarcação de alimentação.

- Volume

Cada jaula proporciona um volume de 12000 m³. Uma frota de jaulas pode conter um volume total compreendido entre 72000 e 96000 m³ (James and Slaski 2006).

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Sistemas de alimentação automáticos e capazes de alimentar os peixes debaixo de água	Grande necessidade de espaço
Baixo custo associado ao uso de tecnologia inovadora nas amarrações	-
Sistema desenvolvido por uma empresa altamente experiente no desenvolvimento de tecnologias associadas a condições extremas	-

2.5.1.3 Gravity cages semissubmersíveis



Figura 29 – *Farmocean* (James and Slaski 2006) e (Scott and Muir 2000).

- Descrição

Sistema com uma estrutura rígida que proporciona movimento e alteração de volume limitados em resposta a forças externas. A estrutura é semissubmersível com a rede suspensa por baixo do colarinho pela força da gravidade. Sistemas de alimentação podem ser acrescentados tornando o sistema mais autossustentável (Figura 29).

- Exemplos

Farmocean (Suíça), *Storm Havbruk* (Noruega).

- Construção

Construção em aço, consistindo num colarinho e uma série de raios de aço, tubulares, irradiados com um certo ângulo para cima, encontrando-se no centro para formar uma plataforma que suporta uma cápsula de manutenção e um silo de alimentação. O colarinho e as longarinas contêm elementos de flutuação que podem ser parcialmente inundados para permitir que a estrutura da jaula seja emersa ou imersa. Ao localizar o volume principal da jaula abaixo da superfície evitam-se os efeitos das tempestades. A amarração é efetuada por meio de um sistema fixo de três pontos. A rede é anexada ao interior da armação e a sua forma é mantida com um tubo de aço suspenso no anel do pontão principal. *Zips* industriais são usados para permitir o acesso dentro da jaula e podem ser usados para permitir a troca de painéis. O silo de alimentação possui uma capacidade de armazenamento de três toneladas.

- Volume

A *Farmocean* apresenta um volume de 2500 a 6000 m³ (James and Slaski 2006).

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Testado e experimentado num longo período, numa variedade de situações e em condições extremas	Custos elevados
Apresenta provas de um longo período de uso	Difícil acesso na colheita
Sistemas de alimentação integrados	Dificuldade na limpeza/substituição das redes
Volume estável	Estrutura complexa com necessidade de cuidados contra a corrosão e necessidade de uma manutenção regular
Uma boa <i>performance</i> no <i>stock</i>	Área de superfície limitada quando submersa para alimentação de superfície

2.5.1.4 Gravity cages totalmente submersíveis



Figura 30 – SADC (James and Slaski 2006).

- Descrição

Jaulas capazes de submergir totalmente (Figura 30).

- Exemplos

SADCO Shelf (Russia), *Trident* (Canada), *Marine Industries Investments* (MII) (Israel).

- Construção

Uma estrutura rígida de aço tubular, na qual a rede e o anel de peso estão suspensos. O sistema da jaula é totalmente submersível e está equipado com um silo de alimentação.

SADCO - Os modelos atuais (*SADCO-500/1200/2000*) baseiam-se numa superestrutura hexagonal em aço com lastro, que transporta a rede, a qual é mantida na sua forma por um tubo rebaixador inferior. O quadro também transporta um alimentador com volume de 1500 litros (*SADCO 50*), que pode operar debaixo de água (James and Slaski 2006).

Trident – Este sistema foi desenvolvido na costa Este do Canadá para lidar com a formação de gelo no inverno. A jaula é totalmente submersível e possui uma estrutura de formato geodésico quase esférica (elipsoide) feita a partir de unidades de estrutura tubular simples e de espuma de alumínio naval de alta resistência (6063T6) conectadas com laços estruturais especialmente projetados para o efeito. A rede é anexada diretamente à armação. Tal como acontece com outras estruturas geodésicas, isso oferece simplicidade estrutural, boa relação resistência-peso e um volume eficiente. A deformação estrutural muito limitada garante que a rede seja mantida esticada em todos os momentos. A jaula tem flutuabilidade variável e com uso normal também pode ser localizada com a parte superior à superfície (James and Slaski 2006).

Marine Industries Investments - Essencialmente trata-se de um sistema convencional de aço rígido submersível, mas com estrutura subaquática para manter a forma líquida. Os aglomerados de jaulas podem ser fixados com uma amarração de ponto único através de uma boia de serviço que controla as funções de submersão e alimentação. O sistema foi projetado para funcionar em conjunto com uma traineira offshore e satisfaz todas as necessidades de infraestrutura (James and Slaski 2006).

- Volume (James and Slaski 2006)

SADCO apresenta um volume até 2000m³.

Trident pode apresentar 1000, 4000 e 5000 m³, mas pode ser aumentado até 10000 m³.

MI engloba um conjunto que pode ir até 8 jaulas com um volume total de até 3400m³.

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<i>Designs</i> submersíveis que permitem evitar gelo, a passagem de embarcações e detritos de superfície	Baixa visibilidade no estado normal
Impacto visual mínimo	Métodos de manutenção para este tipo de jaulas estão ainda em desenvolvimento
Evita totalmente os efeitos de tempestades	Custo relativamente elevado
A nível de resistência da estrutura não necessita de respeitar um critério tão exigente como as soluções de superfície	Difícil de operar

2.5.1.5 *Anchor tension ages and enclosures*

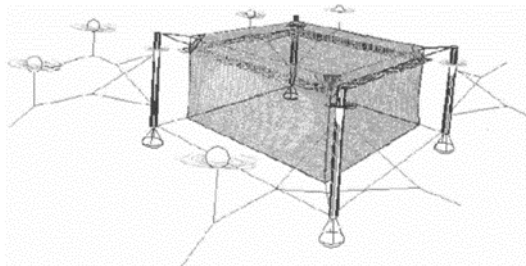


Figura 31 – Diagrama da *Ocean Spar net pen* (Scott and Muir 2000).

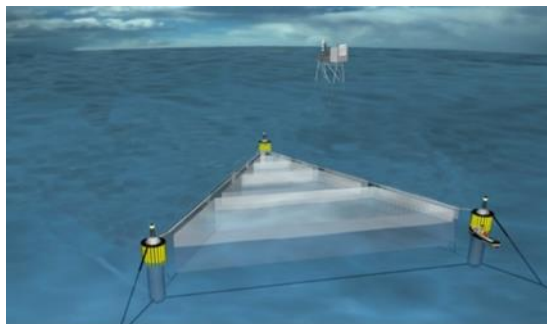


Figura 32 – Diagrama de segmento conceptual do *Maris Platform Fish Ranch* (James and Slaski 2006).

- Descrição

Os compartimentos de rede da jaula mantêm o seu formato e volume devido à tensão criada pelo sistema de ancoragem (Figura 31 e 32).

- Exemplos

Ocean Spar net (US), *Maris Platform Fish Ranch* (UK).

- Construção

Ocean Spar Net - Este é um sistema flexível onde o volume da caixa de rede hexagonal é mantido sendo tencionado contra seis mastros de aço verticais. Uma vasta variedade de formas pode ser adotada neste tipo de jaulas desde quadrados a polígonos.

Marine Platform Fish Ranch - Uma estrutura de rede semelhante a uma teia, com o volume do invólucro mantido por um sistema de boias espaciais especializadas e tensionadas numa jaula hexagonal triangular ou composta subdividida. A estrutura da jaula é projetada para ser semissubmersível.

- Volume (James and Slaski 2006)

Ocean Spar net pens – jaulas de 15000 e 20000 m³ no entanto podem ir até os 60000m³.

Marine Platform Fish Ranch – Cada jaula triangular apresenta 400000m³ que num complexo hexagonal pode ir até os 2.4 milhões de m³.

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Retém 90% do volume líquido mesmo com correntes fortes (até 1,75 m/s)	Sistema de amarrações relativamente complexo
Baixo impacto visual à superfície	Dificuldade na mudança das redes
Eficaz contra predadores devido à tensão nas redes	Poucos sistemas testados comercialmente
Potencialmente rentável, especialmente em grandes volumes	Sem saídas de emergência
Pode ser afixada uma rede superior	Impossibilidade de anexar um sistema de alimentação
Variedade de configurações possíveis	Necessário utilizar embarcações de grandes dimensões para apoio e manutenção

2.5.1.6 Jaulas semirrígidas

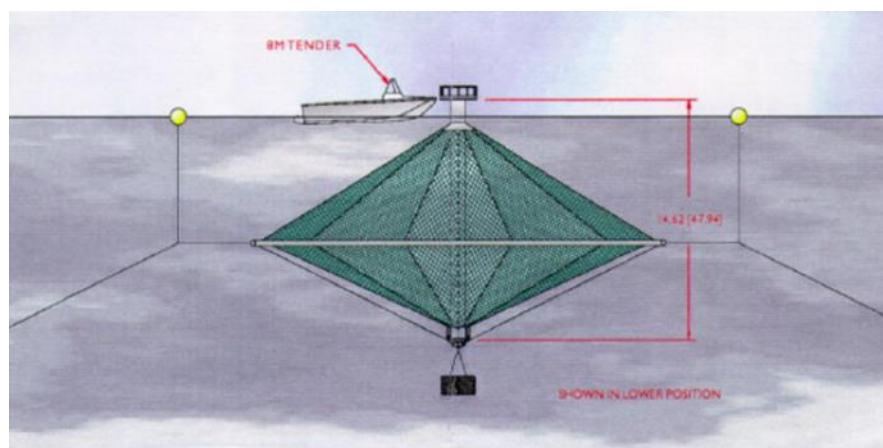


Figura 33 –*Ocean Spar Sea Station* (Scott and Muir 2000).

- Descrição

A estrutura da jaula é mantida por cabos que unem as partes de aço entre si (Figura 33).

- Exemplos

Submersible Ocean Spar Sea Station (US).

- Construção

O volume do invólucro é mantido devido à tensão sobre a estrutura que consiste numa longarina de aço central dentro de um colarinho de aço circular unido com cabos tensionados não esticáveis. A longarina vertical de tubo de aço fornece flutuabilidade e distribui cargas para a rede e a borda tubular circular através de linhas de enquadramento radiantes.

Uma outra versão do projeto possui dois anéis tubulares, separados verticalmente, para aumentar a profundidade e o volume do sistema. As redes e as linhas de enquadramento usam fibras que maximizam a resistência, reduzindo as dimensões da secção e o arrasto do sistema. O aro de aço tubular mantém a forma da rede e também possui capacidade de lastro. A jaula pode ser totalmente submersa através da variação da impulsão na longarina central, ao contrário da Farmocean, em que parte do volume permanece acima da superfície. Uma pequena plataforma no topo da longarina central permite alimentação, acesso e controlo. Sistemas maiores poderiam potencialmente incorporar controladores de armazenamento e serviço de alimentação. O sistema está ancorado na longarina central permitindo configurações de ponto único ou fixas.

- Volume

O modelo normal apresenta um volume de 3000 m³, no entanto as versões maiores podem apresentar um volume de 6000 a 8000 m³.

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Formato e estrutura únicos	Elevado custo de capital para os atuais volumes
Semissubmersível ou totalmente submersível	Ainda não está totalmente provado e comprovado a nível comercial
Distorção estrutural mínima com as correntes	Alimentação eficiente e uma mudança de redes de forma fácil serão marcos difíceis de alcançar
Capacidade de colheita integral	-
Facilmente rebocável	-
Sistema de amarração simples	-

2.5.1.7 Jaulas rígidas



Figura 34 – Quinta de aquacultura *offshore* de *Campbeltown Developments Ltd.* – *Cruive* (James and Slaski 2006).



Figura 35 – Plataforma de piscicultura da *Marine System Iberica* – *Cultimar* (James and Slaski 2006).



Figura 36 – *Cripesa* da *Marine System Iberica* (Scott and Muir 2000).

- Descrição

A estrutura da jaula é feita de aço ou outros materiais rígidos (Figura 34, 35 e 36).

- Exemplos

Surface – Aquasystem 104 (Noruega), *Pisbarca, Cripesa and Cultimar – Marina System Iberica* (Espanha) e *Cruive – Lithgow Group* (Escócia).

- Construção

Uma estrutura sólida e maciça, geralmente em aço com vários graus de lastro, e às vezes em cimento, é usada para suportar a rede. Estes sistemas de jaulas são projetados para se tornarem resistentes à ação das ondas e não compatíveis com elas. A maioria dos projetos incorpora sistemas de alimentação, guindastes, armazéns, geradores e quartos de funcionários. Alguns sistemas também são autopropulsores.

Pisbarca e *Cripesa* – projetadas em torno de módulos individuais de planta hexagonal, com colunas de flutuação cilíndricas verticais e uma plataforma de estrutura de aço, onde podem ser alojados vários elementos da superestrutura, incluindo equipamentos de elevação, armazéns, unidades de acomodação.

Cultimar – Plataforma flutuante construída com base numa estrutura tubular de aço composta por 9 jaulas de 50m x 50m quadradas.

Cruive – A estrutura padrão é de 45 m x 45 m e oferece 4 jaulas de 20 m x 20 m por 20-25 m de profundidade. A estrutura pode ser equipada com alimentadores, guindastes e equipamentos de manuseio de rede.

- Volume

Aquasystem 104 – Estrutura do tipo de um navio com 136 m de comprimento por 32 m de largura capaz de albergar 12 jaulas compartimentadas de 2000 m³.

Pisbarca e *Cripesa* – Estrutura com a forma hexagonal de aço com 7 jaulas, capazes de produzir 250 toneladas por ano, com um volume de 10000m³.

Cultimar – Volume total estimado em 18000 m³.

Cruive – Volume de 32000 a 40000 m³.

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Plataforma estável para todas as operações necessárias aumentando assim a segurança para o operador com um aumento de eficiência	Atendendo ao tamanho destas estruturas torna-se necessário o apoio de um bom porto e de um reboque adequado
Potencial para colheita e alimentação integral	Em condições extremas podem ocorrer falhas estruturais
Pode oferecer apoio a outros tipos de jaulas na área	Sistemas de ancoragem e amarrações com uma grande capacidade
Incluem locais para navios atracarem	Custo relativamente elevado, com um acréscimo devido à necessidade corrente de manutenção e proteção das estruturas
A construção e reparação deste tipo de jaulas pode ser efetuado em estaleiros convencionais	Histórico comercial limitado

2.5.1.8 Jaulas rígidas esféricas

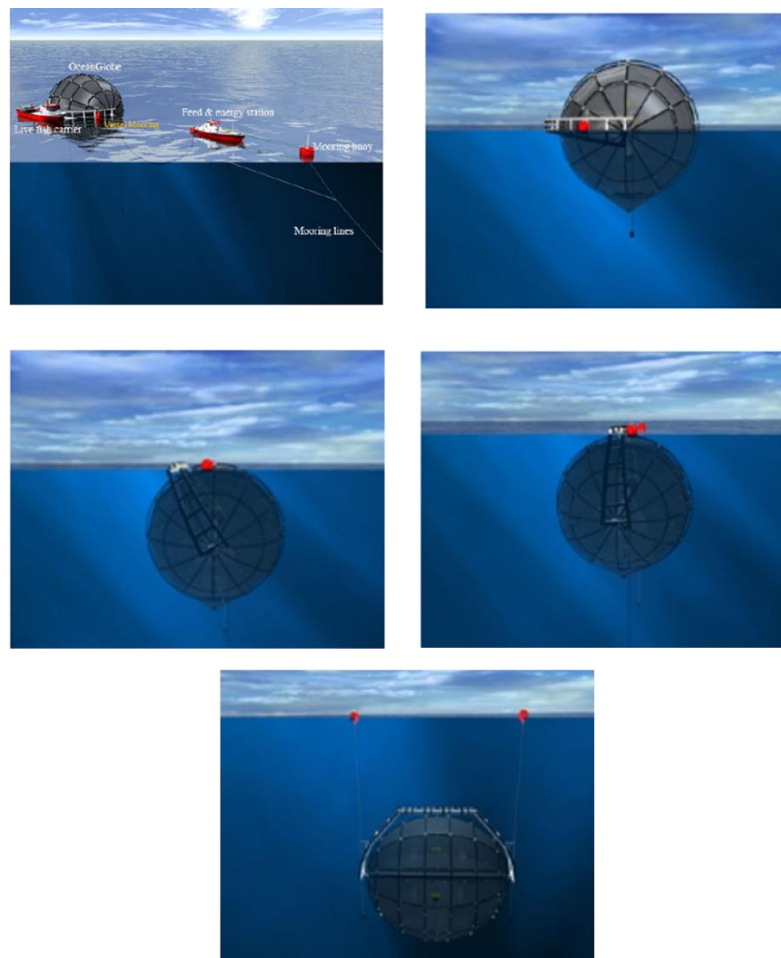


Figura 37 – OceanGlobe (James and Slaski 2006).

- Descrição

Uma estrutura em material polimérico projetada para suportar um invólucro de rede esférica com uma plataforma opcional que gira em torno do eixo principal da jaula (Figura 37).

- Exemplos

Byks OceanGlobe (Noruega).

- Construção

A OceanGlobe é uma estrutura aquícola offshore ancorada por um só ponto, elipsoidal, fechada e submersível com um polo central contínuo, uma forma de ferradura circundante.

A estrutura da jaula é construída por tubos de plástico, enquanto que o polo central e outros componentes da estrutura são feitos de aço. As jaulas podem ser subdivididas internamente para fornecer dois ou três compartimentos menores.

- Volume

O volume máximo permitido por estas estruturas é de 40000 m³. No entanto, unidades de 23000 e 12000 m³ estão também previstas.

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Possibilidade de atracar embarcações de apoio.	Dificuldades na manutenção e remoção de redes
A estrutura pode ser totalmente submersa evitando efeitos adversos das tempestades ou em mares mais revoltos	Estrutura algo complexa o que acarreta custos mais elevados
Imersão com 10% da estrutura emersa formando assim uma bolsa de ar para possibilitar a vida de espécies anádromos em longos períodos de imersão	Sistema ainda não testado comercialmente

2.5.1.9 Jaulas *tension-leg*

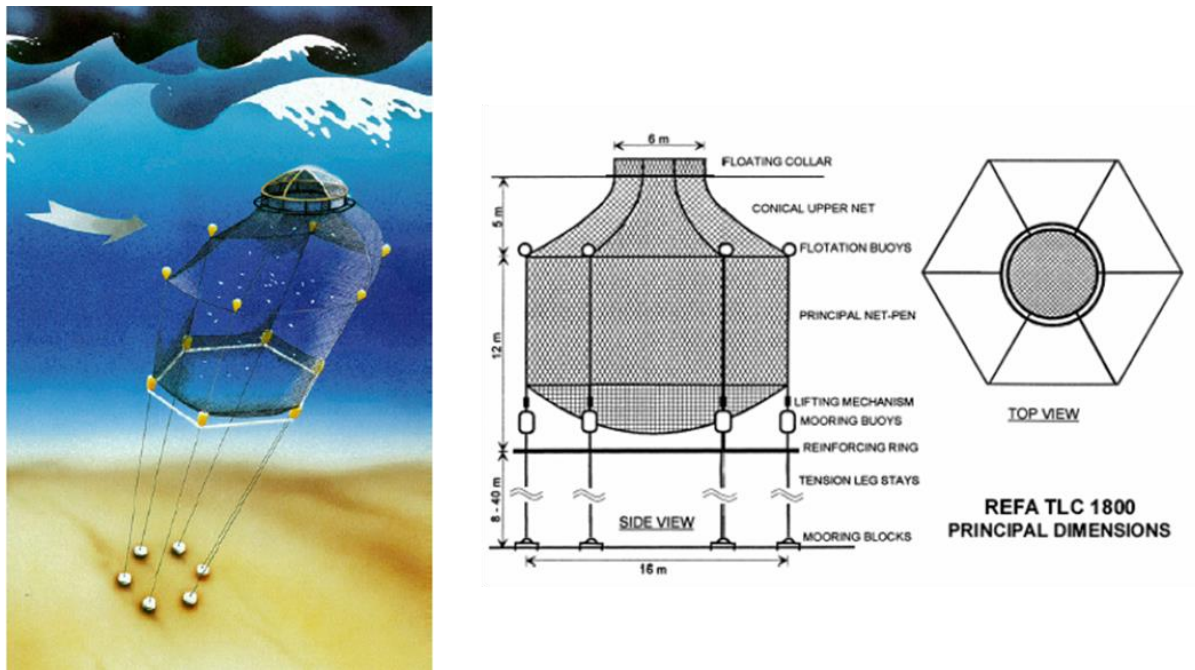


Figura 38 – RefaMed (Scott and Muir 2000).

- Descrição

Um pequeno colarinho de flutuação na superfície sem linhas de ancoragem conectadas, é ligado à rede de subsuperfície maior, mantida por um anel na parte inferior, de forma a que as pernas se mantenham espaçadas (Figura 38).

- Exemplos

RefaMed (Itália).

- Construção

Este tipo de jaula de gravidade invertida evita muitos dos problemas de tensão causados pela ação do vento e das ondas na superfície. As jaulas estão amarradas na base e, portanto, deformam-se com a corrente predominante.

RefaMed - uma estrutura flutuante circular de plástico mantém a rede no lugar correto através de cordas de amarração verticais. Estas cordas de ancoragem derivam de blocos de betão posicionados no leito do mar, acima dos quais a rede é mantida em suspensão por boias subsuperficiais. Uma secção cónica superior permite o acesso através de um colarinho no topo da jaula. O design é simples e não há componentes estruturais metálicos. O cone superior pode ser removido e a jaula levantada para colheita e mudança de rede.

- Volume

Existem vários tamanhos e o volume máximo poderá ir até os 10000 m³.

- Vantagens e desvantagens (Scott and Muir 2000)

Vantagens***Desvantagens***

Design simples	A forma ideal para a alimentação seria à superfície o que leva à necessidade de um sistema extra para que isto seja possível
Custo relativamente reduzido	Sistema de ancoragem difícil de instalar
Área de ancoragem mínima	-
Combina características convencionais deste tipo de jaulas com a proteção contra condições extremas	-
Redução de volume não maior que 25% com as correntes/tempestades	-
Resposta automática a tempestades permitindo um afundamento da jaula	-

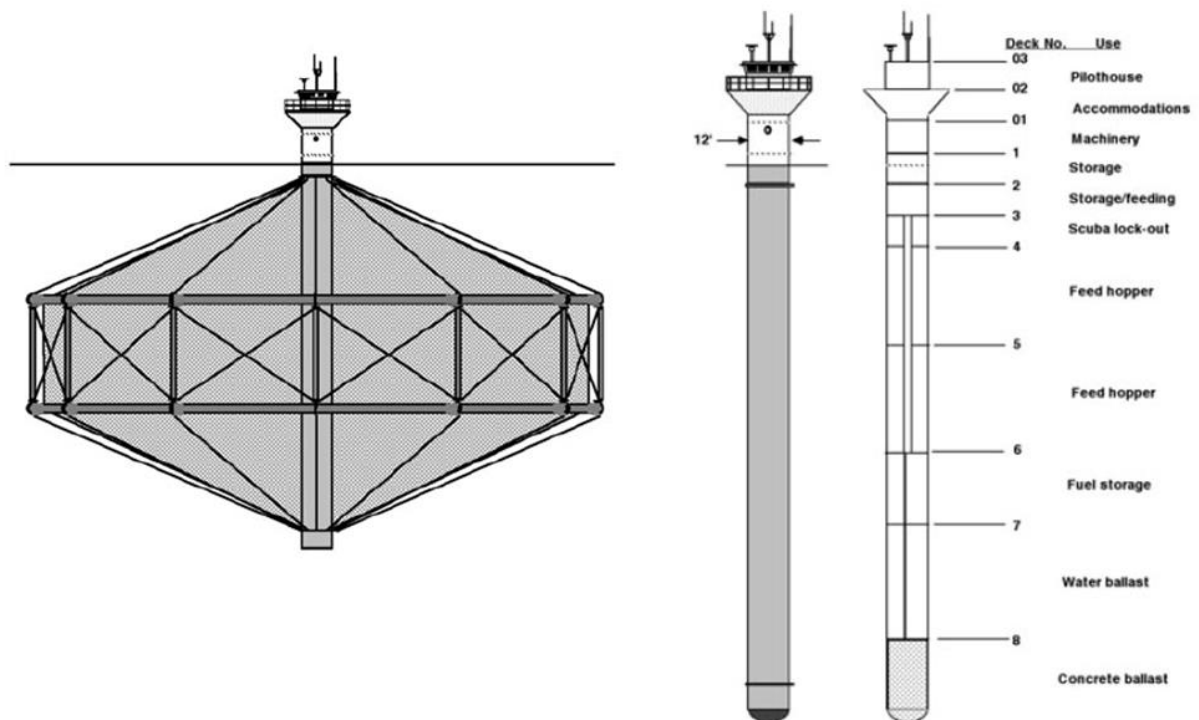
2.5.1.10 *Untethered cages*

Figura 39 – Diagrama da vista lateral e vista detalhada do mastro central do sistema *Ocean Drifter* (James and Slaski 2006).

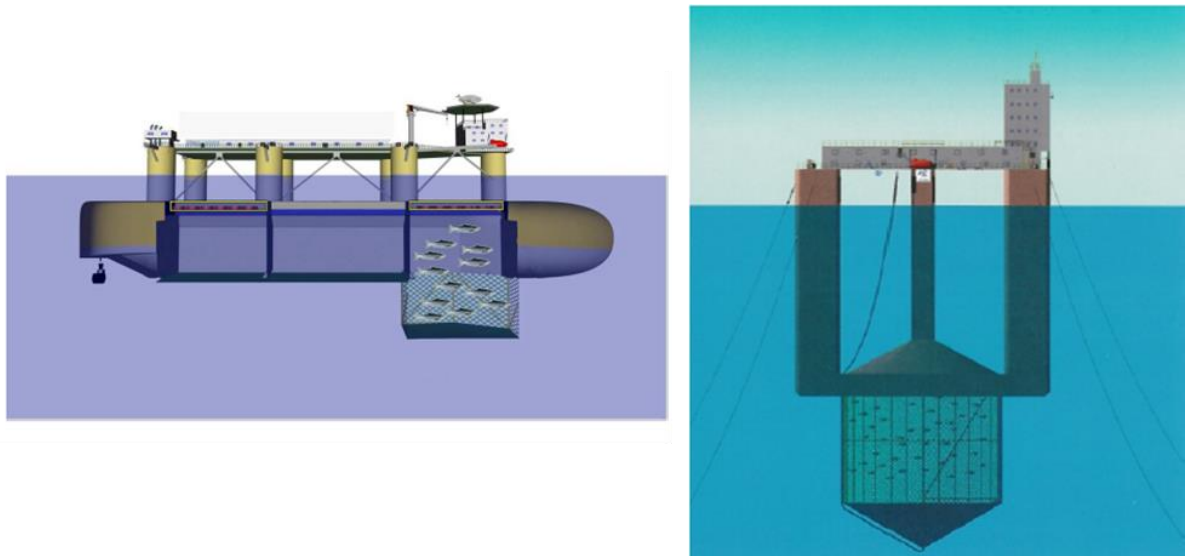


Figura 40 – Navio e plataforma *Izar Fene Semi-submersible tuna/Restocking* (James and Slaski 2006).

- Descrição

Estruturas não ancoradas de compartimentos de rede desenhados para serem arrastados para mar alto por baixo de um navio ou plataforma (Figura 39 e 40).

- Exemplos

Surface – Ocean Drifter (US), Izar Fene Semi-submersible tuna/restocking ship/platform (Espanha)

- Construção

Ocean Drifter - Ainda em fase de conceito trata-se essencialmente de um enorme projeto *Sea Spar Sea Station*, que incorpora uma plataforma à superfície para alocação de pessoal e alimento enquanto que a jaula é projetada para andar à deriva. Um sistema de propulsão também é considerado. Sem a necessidade de amarrações, as cargas estruturais seriam reduzidas, exigindo potencialmente uma produção menos robusta e mais barata.

Izar Fene Atuneiro semissubmersível - O conceito envolve o uso de um casco semissubmersível com 189 m de comprimento e 56 m de largura, com tanques de peixes no porão e uma jaula rígida suspensa sob o casco.

- Volume

Ocean Drifter – 64000 m³.

Izar Fene Semi-submersible tuna/restocking ship – 130000 m³.

Izar Fene Semi-submersible platform – 47000 m³.

- Vantagens e desvantagens (James and Slaski 2006)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Desenhados para serem arrastados em mar alto entrando em águas Internacionais, evitando assim regulamentações e licenças	Ainda não foi testado comercialmente, apenas existe como conceito
Devido ao arrasto das redes a água é mais limpa evitando assim potenciais doenças	Infraestruturas de elevado custo inicial
Permite um transporte para mercados de todo o mundo mantendo o peixe vivo e alimentado garantindo a sua frescura	Necessidade de monitorização constante de rotas e do peixe
-	Sujeito às intempéries
-	Necessidade de mão de obra permanente

2.5.1.11 *PDW submersible cage*



Figura 41 – Jaula PDW (J. Chen et al. 2008).

- Descrição

A jaula utilizada na aquacultura de peixes achatados, permanece imersa para o cultivo do peixe e emersa em atividades de manutenção ou pesca. De modo a proporcionar um ambiente estável para os peixes, as redes de jaula são mantidas apertadas, proporcionando um bom habitat e ao mesmo tempo a jaula é separada em múltiplas camadas que aumentam o espaço efetivo para peixes. Este tipo de jaulas não são desenhadas para uma utilização offshore (Figura 41).

- Exemplos

PDW submersible cage (China).

- Construção

Estrutura feita em aço.

- Volume (J. Chen et al. 2008)

<i>Modelo</i>	<i>Espaço efetivo à superfície</i> <i>[m²]</i>	<i>Diâmetro</i> <i>[m]</i>
<i>PDW 200</i>	200; 260	12
<i>PDW 280</i>	280; 380	14,5
<i>PDW 350</i>	350; 460; 550	16,5

2.5.1.12 *SLW cage*



Figura 42 – *SLW submersible cage* (J. Chen et al. 2008).

- Descrição

O design especial da jaula permite que esta gire em torno do seu eixo horizontal, como se de uma roda se tratasse. Permite, assim, adaptar-se a condições climáticas mais adversas e permite uma proteção extra contra incrustações (Figura 42).

- Exemplos

SLW cage (China).

- Construção

Estrutura feita em aço.

- Volume (J. Chen et al. 2008)

<i>Modelo</i>	<i>Espaço efetivo à superfície</i> <i>[m²]</i>	<i>Diâmetro</i> <i>[m]</i>
<i>SLW 400</i>	400	6.5
<i>SLW 1000</i>	1000	10
<i>SLW 2000</i>	2000	12.5

2.5.2 Conclusões sobre os tipos de jaulas existentes no mercado atualmente

Após esta breve pesquisa sobre todos os sistemas atualmente comercializados e os que ainda se encontram em fase de desenvolvimento, foi facilmente perceptível que nenhum está totalmente otimizado para os objetivos da aquacultura em offshore e muito poucos deram provas que poderão vir a se utilizados neste tipo de condições.

Assim sendo, o sistema de aquacultura em offshore mais comprovado, com capacidades de funcionamento garantido e uma utilização autossuficiente é o sistema *Farmocean* que, também, apresenta barreiras, como o elevado capital inicial que eventualmente pode vir a ser amortizado ao longo dos períodos de utilização.

Acrescente-se ainda que jaulas semissubmersíveis e jaulas totalmente submersíveis são financeiramente mais eficientes que jaulas flutuantes.

Atualmente o foco no desenvolvimento deste tipo de construções baseia-se em estruturas de tubos de borracha (*Rubber hose*) e no *Farmocean* que, apesar de, serem desenhados para condições offshore, teriam de sofrer alterações para serem utilizados em condições marítimas mais severas.

Desta forma, a instalação deste tipo de sistemas e estruturas varia consoante as condições onde será aplicado, bem como com as condições económicas e financeiras de cada potencial empresa de aquacultura. Saliente-se, ainda, a necessidade de uma inovação e desenvolvimento contínuos por parte dos operadores e dos gestores.

2.6 Materiais compósitos utilizados em meio marinho

No mercado existem mais de 50000 materiais disponíveis para as mais variadas aplicações e designs. A dificuldade em estudar todos estes materiais originou a necessidade de os dividir em categorias, de acordo com as suas características, como a sua rigidez, densidade e temperatura de fusão. Desta forma, podemos dividir os materiais em quatro categorias principais: metais, plásticos, cerâmicos e compósitos.

No meio marinho testemunhou-se a utilização dos mais variados materiais ao longo das últimas décadas. A maioria das aplicações dos materiais compósitos foram impulsionadas pela necessidade de superar os problemas de corrosão associados a ligas de aço ou alumínio e a degradação ambiental sofrida pela madeira. Outra razão para o uso dos compósitos foi a redução de peso. A alta transparência acústica dos compósitos também resultou no seu uso em sonares de submarinos.

Os compósitos atualmente têm ganho expressão e demonstrado vantagens em relação a outras categorias até aqui utilizadas. Um material compósito é uma combinação de dois ou mais materiais tornando as suas propriedades e desempenho estrutural superior aos constituintes que atuam de forma independente. Estes materiais são atualmente uma das classes mais importantes de materiais de engenharia, sendo usados não apenas pelas suas propriedades estruturais, mas também pela sua aplicação elétrica, térmica, tribológica e ambiental.

Um sistema compósito resulta da associação de dois materiais de natureza diferente fibras e resinas, cujo as qualidades se completam, originando um material heterogêneo onde as características globais são superiores às dos constituintes. Normalmente, o material compósito é formado por fibras de reforço impregnadas por uma matriz. Os reforços podem ser fibras, partículas e os materiais da matriz podem ser metais, plásticos ou cerâmicas.

A construção naval, no que respeita a embarcações de menores dimensões, tem atualmente as suas bases, assentes nos materiais compósitos. Assim, tira-se partido da sua resistência à corrosão, reduzindo os custos de manutenção. A sua leveza quando comparado com outras soluções de construção é uma grande vantagem melhorando a performance e a economia de combustível de embarcações.

Compósitos reforçados com fibras revelaram-se a alternativa ao aço, outros metais e madeira em muitas aplicações. Tal facto deve-se à sua alta resistência específica à tração e compressão, boa resistência à fadiga e à corrosão e versatilidade para a produção de componentes complexos com tempos de fabrico reduzidos em comparação com materiais metálicos convencionais. A utilização de compósitos reforçados com fibra tem sido impulsionada por vários aspetos atrativos, como a facilidade de manuseamento, alta capacidade de adaptabilidade, boa economia nos processos de fabrico e uma boa tolerância em relação a danos.

As fibras são materiais de reforço que constituem parte dos materiais compósitos, dando a estes rigidez e resistência. Estas são estruturas finas semelhantes a “hastes”. Os reforços sintéticos mais comuns são as fibras de vidro, carbono, aramida e boro. Os diâmetros de fibra típicos variam de 5µm a 20µm o que permite adaptar-se a várias formas. As fibras utilizadas em materiais compósitos apresentam funções de suportar cargas aplicadas ao material, melhoramento da rigidez, estabilidade térmica e, ainda, condicionam a condutibilidade elétrica.

O material de matriz preenche várias funções numa estrutura compósita, a maioria das quais é vital para o desempenho satisfatório da estrutura. As fibras por si só são de pouca utilidade sem a presença de uma matriz. Esta é responsável por ligar e transferir os esforços para as fibras dando rigidez e forma à estrutura, isolar as fibras individualmente de forma a que estas possam agir separadamente retardando a propagação de fendas, fornecer boa qualidade de acabamento de superfície, proteger as fibras de reforço contra ataques químicos e danos mecânicos. Dependendo do material de matriz selecionado, características de desempenho como ductilidade e resistência ao impacto também são influenciadas. A falha é afetada fortemente pelo tipo de material de matriz usado no compósito, bem como a compatibilidade com a fibra.

2.6.1 Polietileno de alta densidade

O polietileno de alta densidade, PEAD, é um polímero da família das poliolefinas, com propriedades mecânicas e térmicas interessantes, fazendo com que seja muito utilizado pela sua alta durabilidade e facilidade de instalação. Possui muitas vantagens quando comparado com os outros tipos de polietileno, pois a sua estrutura química é linear, ou seja, possui poucas ramificações laterais, aumentando a sua densidade, cristalinidade e opacidade. Essa linearidade também faz com que o PEAD suporte maiores temperaturas, com picos de 120° C e temperaturas contínuas de 110° C.

Uma excelente resistência a ácidos diluídos e concentrados, álcoois e bases, uma boa resistência a aldeídos, ésteres, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, óleos minerais e vegetais, uma

resistência limitada a hidrocarbonetos halogenados e agentes oxidantes, uma alta resistência ao impacto, agentes químicos, toxicidade, incrustação, congelamento e corrosão, uma baixa rugosidade e baixo peso, tornam o polietileno de alta densidade um material com características interessantes para variadas aplicações, nomeadamente marinhas. A superfície lisa do PEAD também evita o crescimento de bactérias, algas, fungos e ataques biológicos que ajudam a impedir a fluidez e podem causar maus odores. Outras características importantes a destacar são a elevada durabilidade, mantendo as suas propriedades ao longo dos anos. Excelente soldabilidade, uma característica inerente aos termoplásticos. Uma boa resistência à abrasão, devido à tenacidade dos materiais. Boa flexibilidade permitindo às tubagens de polietileno fazer curvaturas com relativa facilidade possibilitando a sua instalação em traçados com curvas. Permite, ainda, um bom comportamento a baixas temperaturas. Apresenta excelente resistência aos raios ultravioletas, quando pigmentados com cor preta.

2.6.2 Fibras de vidro

As fibras são normalmente impregnadas por uma matriz polimérica. Esta pode ser uma matriz de polímero termoendurecível, na maioria das vezes baseada em polímeros como epóxico, resina de poliéster insaturado ou vinil éster, ou um termoplástico.

As fibras de vidro são mais baratas e mais flexíveis do que as fibras de carbono, apresentam uma resistência específica maior do que muitos metais e podem ser moldadas em formas complexas. As aplicações incluem aeronaves, barcos, automóveis, banheiras, piscinas, fossas sépticas, tanques de água, coberturas, tubulações, revestimentos, moldes, pranchas de surf e revestimentos de portas externas.

Uma fibra de vidro estrutural é rígida e forte em tração e compressão, isto é, ao longo de seu eixo. Embora possa ser assumido que a fibra é fraca na compressão trata-se de uma questão de proporção, isto é, uma fibra típica é longa e estreita dobrando-se facilmente. Ao colocar várias camadas de fibra, onde cada camada é orientada em várias direções, a rigidez e a resistência geral do material podem ser controladas de maneira eficiente.

A funcionalidade mecânica dos materiais é altamente dependente do desempenho combinado da resina e das fibras. Por exemplo, em condições severas de temperatura, acima de 180 °C, a resina do compósito pode perder a sua funcionalidade devido à deterioração da ligação entre resina e fibra. No entanto, os perfis pultrudidos de fibras de vidro podem mostrar uma força residual ainda significativa após experimentar altas temperaturas à volta de 200 °C (Mazumdar 2013).

Os tipos mais comuns de fibra de vidro utilizados são: o vidro E, que é o vidro de alumino-borossilicato com menos de 1% de óxidos alcalinos, utilizado principalmente para plásticos reforçados com fibra de vidro; o vidro A tratando-se de um vidro alcalino com pouco ou nenhum óxido de boro; o vidro E-CR com boa resistência elétrica e química contendo silicato de alumino-calcário com menos de 1% de óxidos alcalinos e com alta resistência a ácidos; o vidro C, vidro alcalino com alto teor de óxido de boro, usado para fibras de vidro e isolamento; o vidro D que se trata de um vidro borossilicato, nomeado pela sua baixa constante dielétrica; o vidro R contendo alumino-silicatos de vidro sem MgO e CaO, com alta resistência mecânica e o vidro S, com alumino-silicatos de vidro sem CaO, mas com alto teor de MgO com alta resistência à tração.

De entre os materiais reforçados com fibra, os produtos reforçados com fibra de vidro são os mais baratos e, consequentemente, têm maior potencial de serem rentáveis. Compósitos reforçados com fibra de vidro são comumente usados como materiais leves numa ampla variedade de aplicações marítimas, como barcos, navios, traineiras de pesca e tubulações no mar. Compósitos de fibra de carbono raramente são usados em embarcações navais devido ao seu alto custo.

A motivação para o uso destes materiais em aplicações marítimas deriva dos custos reduzidos de manuseamento e instalação, boa resistência à corrosão e excelente desempenho mecânico. A possibilidade da utilização de adesivos minimiza a necessidade de trabalhos a quente como é o caso da soldadura.

2.6.3 Resinas de poliéster insaturado

Os poliésteres insaturados são sistemas de resinas de baixo custo e oferecem excelente resistência à corrosão. No entanto, as temperaturas de funcionamento dos poliésteres insaturados são inferiores às das resinas de epóxido ou epoxídicas. Os poliésteres insaturados são amplamente utilizados para operações de pultrusão, enrolamento filamentar, moldação de chapas e operações de moldação por transferência de resina. Uma variedade de matérias-primas e técnicas de processamento estão disponíveis para alcançar as propriedades desejadas na resina de poliéster formulada ou processada. Os poliésteres insaturados são versáteis devido à sua capacidade de serem modificados ou adaptados durante a construção das cadeias poliméricas. Têm utilidade quase ilimitada em todos os segmentos da indústria de compósitos. A principal vantagem destas resinas é um equilíbrio de propriedades mecânicas, químicas e elétricas, estabilidade dimensional, custo e facilidade de manuseio.

Os poliésteres insaturados são produzidos pela polimerização por condensação de ácidos dicarboxílicos e álcoois bifuncionais (glicóis). Além disso, os poliésteres insaturados contêm materiais insaturados tais como anidrido maleico ou ácido fumárico como parte do componente ácido dicarboxílico.

Existem dois tipos principais de resina de poliéster insaturados usado como sistemas de laminação padrão na indústria de compósitos. Resina de poliéster ortoftálico - é a resina económica padrão usada por muitas pessoas. A resina de poliéster isoftálica está a tornar-se o material preferido das indústrias como a naval, onde a sua resistência à água é desejável.

A resina poliéster insaturado é uma das principais matérias-primas utilizadas na indústria de fibras de vidro. Além de ser fácil de manusear possui um baixo custo e apresenta boas propriedades químicas e mecânicas. Em conjunto com as fibras de vidro, as resinas de poliéster insaturado dão origem a peças resistentes, duráveis e de alta qualidade. Comparando a resina de poliéster utilizada com reforço de fibra de vidro com outros sistemas compósitos plásticos, o que se destaca é o facto de esta ser termoendurecível, ou seja, após processada, ela não retorna mais ao seu estado líquido original.

No mercado é possível encontrar vários tipos de resinas de poliéster insaturado como:

- Ortoftálicas: que se define como a mais comum e também a mais barata, apresenta baixa resistência térmica, química e à hidrólise e é utilizada em aplicações gerais.
- Tereftálica: possui uma resistência física um pouco superior à da ortoftálica. Porém apresenta uma baixa resistência a raios ultravioleta e amarela com facilidade.
- Isoftálica: apresenta características térmicas, químicas e mecânicas melhores do que as resinas ortoftálica e tereftálica e dá uma maior resistência mecânica à peça.
- Bisfenólica: possui resistências térmicas e química elevadas. É utilizada principalmente em revestimentos anticorrosivos, em peças como tanques, tubos e conexões.
- Viniléster: apresenta uma maior resistência aos meios alcalinos e é utilizada na fabricação de peças que ficarão expostas a ambientes altamente agressivos.

3 Desafios associados a jaulas aquícolas

O mercado atual apresenta inúmeras soluções para jaulas de aquacultura. Contudo, ainda não se conhece nenhuma solução com capacidade de se autossustentar, autoprotger e ao mesmo tempo maximizar a engorda do peixe. Ao colocar uma jaula de aquacultura em alto mar, tendo em vista um modelo autónomo e autossuficiente, é imperativo considerar toda a panóplia de desafios para que o sistema seja funcional. Assim sendo, é necessário dar respostas e implementar soluções para todas as questões levantadas e desta forma ser possível desenvolver um conceito. Dentro dos problemas de forma a desenvolver um conceito funcional e autónomo, destacamos:

1. *Fouling* e incrustações.
2. Possível emersão e submersão.
3. Sistemas de alimentação para os peixes.
4. Geração de energia.
5. Manutenção.

Neste capítulo serão apresentados os desafios e soluções já existentes no mercado que servirão de base para a construção de especificações de conceito.

3.1 *Fouling* e incrustações

Construções offshore são atraentes para espécies de *biofouling*, uma vez que criam as condições ideais para que estes seres vivos se instalem e proliferem. A incrustação biológica nestas estruturas provoca um aumento do peso global, instabilidade, corrosão o que resulta num aumento de custos para manutenção. De forma oposta podem ser tomadas medidas anti-incrustantes, como criação de microambientes que desencorajam a corrosão microbiana aumentando o custo inicial, mas limitando a necessidade de limpeza destas bio incrustações.

No processo de bio incrustação na água do mar é possível distinguir quatro estágios diferentes que ocorrem em intervalos distintos (Figura 43). O primeiro estágio começa imediatamente após a imersão com a formação de uma camada condicionadora de matéria orgânica dissolvida, como glicoproteínas e polissacarídeos. Posteriormente, um biofilme pode ser formado com bactérias colonizadoras e microalgas. Num período que pode ir de horas até dias mais tarde pode formar-se uma comunidade mais complexa, incluindo produtores primários multicelulares e herbívoros, por exemplo, esporos de algas, fungos marinhos e larvas de hidroides, briozoários e cracas. Se o tempo e as condições ambientais permitirem, tais comunidades podem evoluir para camadas diversas e, por vezes, muito espessas, com incrustações de organismos duros, por exemplo cracas, mexilhões, corais e grandes incrustações de populações suaves, como ascídias, hidroides e macroalgas. No entanto, deve-se mencionar explicitamente que, num ambiente natural, o processo de incrustação biológica pode ser muito variável e nunca segue exatamente esta representação esquemática. O processo também é influenciado por muitos fatores abióticos, como salinidade, teor de nutrientes, intensidade e duração da luz solar, correntes e temperatura (Röckmann, Lagerveld, and Stavenhagen 2017).

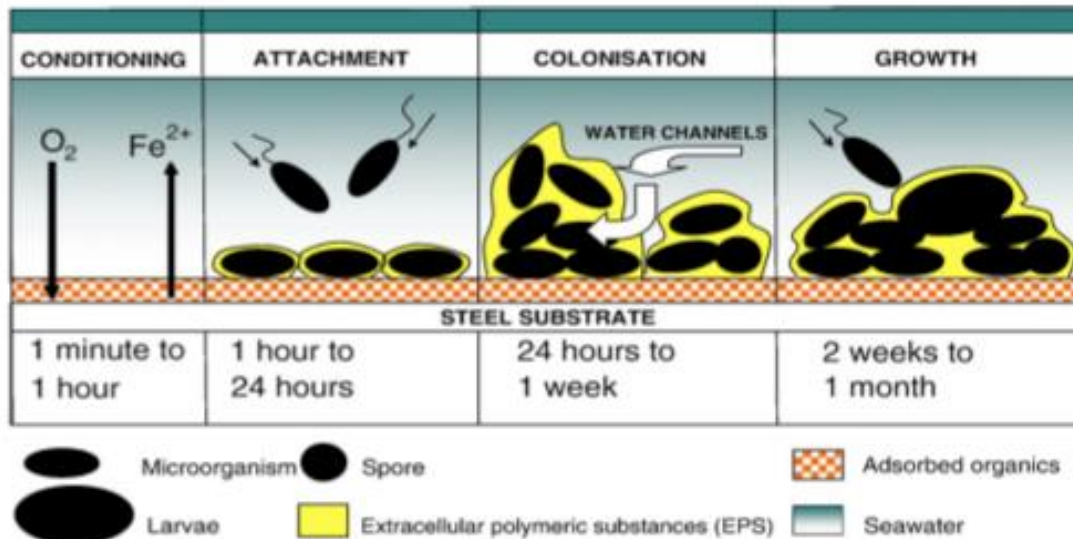


Figura 43 – Esquematização das etapas das incrustações marinhas (Dennington 2007).

As incrustações biológicas representam um risco para as estruturas offshore nos seguintes casos (Yebra, Kiil, and Dam-Johansen 2004):

- Aumento da força de arrasto

O perfil hidrodinâmico de uma camada de incrustação biológica diverge fortemente da superfície plana de uma fundação. O crescimento extensivo de colônias de mexilhões, algas e outros macro organismos que circulam com a corrente, resulta numa força de arrasto elevada. A incrustação biológica pode, no entanto, não representar um risco para a carga mecânica nas fundações em condições marés moderadas.

- Influência da proteção catódica

Outro efeito do *fouling* reside na cobertura de ânodos que afeta a função do sistema de proteção contra corrosão catódica. Para inspeção visual no local (inspeção da soldadura, medições da espessura da parede), uma camada de incrustação biológica deve ser removida.

- Influência no MIC

A incrustação biológica cria microambientes que encorajam a corrosão microbiana (MIC).

- Segurança e Acessibilidade

Por razões de segurança, as incrustações biológicas devem ser evitadas em escadas e áreas de embarque, para garantir o acesso seguro do pessoal de manutenção.

Várias técnicas podem ser aplicadas para prevenir ou limpar bioincrustações em superfícies desde revestimentos anti-incrustantes, métodos eletroquímicos e físicos para controlo de incrustações e limpeza de superfícies por robôs ou ferramentas portáteis. Recomenda-se a inspeção das fundações após um período de 5 a 10 anos. A inspeção visual da incrustação pode ser combinada com a limpeza regular da superfície externa (Röckmann, Lagerveld, and Stavenuiter 2017).

3.1.1 *Antifoulings*

O problema da bioincrustação em embarcações surgiu aquando das primeiras navegações de navegação. As primeiras tentativas conhecidas de combate à incrustação biológica remontam ao ano de 462 a.C., quando foi relatado o uso de uma mistura de arsénico e enxofre. Através dos séculos, barcos de madeira foram protegidos por misturas contendo sebo, enxofre, breu, creosoto ou através de placas de cobre ou chumbo, pregadas aos cascos dos barcos abaixo da linha de água (Chambers et al. 2006).

As formas de combate à bioincrustação têm sido tradicionalmente dominadas pelo campo da química, com o uso de substâncias “biocidas”, que tradicionalmente previnem a incrustação através da toxicidade. Neste contexto, o cobre tem-se destacado e as formas moleculares mais avançadas estão em uso nos dias de hoje, geralmente aliadas a “cobiocidas” e incorporadas às tintas anti-incrustantes (Chambers et al. 2006).

Tradicionalmente, a superfície de um objeto, antes da imersão, é pintada com tintas antifouling contendo biocidas. Estas substâncias, inicialmente previnem a incrustação, mais tarde reduzem o seu desenvolvimento e, posteriormente, tornam-se ineficazes, ou seja, as embarcações necessitam de ser sujeitas a manutenção em doca seca, raspadas e repintadas. O mesmo acontece com instalações fixas, isto é, precisam de ser periodicamente raspadas e inspecionadas por mergulhadores ou ROVs, para veículos operados remotamente, sendo estas soluções caras e nem sempre eficazes (Chambers et al. 2006).

As tintas anti-incrustantes tinham como principal substância ativa o óxido de cobre ou derivados. No entanto, o cobre provoca elevada corrosão por eletrólise quando em contato direto com cascos de aço e alumínio. Testes realizados pela marinha americana verificaram que tintas anti-incrustantes tendo por base óxido de cobre, tornam-se ineficazes em menos de um ano (Chambers et al. 2006).

Tributil-Estanho

No tributil-estanho, TBT, três butil estão ligadas a um átomo de estanho. Existem cerca de 20 TBTs diferentes, muitos dos quais foram ou são usados como *antifouling*. Ao contrário do estanho inorgânico, os TBT são lipossolúveis e penetram nas membranas celulares vivas, sendo esta propriedade que os torna pesticidas potentes.

A eficácia das tintas que utilizam o TBT pode ser até 5 vezes maior do que a de tintas baseadas em óxido de cobre, com a vantagem adicional de não causar corrosão em alumínio e aço. Desde que as tintas com TBT começaram a ser utilizadas em larga escala, no início dos anos 70, ansiava-se que esta seria a solução para o antigo e oneroso problema da incrustação biológica. No entanto, nesta mesma época, surgiram as primeiras evidências de efeitos prejudiciais em muitas outras formas de vida marinha, incluindo espécies economicamente importantes, como ostras e mexilhões. Os efeitos sobre a fauna e flora marinha estão relacionados com a quantidade de TBT que é liberada na água, tanto pelas tintas como pela raspagem dos cascos. Atualmente, tintas com matriz polimérica de auto polimento, SPC, vêm a emissão de TBT consideravelmente reduzida, mas não eliminada.

Em 1990, o Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho da Organização Marítima Internacional (IMO) adotou pela primeira vez a resolução de controlar o uso de TBT, e recomendou ações governamentais no sentido de eliminar a utilização deste poluente. Para tal recorreu-se a restrições em relação ao tipo de navio, à monitorização da comercialização do TBT e remoção das tintas, ao estímulo na utilização de alternativas e estudos dos efeitos benéficos deste tipo de produtos alternativos. Apesar de todos estes esforços no sentido de prevenir os efeitos nefastos da utilização do TBT, este ainda continua a ser largamente utilizado uma vez que as suas alternativas apenas previnem as incrustações marinhas num período máximo de três anos.

A extinção do uso de TBT está longe de ser alcançada. No entanto, existe uma necessidade crescente e premente em procurar soluções de tintas *antifouling* com uma resposta à sua biodegradabilidade onde na sua forma ideal se degradasse na água do mar em poucas horas, embora apresentasse estabilidade na tinta, e cujos produtos da sua degradação fossem inócuos para o meio marinho (Da Gama, Pereira, and Coutinho 2009).

Tintas de baixa adesão

Tintas à base de politetrafluoretileno, PTFE, (*Teflon®*) não utilizam biocidas, mas atuam pelas suas características físicas antiaderentes. Estas encontram-se em estudo e já têm sido utilizadas em protótipos. Não obstante, a sua produção em larga escala para uso comercial, esta implica custos muito elevados e a sua eficácia em diferentes ambientes marinhos ainda não é completamente compreendida.

Outras tintas antiaderentes, à base de siloxanos pertencente à família de polímeros constituídos por uma cadeia de átomos de silício ligados a oxigénio que afetam a energia superficial do substrato, estão a ser testadas e já são utilizadas, embora sejam mais dispendiosas que as convencionais, de difícil aplicação e mecanicamente frágeis. Este tipo de tinta encontra-se a ser testada por indústrias de tintas em vários locais do mundo, apresentando inibição seletiva da incrustação. Isto é, ao inibir o estabelecimento de cracas, ocorre o estabelecimento massivo de poliquetas serpulídeos. No entanto, estas tintas, uma vez incrustadas, podem ser limpas com jatos de água de intensidade moderada, pois apresentam baixa adesão para organismos incrustantes (Da Gama, Pereira, and Coutinho 2009).

Antifoulings naturais

Na busca dos melhores métodos para impedir as incrustações marinhas, as substâncias produzidas pelos organismos marinhos sésseis, como algas, corais ou esponjas revelaram-se promissoras como forma de prevenção ao crescimento de epibiontes.

Organismos marinhos tais como microrganismos, algas, corais e esponjas sofrem do mesmo problema que estruturas submersas em meio marinho, ou seja, à exposição constante a uma vasta gama de organismos incrustantes. Ao longo da evolução, muitos organismos desenvolveram mecanismos de defesa, sendo o mais importante, a produção de substâncias químicas anti-incrustantes.

Os produtos naturais são menos prejudiciais para o meio ambiente quando comparados a substâncias de origem antropogénica (Da Gama, Pereira, and Coutinho 2009).

Superfícies biomiméticas

Uma das alternativas *antifouling* mais recente consiste na utilização de materiais que simulam superfícies de organismos marinhos, ou seja, superfícies biomiméticas. Algas, invertebrados e mesmo vertebrados marinhos, como peixes, tartarugas marinhas e mamíferos marinhos, sofrem dos mesmos problemas que estruturas feitas pelo homem, no que concerne à bioincrustação. A diferença entre estes organismos e as estruturas elaboradas pelo homem reside no facto dos organismos marinhos se tratarem dos mais antigos seres no nosso planeta, isto é, tiveram milhares de anos de evolução para desenvolver mecanismos *antifouling*.

As microtopografias naturais – relevo em escala microscópica – das superfícies de organismos bentónicos, tais como mexilhões, tubarões, tartarugas marinhas têm sido investigadas com o intuito de elucidar os mecanismos através dos quais estas superfícies permanecem livres de incrustações. Avanços recentes no campo da nanotecnologia, torna possível reproduzir estas microtopografias em materiais sintéticos, produzidos em larga escala para o revestimento.

Resultados obtidos até o momento mostram que superfícies naturais podem, meramente por efeitos físicos, inibir, pelo menos em parte, o desenvolvimento de bioincrustação, embora este aparente ser apenas uma parte do efeito anti-incrustante encontrado na natureza. Réplicas exatas em resina da microtopografia de várias espécies de mexilhão, que apresentam microtopografia

similar a “cordilheiras e vales”, verificaram que a microtopografia apenas não explica a relativa ausência de epibiontes na superfície destes organismos.

No futuro, perceber e dominar mecanismos da própria natureza será o caminho para que o efeito de eliminação do *fouling* por forma a que seja também inócuo para o meio ambiente, permite um desenvolvimento sustentável (Da Gama, Pereira, and Coutinho 2009).

3.2 Submersão das jaulas

A submersão de jaulas permite a exploração aquícola em locais marítimos expostos e desprotegidos. Melhorando o potencial de produção de uma região costeira, garantindo a sustentabilidade ambiental dos locais de cultivo e ao mesmo tempo, permitindo aos aquicultores alcançar uma melhoria significativa na qualidade do peixe, em comparação com os peixes cultivados em locais abrigados ou localizados em terra.

As jaulas submersíveis, em comparação com as estruturas flutuantes tradicionais, apresentam inúmeras vantagens, entre as quais podemos destacar a diminuição significativa no risco de perda de biomassa e a possibilidade de evitar danos na estrutura em condições de ondulação adversa. Permite, ainda, um controlo do metabolismo dos peixes, uma vez que, em profundidades mais elevadas, a temperatura tem tendência a ser menor. Desta forma podemos atrasar o desenvolvimento dos peixes e assim, escolher a melhor altura para a sua captura. Evidências recentes demonstraram que a profundidade tem um impacto na prevenção de *bloom* de algas (Badinotti 2018).

3.2.1 Tipos de submersão

Oceanics I

A tecnologia utilizada neste tipo de jaula alia as características de uma jaula flutuante, como por exemplo a facilidade de acesso e execução das tarefas do dia a dia juntamente com a segurança a nível estrutural que a emersão lhe proporciona.

Neste tipo de jaulas, os tubos de polietileno de alta densidade, localizados acima da rede e na linha de água têm a possibilidade de ser alagados por água ou ar conforme o objetivo. No caso desse objetivo ser a submersão da jaula os tubos serão repletos de água pela abertura de válvulas. Por outro lado, para a jaula emergir, estes tubos são ocupados por ar. No colarinho inferior da jaula existe um tubo, com cabos de aço ou correntes no seu interior, denominado de “*sinker tube*” (Figura 44). De realçar que o peso da estrutura é menor que a impulsão (Badinotti 2018).

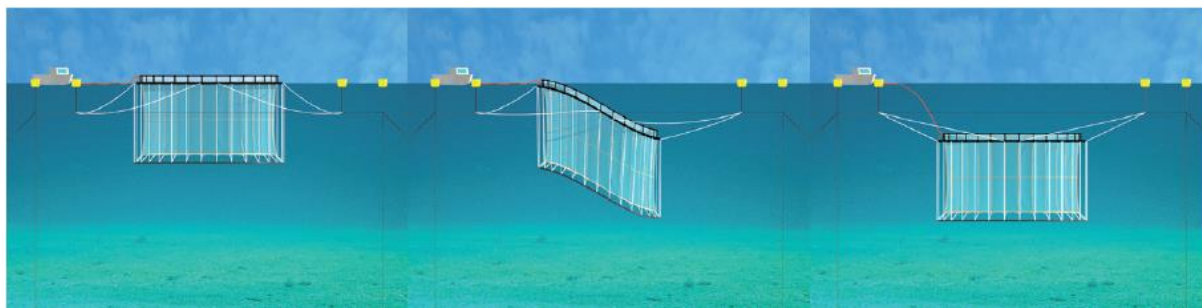


Figura 44 – Processo de submersão da jaula do tipo *Oceanics I* (Badinotti 2018).

O sistema de amarração é semelhante ao utilizado nas jaulas flutuantes, em grelha reticulada, que se traduz no sistema mais eficiente a nível de custo-benefício de entre todos os tipos de sistemas de amarração. A diferença entre o sistema de amarração de jaulas flutuantes e este tipo de jaula submersível reside na existência de uma linha de boias dupla como é representado na Figura 45. As boias de ancoragem principais suportam as forças das âncoras e as boias da grelha

das amarrações equilibram o peso da estrutura quando esta se encontra submersa (Badinotti 2018).

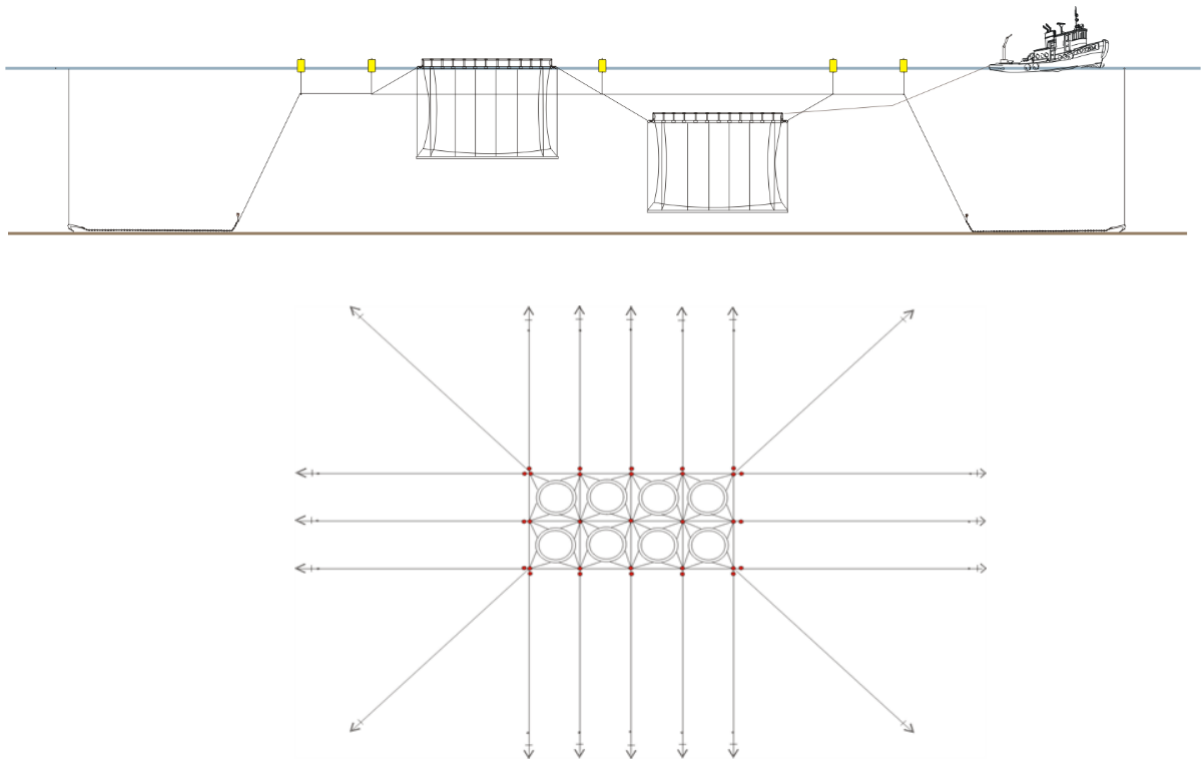


Figura 45 – Sistema de amarração do *Oceanics I* (“Fish Farming Submersible Cages” 2015).

As operações ordinárias de cultivo dos peixes são efetuadas com a jaula à superfície, incluindo a alimentação e a colheita e é necessária uma embarcação de apoio para efetuar a operação de injeção de ar.

Oceanics II

A tecnologia associada a este tipo de jaula apresenta tubos de polietileno de alta densidade permanentemente cheios de ar, permitindo que a força de impulsão supere o peso da estrutura. Neste tipo de jaulas existe uma câmara de compensação (Figura 47) localizada abaixo da rede, com pesos, mais particularmente correntes, ou seja, lastros, em que o peso total dos mesmos supera a impulsão dos tubos superiores da jaula como se pode observar na Figura 46.

A mudança no estado da jaula é conseguida pelo preenchimento da câmara de compensação. No caso de a jaula estar a flutuar, a câmara de compensação encontra-se repleta de ar e como tal a impulsão supera o peso total da estrutura. No caso oposto, isto é, a jaula submergir, a câmara de compensação enche de água, a jaula inicia a descida até que as correntes calibradas galvanizadas toquem no fundo. Uma vez no fundo, as correntes calibradas galvanizadas dobram-se até que a parte suspensa das mesmas se equipare à impulsão. Nesta posição é alcançado um novo equilíbrio estático (Figura 46). Este tipo de jaula requer uma embarcação de apoio para a injeção de ar responsável pela sua emersão (Badinotti 2018).

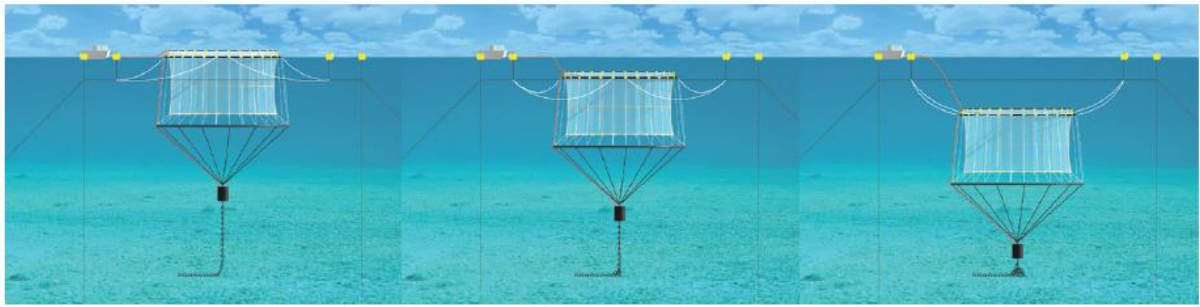


Figura 46 – Processo de submersão da jaula do tipo *Oceanics II* (Badinotti 2018).

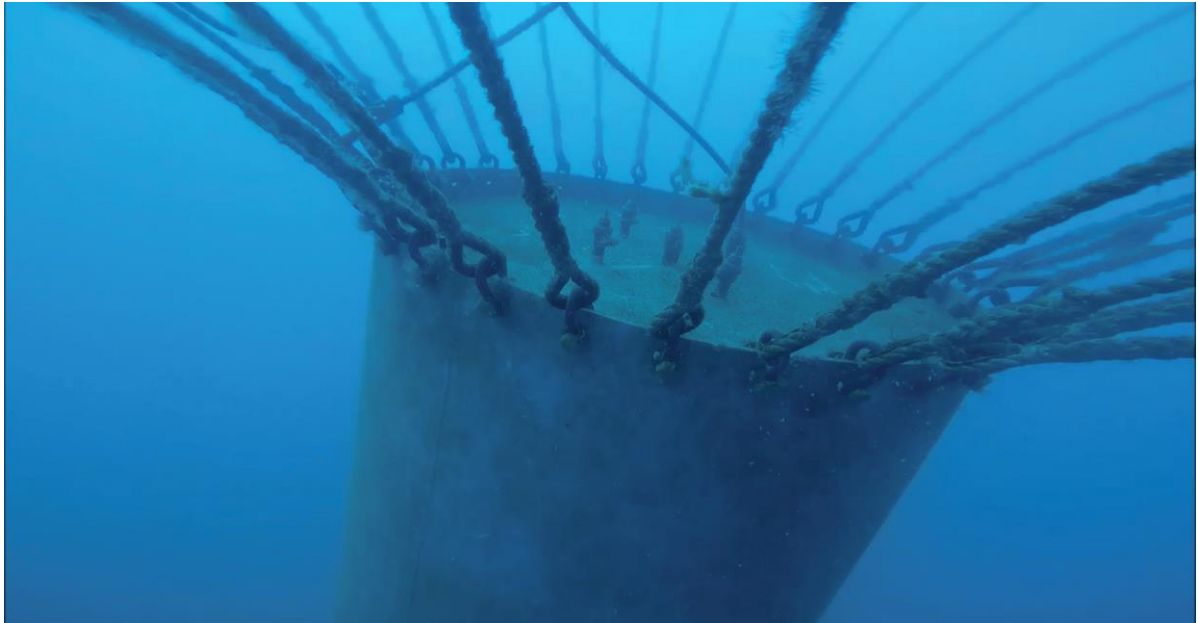


Figura 47 – Câmara de compensação (Badinotti 2018).

Sea Station

A tecnologia marinha neste tipo de jaulas submersíveis permite o preenchimento do pilar central tanto por ar como por água (Figura 48). Quando o pilar é alagado por água o peso da estrutura supera a força de impulsão e, desta forma, a jaula afunda até que o equilíbrio seja restabelecido (Gace 2016).

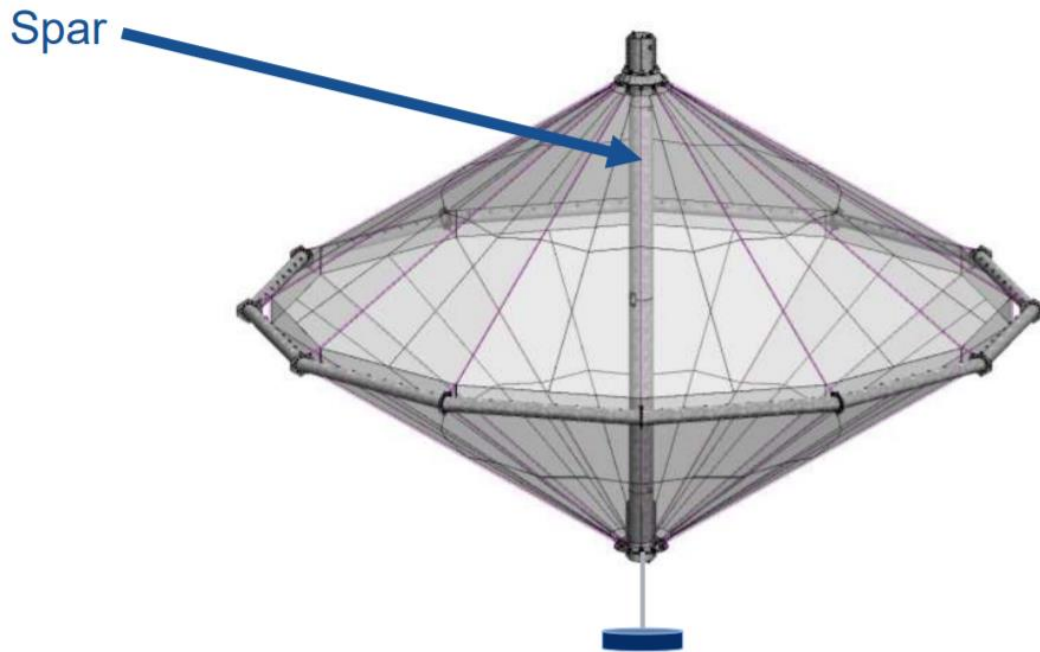


Figura 48 – Sea Station (Gace 2016).

Aquapod

Nesta solução, os compartimentos representados a amarelo (Figura 49) permitem a ascensão e submersão da jaula pelo mesmo princípio que todos os outros até aqui explicitados, através da alternância entre o enchimento dos mesmos por água ou ar (Gace 2016).



Figura 49 – Aquapod (Gace 2016).

A acrescentar à capacidade de submergir e ascender, esta tecnologia permite ainda uma rotação da jaula o que facilita operações de manutenção (Figura 50).



Figura 50 – *Aquapod* com a capacidade de rolar (Gace 2016).

3.3 Sistemas de alimentação

Numa unidade em mar aberto existem muitas tarefas diárias. No entanto, grande parte dos recursos humanos e logísticos destinam-se à tarefa de alimentação do peixe. 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 o maior número de dias possíveis, sempre que as condições ambientais o permitam. Em caso de temporal, o peixe pode permanecer sem alimento durante vários dias sem comprometer aparentemente o estado do stock (Pousao-Ferreira, comunicação pessoal).

Como consequência das variações sazonais da temperatura da água é necessário fazer ajustes nas quantidades de ração fornecida. A temperatura é o fator determinante na regulação alimentar, visto que intervém na ativação molecular dos componentes da cadeia metabólica, influenciando vários processos relacionados, direta ou indiretamente, com a procura e atividade alimentar. Adicionalmente, fotoperíodos longos ou crescentes estimulam a atividade alimentar (Houlihan et al, 2001).

Na aquacultura *offshore*, o processo de alimentação representa um desafio substancial de engenharia, especialmente em zonas onde as condições climáticas e marítimas são maioritariamente adversas. A utilização de embarcações de apoio ou de barcos ancoradas é condicionada pelo estado do mar e, como tal, a alimentação dos peixes é comprometida. A utilização de sistemas controlados de forma remota ou até mesmo de forma automática tem sido cada vez mais indispensável e existem inúmeros projetos em torno desta questão (Lovatelli et al. 2004).

Sistema de alimentação manual

Quando a jaula está à superfície, a ração pode ser administrada diretamente a partir do barco, despejando os sacos de ração através da rede. Este meio de fornecer ração é pouco eficiente porque as correntes oceânicas não proporcionam a descida vertical das partículas de alimento resultando em perdas acentuadas de ração. A ração pode também ser distribuída diretamente para o interior da jaula, por meio de uma porta existente na plataforma de trabalho.

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 é sinalizado com uma boia de superfície. Esta boia é recolhida diariamente e 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 (Figura 51). Este método de alimentação também pode ser utilizado quando a jaula se encontra à superfície.

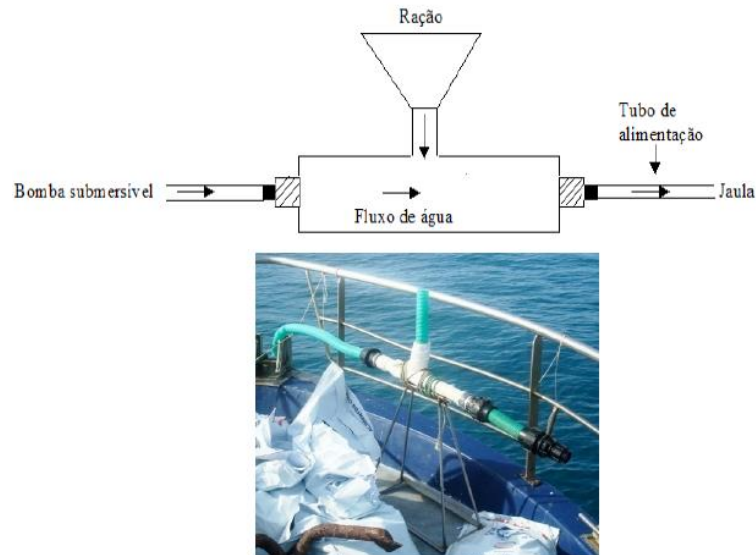


Figura 51 – Dispositivo usado para a administrar manualmente a ração numa jaula offshore (Carrasquinho 2009).

Sistema de alimentação automático

A viabilidade económica da aquacultura em mar aberto depende da mecanização e automatização. Neste contexto surge, então, um conjunto de unidades automáticas de alimentação.

As plataformas automáticas de alimentação são estruturas flutuantes com capacidade de armazenar quantidades apreciáveis de ração com sistemas de tubos que a distribuem a ração por diversas jaulas em simultâneo.

Este tipo de plataforma encontra-se fixo nas proximidades das jaulas e possui um sistema wireless que permite a sua operação a partir de uma base sediada na zona costeira.

O sistema Robofeeder representado na Figura 52, foi desenhado especialmente para as jaulas *Sea Station*[®]. Este robô fixa-se no topo do tubo central e permite distribuir por gravidade várias refeições ao dia. Este sistema foi desenhado para ser usado apenas em caso de emergência (Carrasquinho 2009).

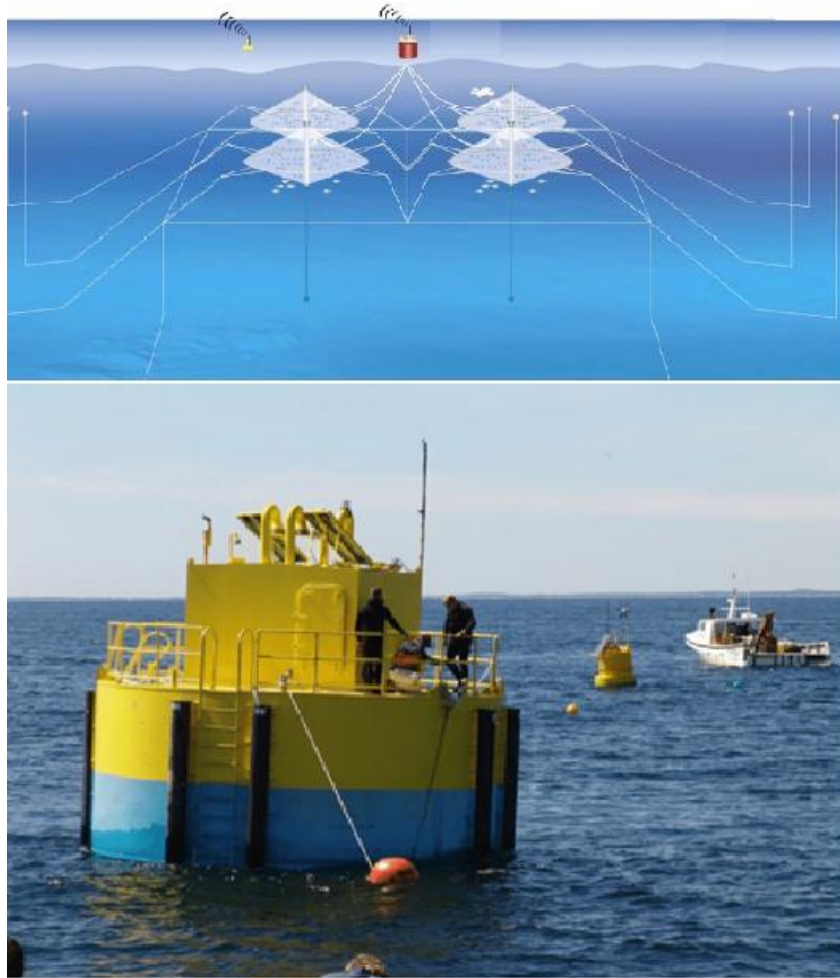


Figura 52 – Representação esquemática de um sistema de alimentação automático acionado por controlo remoto (Carrasquinho 2009).

Existem ainda plataformas de alimentação propulsionáveis (Figura 53), que são embarcações equipadas com silos e sistemas de alimentação que podem fundear nas proximidades das jaulas e fornecer a ração por meio de um conjunto de tubos. Em caso de temporal ou necessidade de recarregar os silos, a plataforma levanta âncora e dirige-se para o porto de abrigo mais próximo. Este tipo de plataforma pode armazenar cerca de 48 t de ração em diferentes silos e com sistemas automáticos que podem fornecer ração a um total de 32 jaulas.



Figura 53 – Plataforma de controlo de alimentação com silos incluídos e sistemas de bombagem (“Huge Feed Barge to Iceland - AKVA Group 2018” 2018).

O sistema de alimentação pode estar incluído, em parte, na própria jaula, em tubos centrais que funcionam como lastros e permitem a existência de câmaras onde é possível armazenar rações, instalar bombas e mangueiras de transporte (Figura 54 e Figura 55).

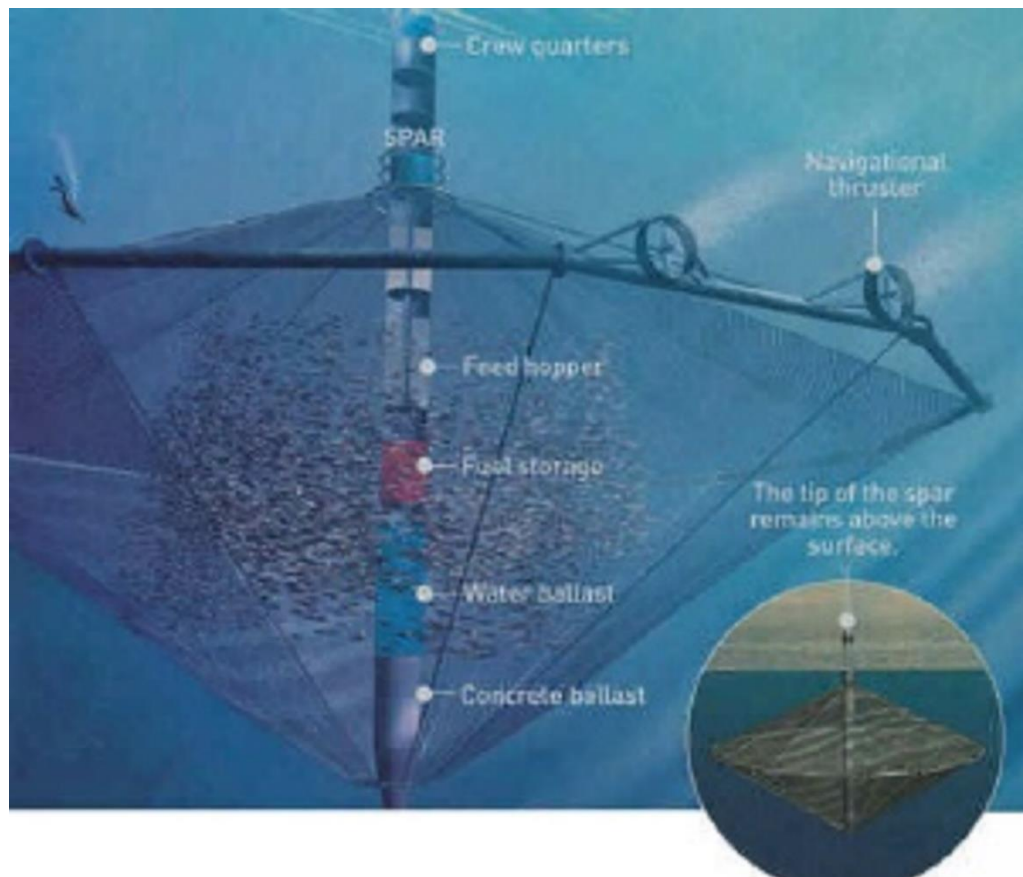


Figura 54 – Solução para inclusão de sistemas de alimentação no mastro central (“Humanus Corporation” 2015).



Figura 55 – Sistema de alimentação incluído numa jaula de aquacultura (Cashion et al. 2017).

3.4 Geração de energia

A alimentação de todos os componentes que necessitam de energia elétrica, tais como, electroválvulas, sensores, bombas e emissores e recetores de dados é, por norma, efetuada a partir de fontes de energia renovável, em alto mar, podendo esta ser proveniente do aproveitamento do vento, sol, correntes e ondas.

A energia oceânica é a maior fonte remanescente de energia renovável inexplorada no mundo. Estima-se que 0,1% da energia nas ondas do oceano poderia ser capaz de suprimir as necessidades mundiais de energia cinco vezes. O oceano é uma fonte rica de combustíveis, minerais, alimentos, medicamentos e também facilita os serviços de transporte (Kumar, Shrivastava, and Untawale 2015).

Existe um potencial para desenvolver desde 20000 a 80000 TWh de eletricidade através dos oceanos. As fontes de energia dos oceanos variam desde a energia das marés, correntes marinhas, potência das ondas, gradientes de temperatura e a gradientes de salinidade.

A política deve ser enquadrada e implementada estritamente para a preservação do ecossistema marinho, antes da exploração dos recursos marinhos. Não apenas o potencial técnico, mas o potencial sustentável também deve ser considerado ao projetar uma engenharia de oceanos. As regiões marinhas sensíveis e vulneráveis devem ser identificadas e marcadas como zonas protegidas. Os oceanos respondem de forma extremamente lenta a mudanças na atmosfera e, como tal, essas podem ter repercussões tanto negativas como positivas (Kumar, Shrivastava, and Untawale 2015).

3.4.1 Energia das ondas

As ondas são o resultado do efeito do vento sobre a superfície do mar. Parte da energia cinética dos ventos é transferida para a água através do atrito entre as duas superfícies, gerando as ondas, que podem percorrer milhares de quilómetros com poucas perdas energéticas. Extrair a energia das ondas é um grande desafio tecnológico que nas últimas décadas despertou o interesse dos pesquisadores (Silva et al. 2013).

O recurso da energia das ondas a nível europeu encontra-se disponível no WERATLAS, Atlas Europeu de Energia das Ondas, um projeto de I&DT da União Europeia dos anos 90, que continua atualmente a ser a ferramenta de base para a avaliação do potencial de energia das ondas a nível europeu.

A Figura 56 apresenta valores médios anuais do recurso ao largo, em kW por metro de crista de onda (a representação comum do recurso energético das ondas). Considera-se que o recurso energético é bom para valores entre 20 e 70 kW/m, o que ocorre nas latitudes entre os 30° a 60° (hemisfério Norte e Sul) à escala mundial. São particularmente atrativas nestas áreas o Arco Atlântico Europeu, a costa Oeste da América do Sul e o Sudoeste da Austrália e da Nova Zelândia. Globalmente, a maior densidade de recurso energético das ondas ocorre em áreas com maior intensidade de ventos (Silva et al. 2013).

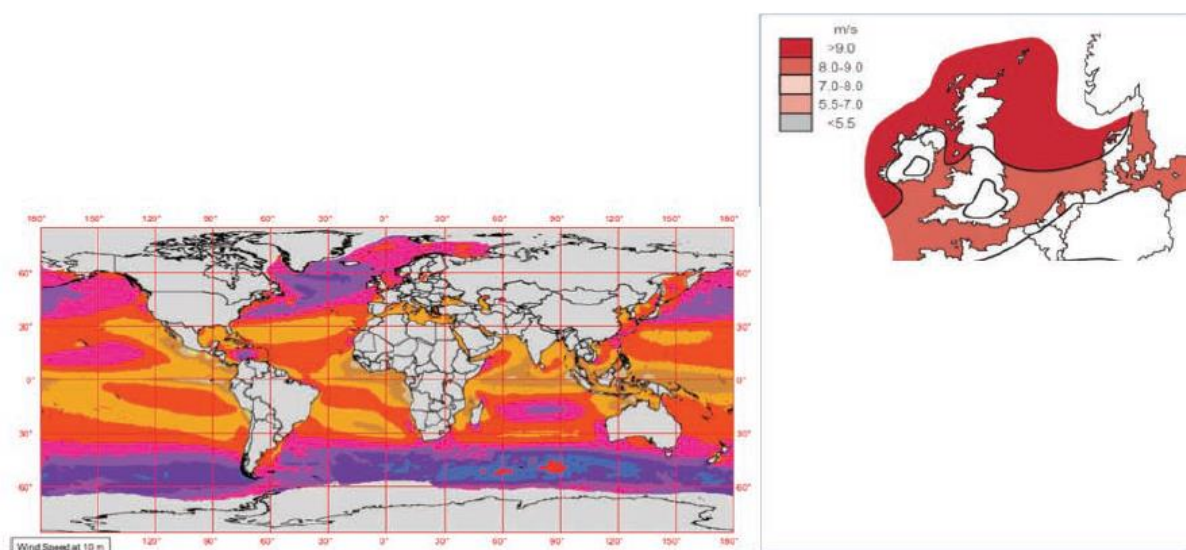


Figura 56 – Fluxo médio expresso em kW por metro de frente de onda (Silva et al. 2013).

A nível mundial têm sido desenvolvidos mapas mais detalhados, principalmente nos países onde o recurso é mais abundante, como no caso do Reino Unido e da Irlanda. Em Portugal, esta informação encontra-se disponível no ONDATLAS, um Atlas de Ondas Marítimas para vários pontos ao longo da costa continental portuguesa, desenvolvido pelo LNEG e comercializado pelo IPTM. Este contém um conjunto de estatísticas sazonais e anuais do clima de ondas e do recurso energético, estimadas segundo a mesma metodologia do Atlas Europeu de Energia das Ondas, ao longo de 20m de profundidade e em 5 pontos ao largo com cerca de 100m de profundidade (Silva et al. 2013).

A nível mundial, estima-se a existência de um recurso teórico total de 32.000TWh/ano, sendo o recurso económico da energia estimado entre 2000 e 4000 TWh/ano (da ordem de 10% do consumo mundial de eletricidade). Em Portugal, estima-se uma potência média anual de cerca de 15 GW no Continente e de 6 GW nos Açores (aproximadamente 184 TWh/ano), dos quais o potencial de exploração da energia das ondas acessível se estima em 10 TWh/ano, na faixa costeira dos 50 a 80 metros de profundidade, o que representaria cerca de 20% do consumo atual de energia elétrica em Portugal. Esta análise tem em conta os dados existentes nas seguintes áreas condicionantes: características da faixa entre 50 e 80 metros de profundidade (profundidade, declive e tipo de fundo); condicionantes ambientais (reservas naturais, impactos ambientais como visual, ruído, acidentes e emissões); pesca; navegação (longo curso/comercial, recreio e pesca); pesquisa de hidrocarbonetos; passagem de cabos submarinos ou condutas; campos de exercícios militares; áreas de interesse arqueológico (Silva et al. 2013).

Verifica-se, assim, que existe um potencial elevado em Portugal, que corresponderá a uma capacidade instalada de cerca de 3000 MW para sistemas de aproveitamento de ondas (Silva et al. 2013).

Situação atual e perspectivas futuras

O aproveitamento da energia das ondas está numa fase de demonstração e assiste-se atualmente à instalação e teste no mar dos primeiros protótipos pré-comerciais. É uma área que continua a despertar a imaginação de inventores e engenheiros, com mais de 1000 ideias de dispositivos de energia das ondas patenteadas no Japão, América do Norte e Europa. Atualmente, existem entre 50 a 60 desenvolvimentos em curso (Silva et al. 2013).

Até hoje, apenas um número reduzido de dispositivos alcançou a fase de testes no mar em condições reais (Tabela 8).

Tabela 8 – Projetos de dispositivos testados em alto mar (Silva et al. 2013)

Projeto Pelamis	Primeiro contrato comercial de 3 unidades de 750 kW cada (máquina P1) testadas em 2008 no Norte de Portugal (Aguçadora) pela empresa escocesa <i>Pelamis Wave Power Ltd.</i> (PWP), no âmbito de um projeto com a <i>Enersis</i> (posteriormente <i>Babcock&Brown</i>), tendo sido desativado no final de 2008. O <i>Pelamis P2</i> (750 kW) foi instalado no EMEC, Reino Unido, em finais de 2010.
Tecnologia Powerbuoy da empresa norte americana Ocean Power Technology (OPT)	Segunda empresa a estabelecer, em 2008, um contrato comercial para instalação de um parque da tecnologia <i>Powerbuoy</i> em Espanha, com apoio da <i>Iberdrola</i> e da <i>Total</i> , sendo um projeto de 1.39 MW de capacidade total instalada.
Tecnologia BOLT da norueguesa Fred Olsen	Protótipo de 45 kW instalado na costa sudoeste na Noruega em 2009, sem ligação à rede elétrica.
Tecnologia Oyster da empresa britânica Aquamarine	Protótipo de 315 kW em operação no EMEC desde 2009, com planos para construção do protótipo <i>Oyster2</i> .
Tecnologia WaveRoller da empresa finlandesa AW-Energy Oy	Instalação de um módulo de 300 kW em Peniche no ano de 2012, com uma capacidade total instalada prevista até 1 MW.
Tecnologia Wave Star da empresa dinamarquesa Wave Star A/S	A empresa instalou em 2009 uma secção do protótipo com 50 kW no mar do Norte em <i>Hanstholm</i> , Dinamarca.
Tecnologia CETO da empresa australiana Carnegie Corporation	Foram realizados testes no mar com o CETO II em 2008. Atualmente está em construção o CETO 3 com licença para instalação de um projeto em <i>Perth</i> .
Tecnologia CAO da empresa Voith Hydro (que adquiriu a empresa escocesa Wavegen)	Integrada no projeto do quebra-mar <i>Mutriku</i> no País Basco com o apoio da EVE (<i>Ente Vasco de La Energia</i>) e uma potência instalada total de 300 kW. Outro projeto em maior escala – o SIADAR de 4 MW – foi projetado para a ilha de Lewis, na Escócia

Projeto da Oceanlinx	(Reino Unido) em parceria com RWE <i>Enpower Renewables</i>. Projeto com a tecnologia Coluna de Ar Oscilante (CAO) flutuante testada em <i>Port Kembla</i> (Austrália), em 2010, antes de ser surpreendida por uma tempestade que a danificou. Este projeto vem no seguimento da experiência adquirida pela empresa com uma central fixa CAO de 500 kW no mesmo local.
Central do Pico	CAO costeira de 400 kW operada pelo WavEC, após importante intervenção de recuperação em 2005 (a instalação original remonta a 1999, com ligação à rede). Não se trata de um protótipo em desenvolvimento comercial, mas representa um importante passo para as CAOs em geral. Funciona desde setembro de 2010 em regime autónomo.

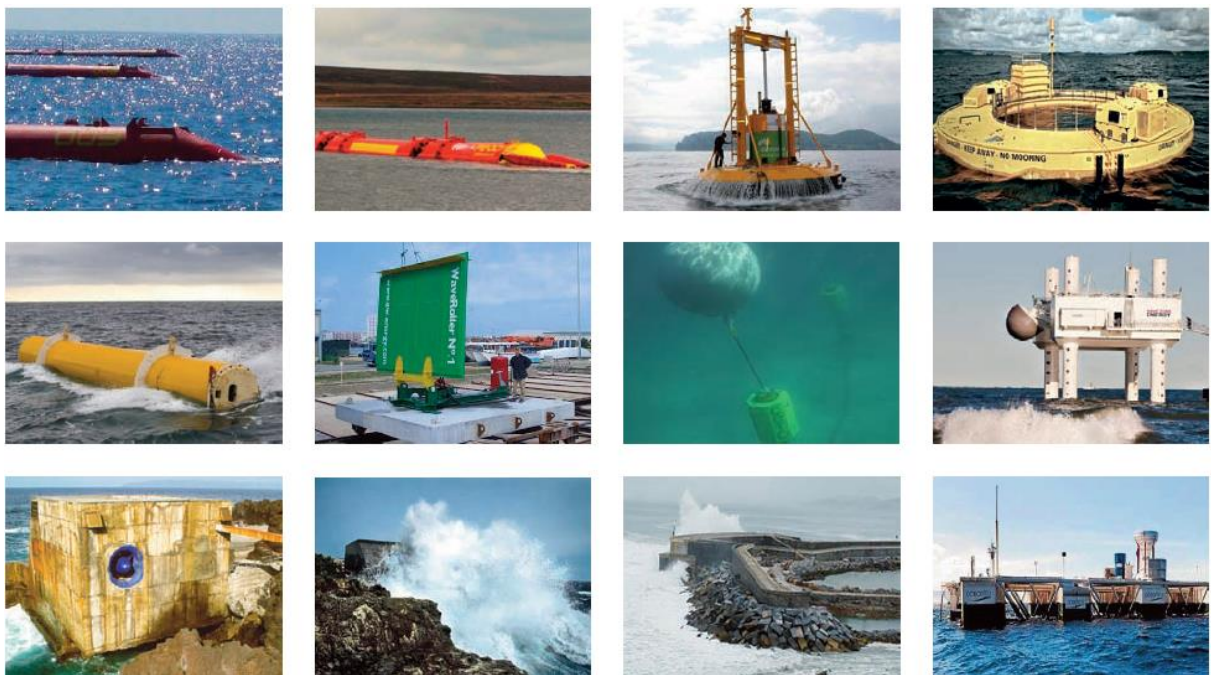


Figura 57 – Exemplos de dispositivos testados em alto mar para produção de energia a partir das ondas (Silva et al. 2013).

3.4.2 Energia eólica

A Europa detém, em toda a sua extensão oceânica, uma larga plataforma continental submersa em águas pouco profundas com batimetrias muito favoráveis à montagem de estruturas fixas no leito do mar (Figura 58), sobretudo no mar do Norte.

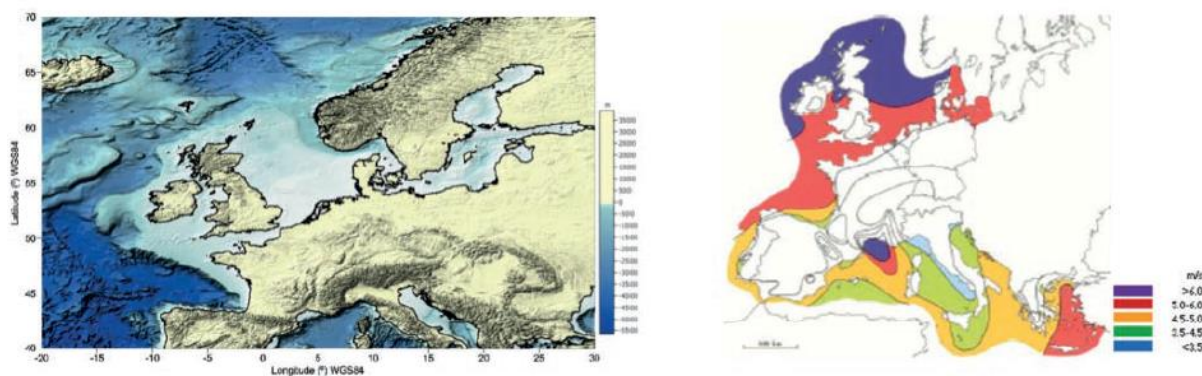


Figura 58 – Batimetria da plataforma continental europeia e potencial eólico *offshore* na Europa (Silva et al. 2013).

A vasta experiência e conhecimentos técnicos adquiridos e consolidados no desenvolvimento de projetos eólicos *onshore*, fizeram da Europa um continente com sabedoria e maturidade suficientes para apostar na proliferação de projetos eólicos *offshore* o que justifica a evolução da tecnologia nessa região. Este aspeto, aliado ao elevado potencial eólico *offshore* disponível no mar do Norte e no mar Báltico (Figura 58), e à crescente procura energética europeia, acompanhada pela fraca expansão de projetos eólicos *onshore* por falta de espaços disponíveis em terra, motivou a Europa a investir e a apostar na energia eólica *offshore* (Silva et al. 2013).

Portugal apresenta uma plataforma costeira com profundidades que variam entre 25 e 200 metros com declives reduzidos ($\approx 3\%$) e um recurso eólico *offshore* médio. As características geográficas da costa portuguesa são assim favoráveis à implementação de sistemas *offshore*, em particular para as tecnologias flutuantes, que se prevê que estejam disponíveis industrialmente na Europa a partir de 2020 (Silva et al. 2013).

Situação atual e perspectivas futuras

A Europa detém um elevado potencial eólico *offshore*, estimando-se que a produção de energia atinja a meta de 25 TWh até ao final de 2020. O continente europeu é atualmente o líder mundial em parques eólicos *offshore* (Silva et al. 2013).

A nível mundial a capacidade instalada de parques eólicos *offshore* continua a aumentar. Para além da Europa, existem parques eólicos *offshore* instalados em dois países asiáticos: China e Japão.

Em relação à profundidade e à distância à costa dos parques eólicos *offshore* na Europa, tem-se verificado um aumento de ambas as variáveis.

Portugal revela um potencial eólico *offshore* elevado e, como tal, está envolvido ativamente em projetos que visam o desenvolvimento de parques eólicos *offshore*. Um dos mais importantes é o desenvolvimento da turbina *WindFloat*, representada na Figura 59, uma tecnologia assente numa plataforma flutuante, semissubmersível triangular, cujo protótipo foi amarrado no Verão de 2011 ao largo da costa portuguesa (Aguçadoura, a 5km da costa), encontrando-se a operar em ligação à rede com sucesso desde Novembro de 2011 (Silva et al. 2013).



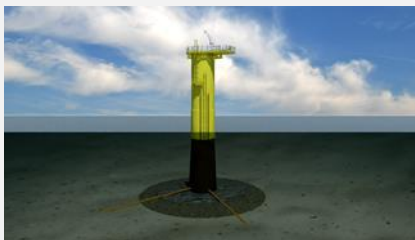
Figura 59 – Windfloat (“Windfloat - Pesquisa Google” 2018).

A captação de energia eólica nos oceanos ou captação offshore, caracteriza-se por uma grande geração de energia, baixo impacto ambiental, custo do kWh relativamente baixo, grande disponibilidade e possibilidade de ser instalada próxima dos grandes centros consumidores. E, apesar dos elevados custos para sua instalação, é economicamente viável, pois os benefícios gerados compensam o seu investimento.

As turbinas eólicas desenvolvidas para captação offshore são turbinas de grandes dimensões e grande capacidade, sendo maiores do que as usadas em terra. Atualmente, as maiores turbinas possuem uma potência de 5 MW e um diâmetro de aproximadamente 125 m. Um dos requisitos para que a produção de energia seja possível reside no facto de esta estar sempre de frente para vento (Portella 2007).

Quando falamos da implementação de turbinas offshore, torna-se imperativo pensar na forma de sustentação.

Tabela 9 – Tipos de fundação utilizados em estruturas eólicas *offshore* (Portella 2007)

Gravity	Possui uma base larga e tem um formato de uma taça cónica, que reduz os impactos das camadas de gelo sobre a turbina. Usada até 5 m de profundidade.	
Monopile	Possui uma base mínima, e o seu uso depende das propriedades do solo no fundo do mar, no entanto é a mais usada. Profundidade limite de 30m.	
Tripod/Truss	Possui uma grande base, proposta de uso em águas profundas. Profundidades maiores que a monopile. Não há experiência com turbinas offshore, somente a conceção.	

As soluções descritas na Tabela 9 são utilizadas em águas pouco profundas onde o fundo marinho é alcançável e, como tal, podem ser construídas fundações. Quando nos afastamos da costa e nos apresentamos a profundidades mais elevadas os sistemas de sustentação passam para estruturas flutuantes (Figura 60) (Portella 2007).

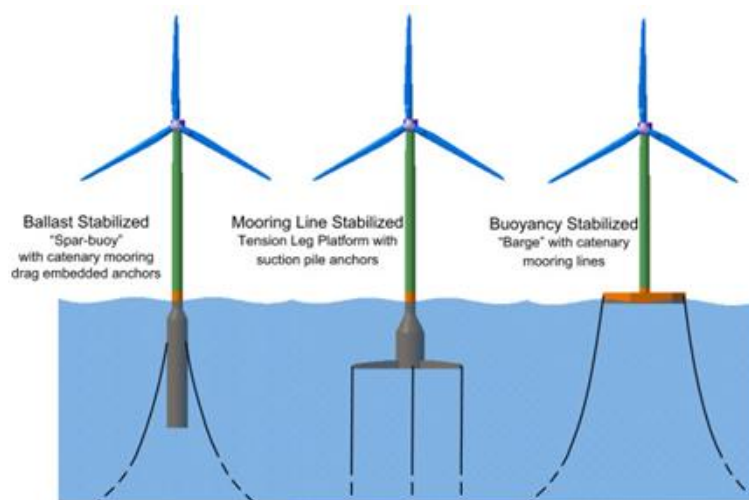


Figura 60 – Principais sistemas de sustentação flutuantes de turbinas eólicas (“Floating Wind Turbines - Pesquisa Google” 2018).

A captação *offshore*, devido às suas características e condições, apresenta certas vantagens, das quais podemos destacar as melhores condições dos ventos sendo mais velozes e estáveis, menor impacto ambiental, visual e sonoro por estar longe da costa, vasta disponibilidade de espaço para implementação e menores restrições no que respeita ao tamanho das turbinas. Por outro lado, é necessário efetuar estudos sobre o impacto em ecossistemas marinhos, rotas de navios e aviões, profundidade do mar, condições geológicas do leito do mar, condições climáticas, atividades pesqueiras e a integração com a rede elétrica (Portella 2007).

3.4.3 Energia solar

O sol é constituído por plasma quente entrelaçado com campos magnéticos. A energia é gerada pela fusão nuclear de núcleos de hidrogénio em hélio. A temperatura da superfície atingida pelo sol é de 5762 K. A energia total do sol é de $3,8 \times 10^2$ MW, um pequeno *quantum* do qual, $1,7 \times 10^{14}$ kW do total de radiação emitida é intercetado pela terra. A procura mundial de energia por um ano é de apenas 30 minutos de radiação solar caída na Terra (Kumar, Shrivastava, and Untawale 2015).

O sistema fotovoltaico converte a luz solar diretamente em eletricidade sem intervenção do motor. Como a energia solar fotovoltaica gera energia de alto grau, não é recomendado degradá-la em energia de baixa intensidade como aquecimento de água. A maior vantagem do sistema fotovoltaico solar é o seu tamanho, o que lhe permite gerar microwatts para megawatts. A sua construção é robusta, simples e quase livre de manutenção. A eficiência de conversão do módulo de última geração está na faixa de 15-20% comercialmente e o tempo de vida útil do painel superior a 30 anos (Kumar, Shrivastava, and Untawale 2015).

A maioria das necessidades energéticas nas atividades marítimas pode ser satisfeita com a energia de baixo grau, disponível abundantemente em recursos naturais. O uso de energia de alto grau para essas atividades é indiscreto. Existe um tremendo potencial para aproveitar a energia solar. A escassez de terras habitáveis, a preocupação ambiental e a proteção do equilíbrio ecológico exigem a implementação da energia solar, como alternativa à fonte convencional de energia

O aproveitamento da energia solar em condições *offshore* torna-se interessante na medida em que pode ser efetuado o arrefecimento por água ou ar melhorando, assim, a eficiência de conversão, facilidade em obter água para limpeza do painel. Trata-se de um sistema modular e escalonável de microwatt a megawatt onde o espaço não é um problema. Por outro lado, como já foi referido, condições oceânicas tornam-se limitações devido à corrosão, às difíceis condições que exigem estruturas capazes de responder a eventos climáticos adversos, possíveis alterações nos ecossistemas preexistentes e ainda a dificuldade legal e incerteza política (Kumar, Shrivastava, and Untawale 2015).

3.5 Manutenção

A instalação de uma unidade em mar aberto é um processo complexo que requer mão de obra qualificada e meios especializados.

Os recursos humanos necessários para operar e manter uma unidade deste género dependem da escala produtiva. Independentemente do tamanho da unidade, há responsabilidades comuns a todos os casos. Em casos de jaulas em mar aberto é necessário um grupo composto, normalmente, por um administrador, um mestre da embarcação e uma equipe de técnicos e mergulhadores para atividades de povoamento, alimentação, inspeção, manutenção, mudanças de rede, pesca, entre outras.

A limpeza das redes passa pelo uso de tecnologias que utiliza água do mar a alta pressão e é efetuada por mergulhadores o que a torna um processo dispendioso, moroso e perigoso, sendo que é sempre influenciado pelas condições climáticas e marítimas. Sempre que as condições ambientais o permitam, os trabalhadores devem estar presentes no local, para inspecionar, limpar, alimentar, remover os peixes mortos e desempenhar outros serviços relacionados com a manutenção das infraestruturas.

Um sistema offshore encontra-se sujeito ao desgaste contínuo provocado pela ação dos elementos oceânicos e a fenómenos de corrosão originados por oxidação a nível das peças metálicas. Este desgaste nos componentes estruturais aumenta o risco de ruturas e a consequente perda da produção. De forma a minimizar os riscos é fundamental uma manutenção periódica que obedeça a um plano predefinido de acordo com as características do local onde se encontra estabelecida a unidade.

4 Desenvolvimento de conceito

Tendo em conta os desafios apresentados no Capítulo 3, a função de submergir uma jaula trará inúmeras vantagens, nomeadamente na busca de uma solução de funcionamento autónomo, isto é, uma solução que contemple sistemas que permitam a sua atuação sem que exista a presença de pessoas na proximidade. A função de submergir uma jaula pode tornar-se numa função muito importante, pois permite a proteção do peixe que se encontra estabulado na jaula quando sujeito a condições externas, favorecendo o seu crescimento e desenvolvimento ao longo do tempo.

Assim, ao longo deste capítulo será descrito o conceito desenvolvido para um sistema de submersão de uma jaula, no âmbito do projeto Cage4PTSea. Para tal, serão identificados os requisitos e especificações, o estudo da influência das forças na estrutura, de forma a escolher os melhores materiais, desenvolvimento de conceitos, projeto de detalhe da solução e seleção de processos de fabrico, com o intuito de selecionar um sistema promissor, tanto a nível de eficácia como de durabilidade.

Através da implementação de um sistema capaz de imergir e emergir a jaula, torna-se possível o seu controlo a nível vertical, o que abre portas para a proteção da estrutura contra agentes externos como a força das ondas, correntes e marés. Esta proteção é conseguida, pois ao mergulhar a estrutura elimina-se a maioria destes esforços comprometedores para estrutura da jaula e para o peixe, aquando de tempestades ou outro tipo de fenómenos meteorológicos adversos. Quando se fala em proteção da jaula é importante referir que a presença humana terá de ser reduzida, pois a necessidade de imergir em condições mais extremas não permite a aproximação de embarcações à estrutura. Assim, abrem-se inúmeras possibilidades para a defesa da jaula, a partir da sua submersão com a garantia de uma emersão.

A possibilidade de criar uma jaula capaz de imergir e emergir, sempre de forma controlada, permite um controlo da taxa metabólica do peixe. Esta é condicionada por diversos fatores, como a disponibilidade de oxigénio, a temperatura da água e a disponibilidade de nutrientes (Chung, Trueman, Godiksen, Holmstrup, & Grønkjær, 2019).

Assim sendo, no caso de surgir a necessidade de atrasar a recolha do peixe, quer por condições marítimas adversas, quer por redução da procura, existe a possibilidade de diminuir a taxa metabólica do peixe.

A possibilidade de ter uma jaula dotada com um sistema autónomo com estas características requer que esta estrutura tenha capacidade de leitura das condições do oceano, a partir de sensores incorporados na estrutura, imergindo-a para proteger o peixe em estabulação, diminuindo o seu stress causado pela agitação marítima e, ainda, confere proteção à estrutura.

O stress causado aos peixes, associado a condições oceânicas adversas, pode originar problemas fisiológicos, como stress osmótico, levando à perda das suas escamas, à redução na taxa de crescimento, danos físicos e mesmo mortalidade.

Um outro fator que foi identificado como sendo um problema nas soluções já existentes, reside na necessidade de utilizar uma embarcação de apoio para efetuar o mergulho e/ou a ascensão da jaula.

4.1 Requisitos

A definição dos requisitos de projeto para a jaula foi de grande importância para o desenvolvimento do conceito que se passará a descrever. Estes requisitos dividem-se em características do peixe a estabular, requisitos impostos para melhorias na eficácia da estabulação e características oceânicas.

O peixe selecionado para cultivo offshore foi a Corvina-legítima (Figura 61) que pode atingir os 2m de comprimento e um peso de 50kg. Este peixe atua em cardume e é normalmente cultivado em jaulas de 500m³ a 1000m³, sendo esperado uma carga de peixe de 10kg/m³. A corvina pode viver até uma profundidade de 200m (Abou Shabana, Abd El Rahman, Al Absawy, & Assem, 2012).

Os juvenis podem pesar à volta de 200g e as suas cabeças podem medir cerca de 2cm, características a ter em atenção para a seleção da rede, isto é a rede pode apresentar malhas de 1,5 a 2 centímetros (Abou Shabana et al., 2012).

A nível comercial a corvina apresenta um valor de 6 a 7 €/kg (PVP) e em termos de rentabilidade de produção constata-se que 1kg de peixe necessita de 1,2kg de comida para 2 anos (Abou Shabana et al., 2012).

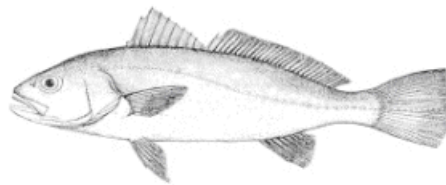


Figura 61 – Corvina-legítima (“Argyrosomus Regius Length - Pesquisa Google” 2012).

O processo de estabulação prevê um stock de alimento para 21 dias calculado para que, desta forma, seja possível uma autossustentação da jaula e uma produtividade máxima.

A evolução das necessidades alimentares dos peixes, desde juvenis até à idade ideal de colheita, não se reflete numa evolução de proporcionalidade direta, mas sim numa evolução aproximada à logarítmica, ou seja, no início a necessidade de alimento é mais reduzida e vai aumentando com o crescimento do peixe. No entanto, a proporção estabelecida permite responder ao limite máximo de metabolismo dos peixes, isto é, quando a necessidade pelo alimento é máxima, garante assim, uma gestão eficiente.

No que respeita às características do local de implementação para esta jaula considerou-se que, este não deve registar alturas de onda superior a 10m, sendo que em média com um comprimento de onda deve ser de 138m para uma altura de onda de 2m. Quanto à profundidade, esta não deverá ultrapassar os 30m.

No que concerne à implementação de um possível demonstrador, o local proposto é ao largo da costa de Peniche, tal como, podemos observar na Figura 62, identificado com um círculo a vermelho.

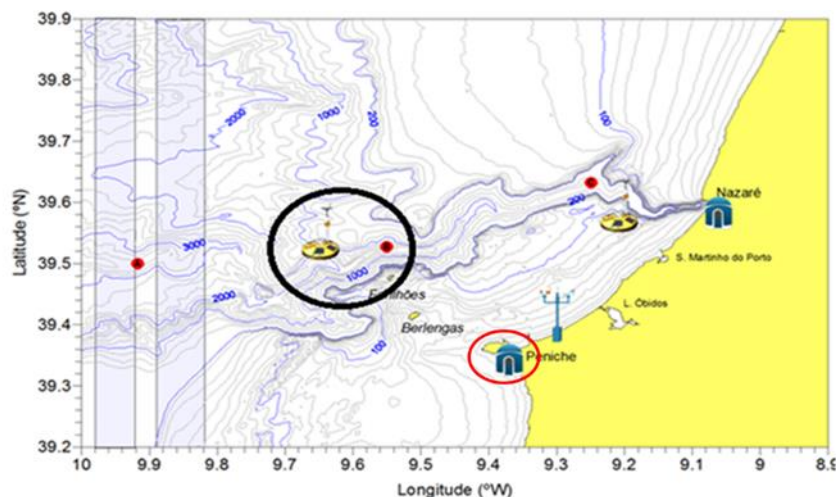


Figura 62 – Local previsto para implementação da jaula (INEGI, IST, and ENP 2018).

A tabela 10 apresenta um resumo dos requisitos definidos e que foram tidos em conta no desenvolvimento do sistema de emersão autónomo da jaula.

Tabela 10 – Requisitos da jaula

Caraterísticas do peixe a estabular	
Espécie	Corvina-legítima
Juvenis	Comprimento
	2cm
Fase adulta	Peso
	200g
Fase adulta	Comprimento
	2 m
Fase adulta	Peso
	50 kg
Volume necessário para a sua estabulação	
500 a 1000 m ³	
Comportamento	
Cardume	
Profundidade mais adequada à sua estabulação	
Até 200m	
Caraterísticas oceânicas	
Velocidade máxima de correntes	
1 m/s	
Altura máxima de ondas	
10 m	
Altura de onda média	
2 m	
Comprimento de ondas	
158 m	
Profundidade do local	
30m	

4.2 Desenvolvimento de conceitos

Nesta secção são apresentados diferentes tipos de conceitos de jaulas para aquacultura desenvolvidos no âmbito do projeto onde esta dissertação se insere com diferentes geometrias, materiais e capaz de dar resposta aos diferentes requisitos. Desta forma é importante avaliar todos os modelos (Figura 63) para entender aquele que dará a melhor resposta aos requisitos propostos e que apresente a melhor relação fiabilidade/economia.

É de salientar que em cada conceito é possível a implementação de um sistema de submersão e emersão. Nesta fase é importante compreender onde alojar o sistema.

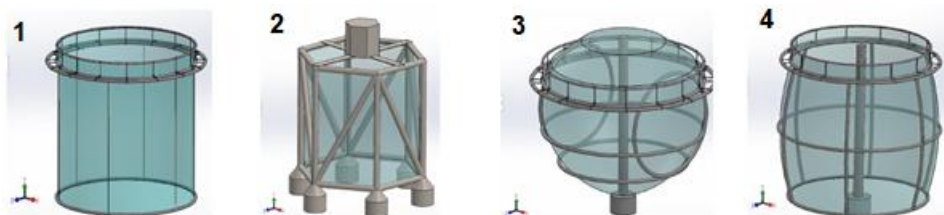


Figura 63 – Diferentes tipos de modelos.

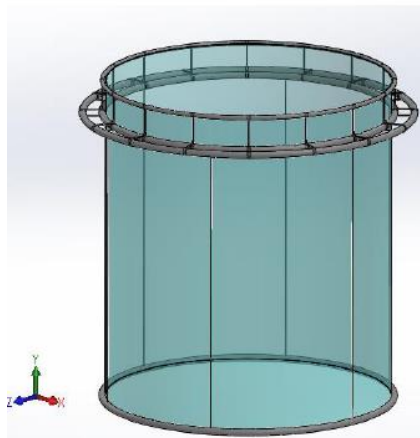
Modelo 1

Figura 64 – Vista de isométrica do modelo 1.

Este modelo foi criado tendo por base os modelos já existentes e comercializados pela marca *Polarcirkel*®, largamente utilizado nos mares da Noruega e com provas dadas da sua capacidade e fiabilidade. O modelo 1 apresenta um volume de 500m³ e necessita de redes com dimensões de 8,6m de diâmetro e 8,8m de altura. O material utilizado neste modelo passa por tubos PEAD de 200mm de diâmetro e abraçadeiras de aço galvanizado.

A inclusão de um sistema de imersão e emersão poderia ser feita nos anéis à superfície.

Tabela 11 – Vantagens e desvantagens do modelo 1

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Simplicidade no design	Baixa resistência da estrutura face à forte ondulação
Conceito bastante testado e aplicado	As aplicações deste conceito ocorrem em águas abrigadas
Custos de construção relativamente baixos	-

Modelo 2

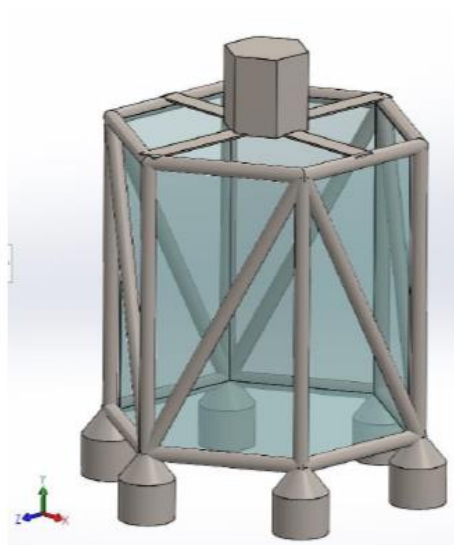


Figura 65 – Vista de isométrica do modelo 2.

O modelo aqui recriado foi projetado para aguentar as condições mais adversas, tendo uma estrutura reforçada em aço. Este modelo 2 detém um volume de 330m^3 e as redes de 7,9m de diâmetro e 8m de altura.

A instalação de um sistema de submersão poderia ser feita no topo da jaula.

Tabela 12 – Vantagens e desvantagens do modelo 2

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Elevada resistência a condições adversas	Complexidade de construção
-	Peso da estrutura elevado
-	Dificuldade na obtenção de estabilidade
-	Custos de construção e instalação elevados
-	Corrosão elevada devido ao material ser aço

Modelo 3

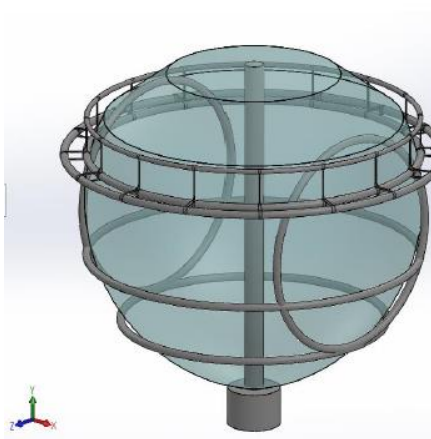


Figura 66 – Vista de isométrica do modelo 3.

Este modelo apresenta uma forma aproximadamente esférica para que através da aerodinâmica consiga resistir às condições oceânicas. O modelo 3 apresenta um volume de 282m^3 onde as redes apresentam 8,6m de diâmetro e 6,5m de altura. O material aqui utilizado é o mesmo do modelo 1, ou seja, tubos de PEAD e abraçadeiras de aço.

Neste modelo o sistema de submersão pode ser aplicado no mastro central.

Tabela 13 – Vantagens e desvantagens do modelo 3

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Elevada resistência a condições oceânicas adversas	Complexidade de construção
Melhor estabilidade	Difícil manutenção
-	Volume reduzido face aos restantes modelos

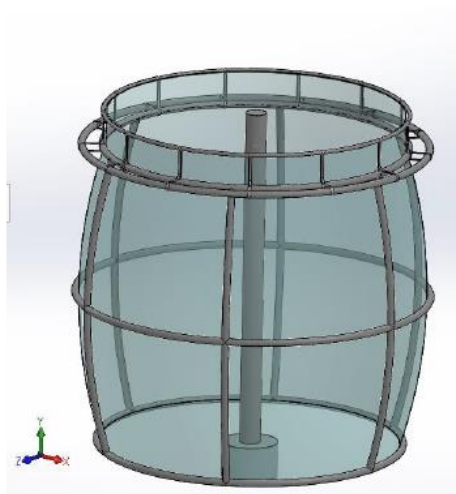
Modelo 4

Figura 67 – Vista de isométrica do modelo 4.

Este modelo apresenta uma estrutura semelhante à do primeiro modelo, mas reforçada com uma barra horizontal e com uma ligeira curvatura ao longo da vertical. O volume deste modelo é de cerca de 630m^3 , com uma altura de 8,8m e com redes de 10m de diâmetro ao centro e 8,8m de diâmetro no topo e na base. O material aqui utilizado é o aço galvanizado nas abraçadeiras e tubos PEAD de 200mm de diâmetro.

Neste modelo existe a possibilidade de implementação de um sistema de submersão e emersão no mastro central.

Tabela 14 – Vantagens e desvantagens do modelo 4

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Estrutura com boa resistência às condições marítimas adversas	Estruturalmente mais complexa do que o modelo 1
Otimização do volume que disponibiliza para os peixes	Instalação mais complexa
Boa estabilidade	-

A Tabela 15 apresenta uma breve comparação entre todos os modelos no que diz respeito ao volume, número de peixes, dimensões da rede e materiais a utilizar.

Tabela 15 – Comparação entre todos os modelos propostos

<i>Parâmetros</i>	<i>Modelo 1</i>	<i>Modelo 2</i>	<i>Modelo 3</i>	<i>Modelo 4</i>
Volume [m ³]	500	330	282	690
Nº de peixes [2kg/peixe a 1,5 kg/peixe]	2500 a 3300	1650 a 2200	1400 a 1850	3150 a 4200
Dimensões da rede [m]	Ø=8,6m h=8,8m	Ø=7,9m h=8m	Ø=8,6m h=6,5m	Ø _{centro} =10m Ø _{topo e base} =8,8m h=8,8m
Materiais	Tubos: Ø200 PEAD Abraçadeiras: Aço galvanizado	Aço	Tubos: PEAD Abraçadeiras: Aço	Tubos: Ø200 PEAD Abraçadeiras: Aço galvanizado

O modelo 4 (Figura 68) foi selecionado como conceito a desenvolver tendo em conta a união de características de reforço e semelhanças para com o modelo 1 que, por sua vez, tem provas dadas em termos de fiabilidade, embora para águas mais protegidas. A curvatura da jaula permite um reforço extra contra a ação de forças externas do oceano e, ainda, garante um volume maior para a estabulação do peixe.

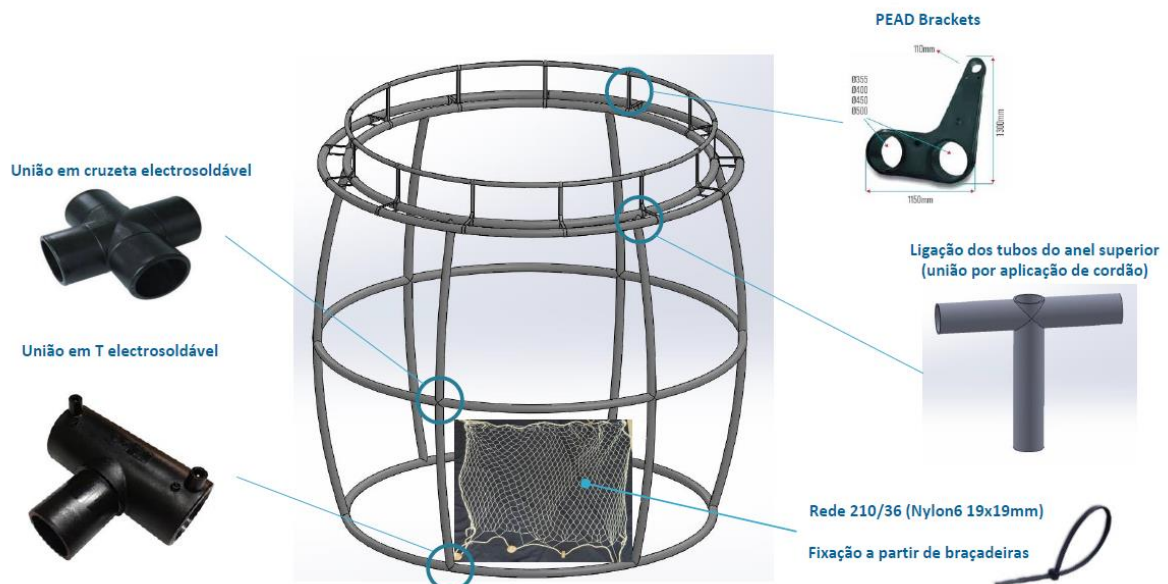


Figura 68 – Modelo selecionado.

No que respeita à construção da jaula serão utilizados os materiais mencionados na Tabela 16. A seleção de materiais e dimensões dos componentes será importante para que, mais tarde, seja possível prever os volumes e o peso da jaula. Os materiais utilizados na construção da jaula serão os representados na Tabela 16:

Tabela 16 – Características dos materiais da estrutura.

	<i>Estrutura da jaula</i>	<i>Mastro central</i>	<i>Rede</i>	<i>Lastro</i>
<i>MATERIAL</i>	<i>POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE</i>	<i>COMPÓSITO DE FIBRA DE VIDRO</i>	<i>POLIAMIDA 6</i>	<i>AÇO INOXIDÁVEL 316</i>
Pressão nominal (bar)	8	-	-	-
ρ [kg/m ³]	930	1670	1140	7800
E [GPa]	0,8	8,5	2,8	200
Coefficiente de Poisson	0,4	0,22	0,39	0,3
Tensão de cedência [MPa]	15	180	90	-

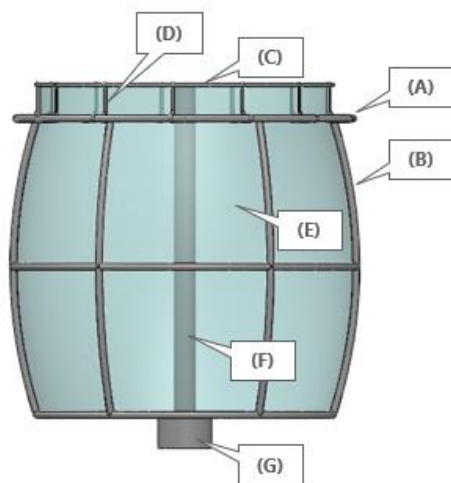


Figura 69 – Modelo selecionado com legenda de componentes.

Tabela 17 – Materiais e legendas dos componentes do modelo

(A) Tubo de PEAD D200
(B) Tubo de PEAD D200
(C) Tubo de PEAD D110
(D) Placas de ligação
(E) Rede
(F) Tubo de compósito de fibra de vidro e resina de poliéster insaturado D 600
(G) Lastro

4.3 Impacto das variáveis do meio sobre a jaula

4.3.1 Esforços da pressão hidrostática na estrutura da jaula

Considerando que o fluido está em repouso, estamos perante um problema estático e como tal a pressão a considerar é a pressão hidrostática.

$$p_h = \rho gh \quad (4.1)$$

Onde:

p_h , é a pressão hidrostática [Pa]
 ρ , é a massa específica do fluido [kg/m^3]
 g , é a aceleração gravítica [m/s^2], e
 h , é a altura da coluna de água [m]

Quando a jaula se encontra à superfície, a pressão no topo da jaula é a pressão atmosférica, ou seja, 101325 Pa em termos absolutos, em termos relativos 0 Pa (Figura 70).

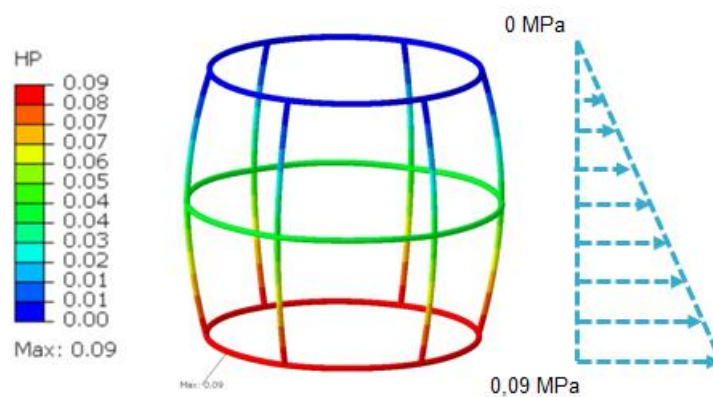


Figura 70 – Pressão hidrostática na jaula à superfície.

Nesta situação a estrutura está longe da sua situação crítica apresentando uma pressão máxima de 0,09MPa.

A estrutura a ser desenvolvida será submergível a uma profundidade de 30m onde a pressão será substancialmente maior do que a pressão atmosférica sentida à superfície.

Quando a jaula mergulha até uma profundidade de 20m a sua pressão hidrostática aumenta proporcionalmente (Figura 71).

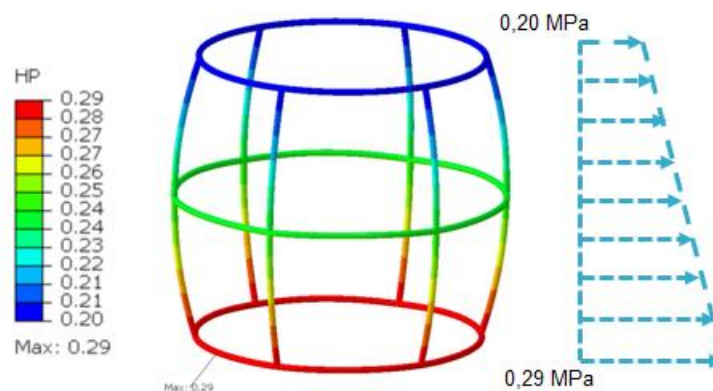


Figura 71 – Pressão hidrostática na jaula a 20 m de profundidade.

A tensão de cedência do material não pode ser ultrapassada para que seja garantida a integridade física da estrutura. Assim, quando a jaula se encontra à profundidade de 20m, simulando a situação extrema, surgem dois cenários possíveis. Um primeiro cenário com ar no interior dos tubos e um segundo cenário com água no interior dos tubos.

Tal como pode ser observado na Tabela 18, a tensão máxima a que a estrutura com ar no interior dos tubos é de 17,58MPa o que excede a tensão de cedência do material. Assim, será utilizada a solução de água no interior dos tubos da jaula de forma a garantir a preservação da estrutura onde a tensão máxima é de 4,77MPa.

Tabela 18 – Estudo da tensão de cedência nos dois cenários possíveis

	<i>Cota de água (m)</i>	<i>(1) Pressão hidrostática</i>	<i>(2) Peso da estrutura + Lastro</i>	<i>Combinação (1) + (2)</i>
Estrutura com ar no interior dos tubos	0	$\sigma_{\max} = 12,54 \text{ MPa}$	$\sigma_{\max} = 13,21 \text{ MPa}$	$\sigma_{\max} = 9,69 \text{ MPa}$
	-20	$\sigma_{\max} = 17,58 \text{ MPa}$		$\sigma_{\max} = 14,37 \text{ MPa}$
Estrutura com água no interior dos tubos	0	-	$\sigma_{\max} = 4,77 \text{ MPa}$	
	-20	-		

Após esta análise, pode-se afirmar que a jaula irá conter água no interior dos tubos e como tal, o peso da estrutura será a conjugação do material com a água.

Na superfície a jaula estará sujeita a esforços provocados pelas ondas, pelas forças de arrasto das correntes e redes e, ainda, pelo peso da jaula.

4.3.2 Esforços na estrutura

Na superfície a jaula estará sujeita a esforços provocados pelas ondas, pelas forças de arrasto das correntes e redes e ainda, pelo peso da jaula.

Redes

A colocação das redes na jaula será feita sob a forma de painéis num total de 12 nas laterais e 1 painel em cada um dos topos (Figura 72).

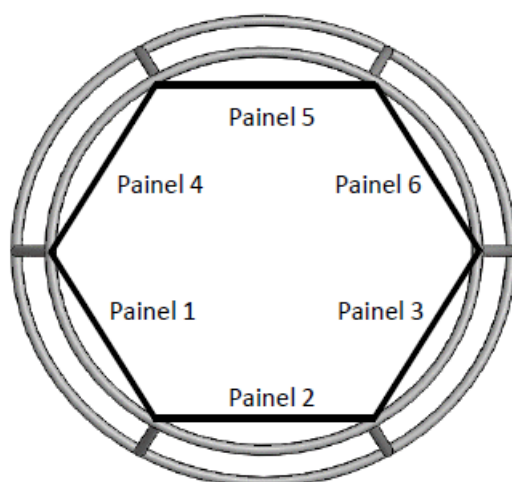


Figura 72 – Representação esquemática dos painéis de rede.

Existem 2 tipos de malha para as redes, a malha sem pontos e as malhas com pontos. Neste projeto foi utilizada a malha sem pontos de forma a minimizar o arrasto e incrustações.

O fio escolhido para a rede deste projeto foi o fio torcido 210/36. O fio da rede apresenta as características descritas na Tabela 19.

Tabela 19 – Propriedades da rede selecionada

REDE 210/36

Material	Poliamida 6 (Nylon®)
Malha	19 x 19 mm ²
Peso	3,84 m ² /kg
Painel projetado	4,2 x 4,9 m

A malha 19 x 19 mm² foi selecionada devido ao tamanho dos juvenis que apresentam uma cabeça com aproximadamente 20mm. As forças de arrasto dividem-se na força de arrasto da rede e na força de arrasto das correntes. A acrescentar a estes esforços existe ainda, a força provocada pelas ondas.

Os esforços obtidos podem ser observados na Tabela 20.

Tabela 20 – Esforços de arrasto e das ondas (Inegi 2019)

<i>Painel</i>	<i>Rede [kN]</i>		<i>Corrente [kN]</i>		<i>Ondas [kN]</i>		<i>Total [kN]</i>
P1 = P3 (4x)	1,34	13%	1,21	11%	8	76%	10,55
P2 (2x)	2,26	15%	1,74	11%	11,50	74%	15,50
P4 = P6 (4x)	1,09	11%	0,99	10%	8	79%	10,08
P5 (2x)	1,83	12%	1,42	10%	11,50	78%	14,75

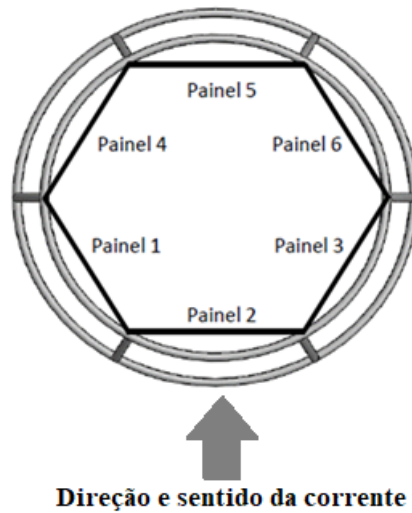


Figura 73 – Esquema dos painéis de redes.

Utilizando o software *Abaqus* de simulação foram introduzidos pontos para aplicação das cargas no meio de cada painel e no meio do anel superior foi introduzido o ponto de fixação, ou seja, de encastramento da jaula, como se pode observar pela Figura 74.

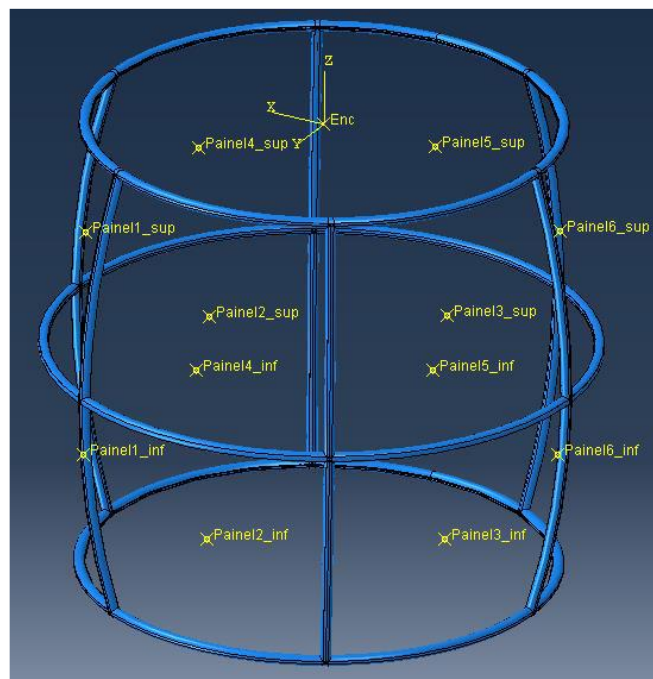


Figura 74 – Definição dos pontos de carregamento.

De seguida foi atribuída uma secção do painel a cada ponto de carregamento.

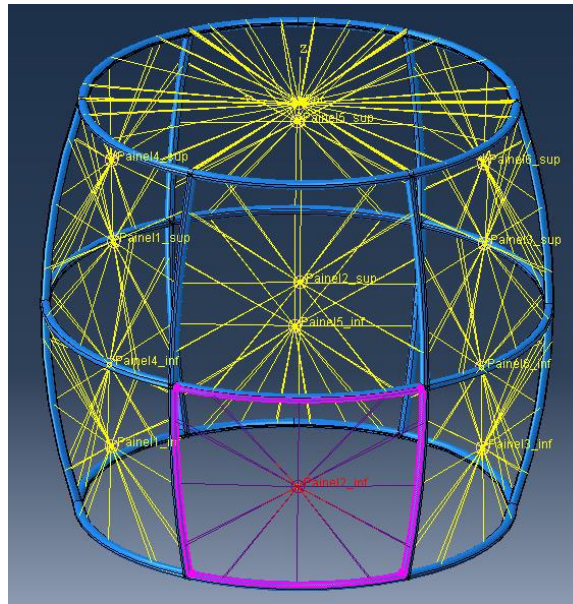


Figura 75 – Definição das interações.

As forças hidrodinâmicas são aplicadas todas nos mesmos pontos com a mesma direção, à exceção das forças na rede. Também é aplicada sobre a estrutura a força da gravidade, ou seja, o peso próprio da jaula (Figura 76).

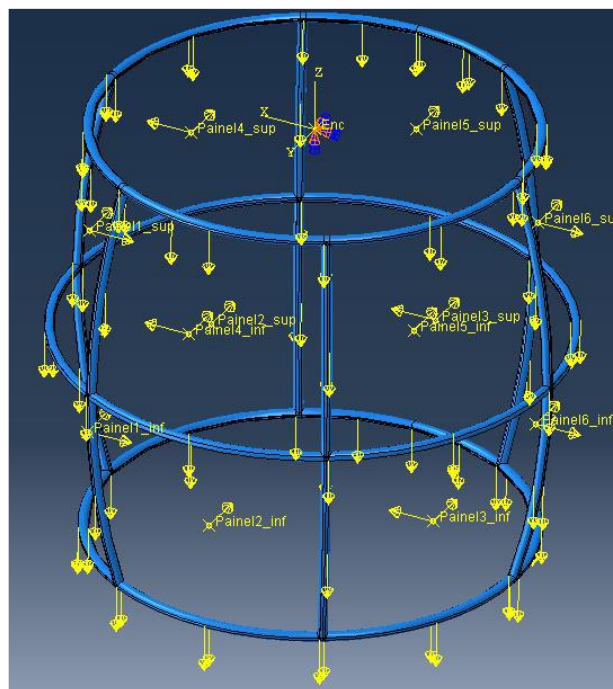


Figura 76 – Carregamento das forças.

Obtemos desta forma as tensões equivalentes de von Mises onde o valor de tensão máximo é de 6,46 MPa que, por sua vez, é inferior à tensão de cedência do material dos tubos ($\sigma_{ced PEAD} = 15 \text{ MPa}$).

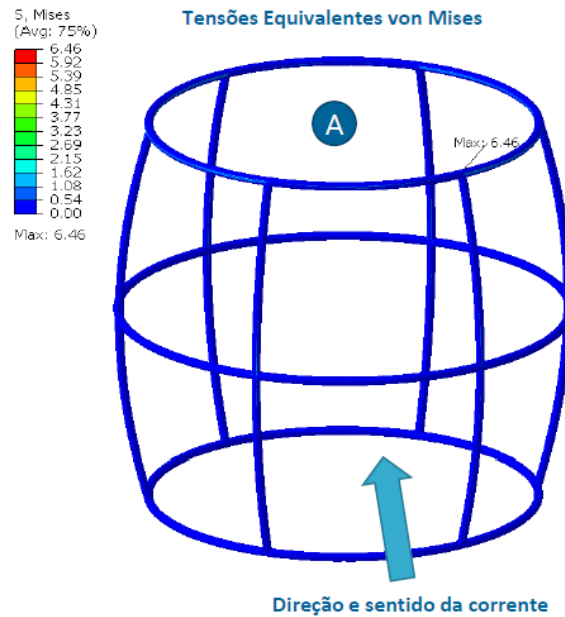


Figura 77 – Tensões Equivalentes de von Mises.

Em suma, o volume da jaula e do tubo à superfície é de $1,25\text{m}^3$ e o volume da jaula mergulhada é de $3,92\text{m}^3$. Quanto ao volume de água contida no interior dos tubos, este é de $2,94\text{m}^3$.

Assim, ao peso total da jaula é de 42,39 kN, onde 12,83 kN representa o peso da estrutura da jaula e 29,56 kN respeitam ao peso da água que se encontra no interior do tubo.

4.4 Projeto de detalhe de sistemas de submersão

Neste subcapítulo são apresentados conceitos de sistemas capazes de imergir e emergir a jaula baseados na Lei de Arquimedes, ou seja, variado a força de impulsão com alteração de volumes e peso das estruturas.

No mercado existem atualmente inúmeras aplicações que se regem no conceito da Lei de Arquimedes, como por exemplo, submarinos, submersíveis, *lifting bags* e bexigas de flutuação (Figura 78).

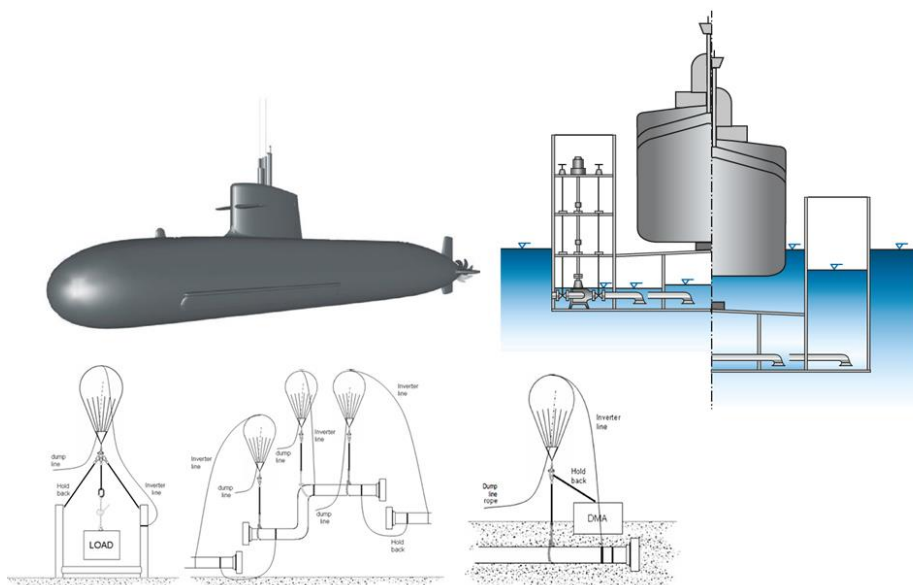


Figura 78 – Aplicações da lei de Arquimedes (“Water Lifting Bag Diagram - Pesquisa Google” 2019).

Quando se fala na necessidade de submergir algo, o pensamento mais recorrente assenta nos submarinos, ou seja, veículos que conseguem navegar, quer à superfície, quer debaixo de água, sendo que, o seu principal foco se baseia na capacidade de permanecer debaixo de água em longas trajetórias. Os submarinos são embarcações desenvolvidas durante a Primeira Guerra Mundial para uma navegação subaquática. No entanto, possuem a possibilidade de, quando necessário, ascender à superfície. Estes veículos subaquáticos são equipados com tanques de lastro (Figura 79) que, no momento de submersão são preenchidos com água para que se atinja a flutuabilidade zero. Uma vez atingido este estado, quanto maior for a quantidade de água presente nos lastros maior será o peso do submarino, ou seja, o peso irá ser superior à força de impulsão resultando na sua submersão (Y. Chen et al. 2017).

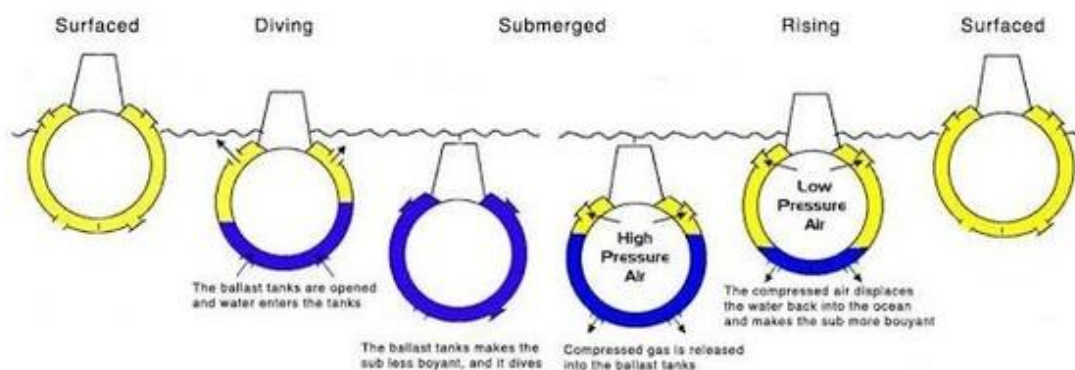


Figura 79 – Sistema de lastro à base de ar comprimido num submarino (Y. Chen et al. 2017).

Um tanque de lastro é um compartimento dentro da estrutura de navios, barcos submarinos ou uma estrutura flutuante que contém água para manter a sua estabilidade (Figura 80). Estes componentes são uma parte fundamental em qualquer uma das estruturas ou veículos aquáticos mencionados anteriormente, uma vez que, para além de conferir estabilidade, também permitem a imersão e emersão de submarinos fazendo-o de forma fiável.

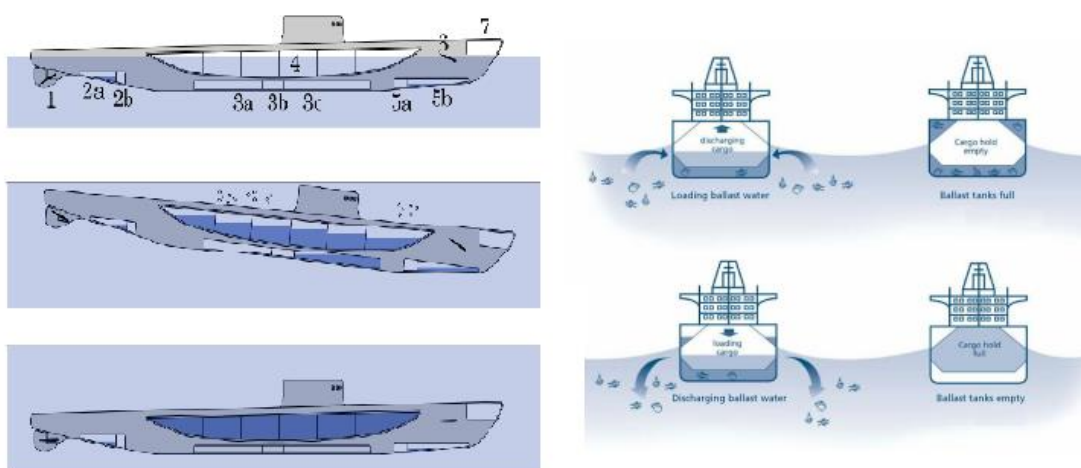


Figura 80 – Tanque de lastro em submarinos e navios (Balaji, Yaakob, and Koh 2014).

Uma vez que o objetivo deste projeto reside na eficiência e simplicidade, os elevados custos associados a sistemas de lastro equiparadas aos utilizados nos submarinos torna a necessidade de procurar sistemas mais acessíveis. Na solução a propor, o espaço ocupado pelo sistema será restrito, a estrutura assumirá uma relação de custo/benefício, onde as propriedades dos compósitos de fibra de vidro impregnadas com resinas de poliéster isoftálicas terão de suportar o peso e a operação do sistema de submersão e emersão.

Para submergir uma estrutura podem ser considerados dois métodos de mergulho, o mergulho estático e o mergulho dinâmico. Muitos modelos de veículos aquáticos submarinos usam o método de mergulho dinâmico, enquanto que o mergulho estático é usado pelos submarinos militares. No mergulho estático a variação do peso da estrutura é que promove a deslocação vertical. Por outro lado, no mergulho dinâmico, a força descendente é criada por aerofólios permitindo assim, submergir e manter o submarino em movimento. Assim, no mergulho dinâmico, se a estrutura estiver parada, não há movimento descendente e, por conseguinte, flutua (Tusar et al. 2015). Tendo em conta estes dois métodos de mergulho, a seleção do método a utilizar para a jaula de aquacultura passa pelo mergulho estático, visto que, o sistema terá apenas movimento vertical.

Uma vez selecionado o método de mergulho estático é necessário abordar o funcionamento do sistema a implementar. Tal como já foi referido anteriormente, um sistema semelhante ao utilizado nos submarinos é impensável em virtude da sua complexidade e do espaço necessário para a sua implementação.

No projeto do sistema de imersão e emersão da jaula os conceitos de impulsão e flutuação são a base da operação aumentando o volume para que aumente a força de impulsão. Desta forma será possível efetuar o movimento ascendente da estrutura. Para que o oposto ocorra, ou seja, o movimento descendente, será necessário diminuir ao volume de água deslocada pelo sistema.

A implementação deste sistema está prevista para ser efetuada no mastro central de forma a que este espaço seja aproveitado de forma eficiente, não se cingindo apenas, a conferir estabilidade à estrutura.

Em primeiro lugar, é necessário garantir a existência de uma câmara, onde seja possível uma variação da cota de água. Em conjunto com esta câmara será necessário contar com uma segunda câmara, esta estanque, destinada à implementação do sistema de submersão e podendo ainda, ser implementados outros sistemas.

4.4.1 Conceitos de sistemas de submersão

De forma a desenvolver um conceito final serão exploradas várias possibilidades de sistemas mais compactos utilizados em submarinos não tripulados, radio comandados, denominados UUV, *Unmanned Underwater Vehicles*, que podem ser adaptados ao mastro central da jaula de aquacultura tornando-a capaz de efetuar um mergulho e ascensão vertical em alto mar desenvolvidos no âmbito deste projeto.

Tanque de lastro flexível

O tanque de lastro flexível consiste num balão de borracha colocado dentro de um tanque rígido. Para inundar o tanque, a válvula é aberta e a água é bombeada para o tanque. Quando o tanque estiver cheio a válvula fecha para evitar que a água saia. Este sistema de tanque de lastro flexível necessita de uma bomba de alta pressão para que seja possível bombear água para o interior do balão e ao mesmo tempo superar a sua elasticidade. Além dos avultados custos, no que respeita a este tipo de bombas de alta pressão, o sistema não permite que o tanque fique totalmente preenchido (Tusar et al. 2015).

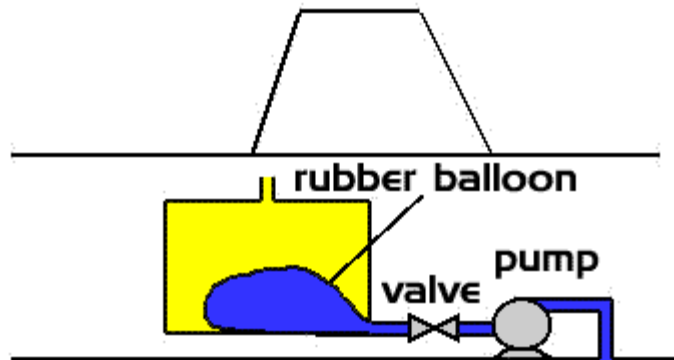


Figura 81 – Esquema de lastro flexível (Tusar et al. 2015).

A utilização de bombas em meio aquático irá originar vaporização de líquido devido à redução de pressão durante o escoamento no interior do equipamento. Esta redução de pressão cria bolhas de vapor no escoamento, que ao condensarem libertam energia que embate contra as paredes do equipamento sob a forma de ondas de pressão. Este fenómeno tem o nome de cavitação e provoca danos avultados nos equipamentos.



Figura 82 – Exemplo de equipamento danificado pelo efeito da cavitação (“Cavitação Em Bombas - Pesquisa Google” 2015).

A empresa *H₂O equipment company* fabrica este tipo de reservatórios que podem ser adaptados a este conceito como podemos observar pela Figura 83.



Figura 83 – Tanque com bexiga de água incorporada (“Pressure Bladder Water Tank - Pesquisa Google” 2019).

No que diz respeito à bomba para mover a água para o interior da bexiga, terá de ser selecionado um modelo submersível, resistente à água do mar, ou seja, os seus componentes têm obrigatoriamente de resistir aos agentes corrosivos e aos esforços induzidos pelo próprio meio. Assim, este tipo de bombas são construídas predominantemente por alumínio, aço inoxidável ou termoplásticos.

Tanque de lastro ventilado

O princípio de funcionamento do tanque de lastro ventilado é o mesmo que o tanque de lastro flexível. No entanto, quando o tanque é inundado o ar é libertado através de uma abertura. Esta variável é prejudicial, uma vez que, a ventilação necessita de estar à superfície (Tusar et al. 2015).

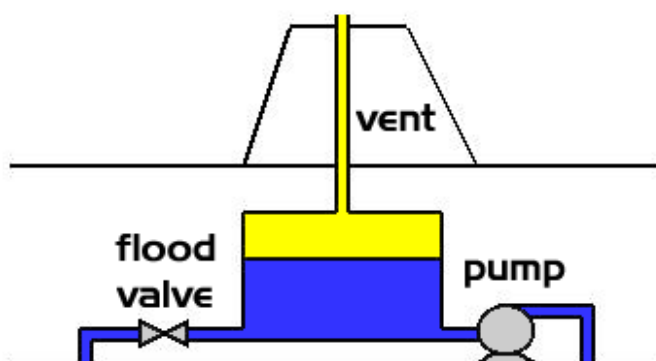


Figura 84 – Esquema de tanque de lastro ventilado (Tusar et al. 2015).

Tanque de lastro pressurizado

O tanque de lastro pressurizado é composto por um tanque de lastro estanque capaz de suportar altas pressões. O ar fica preso dentro do tanque de lastro e por sua vez, o ar é comprimido para que o tanque de lastro nunca possa ser totalmente alagado. A deslocação da água é efetuada por uma bomba de alta pressão (Tusar et al. 2015).

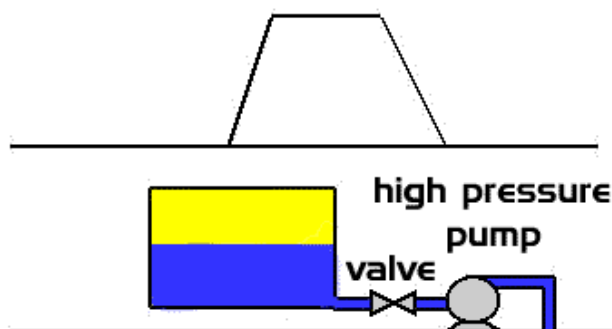


Figura 85 – Esquema de tanque de lastro pressurizado (Tusar et al. 2015).

Tanque de lastro de pistão

O tanque de lastro de pistão caracteriza-se por um cilindro e um pistão móvel. Neste sistema o pistão é movido por um eixo roscado, um mancal, uma porca do eixo e um motor. O pistão é selado com dois anéis de vedação macios (Tusar et al. 2015).

O eixo roscado do êmbolo traz problemas pela criação de um elevado espaço ocupacional aquando do enchimento total do lastro e acrescenta problemas de desgaste mecânico das peças. Saliente-se, ainda, o atrito entre as superfícies, dada a importância da estanquicidade entre a câmara de lastro e a câmara de suporte do motor e outros componentes.

A estanquicidade é garantida por meio de vedantes, onde a sua seleção com a industrialização marítima crescente torna-se uma tarefa relativamente simples de levar a cabo. Marcas como a *Trelleborg*® encontram-se na vanguarda utilizando materiais compósitos na construção destes vedantes, tornando-os mais duradouros e eficientes.

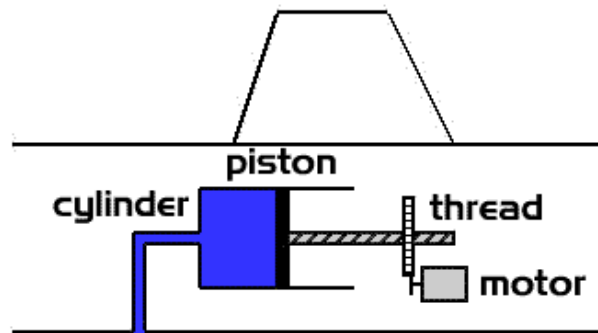


Figura 86 – Esquema de tanque de lastro de pistão com atuação de fuso roscado (Tusar et al. 2015).

Ao invés de utilizar um motor, que por ação de um fuso roscado permite movimentar o êmbolo poder-se-á utilizar um sistema hidráulico que por atuação de electroválvulas permita movimentar de forma controlada o êmbolo. Para tal, foi desenvolvido neste contexto um sistema hidráulico capaz de permitir o movimento do êmbolo. A electroválvula de gaveta de três posições e quatro orifícios com centragem por molas garante o avanço e o recuo e ainda, permite manter o cilindro numa posição dentro do seu curso de atuação estático devido ao centro fechado. Foram adicionadas ao sistema duas válvulas, uma reguladora de pressão e uma válvula de segurança para garantir o correto funcionamento do circuito, sem comprometer a estrutura. O circuito desenhado pode ser observado na Figura 87.

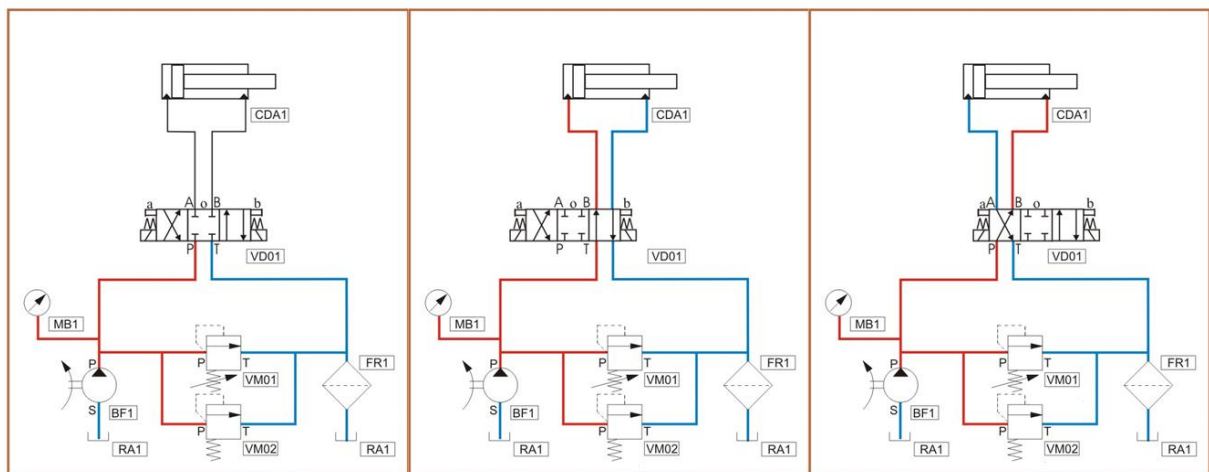


Figura 87 – Sistema hidráulico de comando para a atuação de um cilindro de duplo efeito por atuação de uma electroválvula direcional 4/3.

A utilização de equipamento hidráulico leva há necessidade de utilizar componentes de maiores dimensões face ao equipamento pneumático.

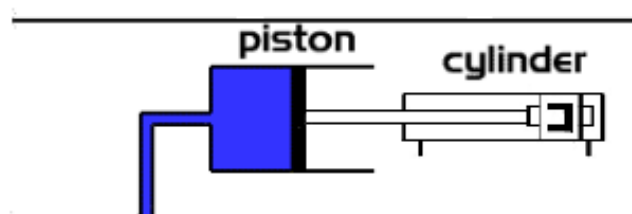


Figura 88 – Esquema de tanque de lastro de pistão com atuação de cilindro hidráulico.

Tanque de lastro de ar comprimido

O sistema aqui descrito é o utilizado em submarinos reais. Para efetuar a inundação do tanque, a sua válvula de ventilação é aberta e como tal o ar é libertado. Deste modo, a água consegue entrar no tanque de lastro por um orifício. Para esvaziar o tanque, o ar comprimido é conduzido para este pela abertura da válvula entre o reservatório de ar comprimido e o tanque.

Este sistema apresenta vários componentes como um compressor para comprimir o ar, um reservatório para o armazenar, válvulas e redes de ventilação. A quantidade de equipamento necessária para um correto funcionamento deste sistema pode ser considerada uma desvantagem, quer a nível de custos, complexidade, quer mesmo de peso a acrescentar à estrutura.

A presença de um ambiente húmido torna mais restrita a seleção de compressores, tendo em conta a qualidade do ar e a possibilidade de ocorrer condensação no interior da rede de ar comprimido.

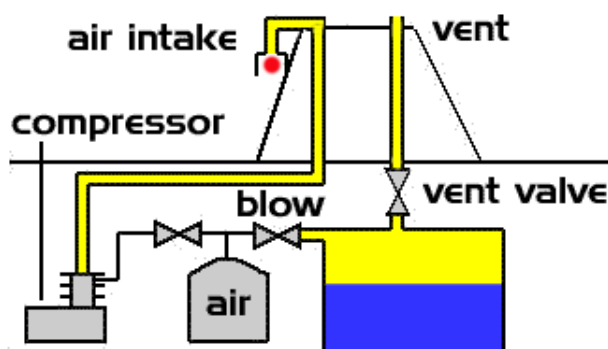


Figura 89 – Esquema de tanque de lastro de ar comprimido (Tusar et al. 2015).

Tanque de lastro fixo com *lifting bags* exteriores

O conceito aqui representado incluiu um reservatório de ar comprimido no interior do mastro com um sistema que permite insuflar as bexigas de ar exteriores.

A ocupação de espaço destinado ao cultivo do peixe torna esta solução pouco viável, uma vez que compromete a eficiência da estabulação do peixe. Além disso, será necessário acrescentar um lastro de aço maior para afundar a jaula.

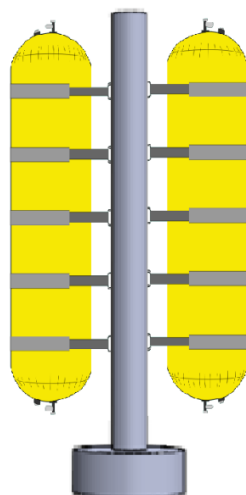


Figura 90 – Esquema de tanque de lastro com inclusão de *lifting bags* no exterior.

Comparação dos diferentes tipos de sistemas

O sistema pretende ser o mais simples a nível de montagem, operação e manutenção. Este deve apresentar a melhor relação entre os custos iniciais e os custos de manutenção visando a maximização de lucros. A durabilidade do sistema, refletida no desgaste dos componentes deve ser contabilizada em conjunto com a facilidade para efetuar manutenções e substituição de componentes. Saliente-se ainda a proteção do sistema, isto é, quanto mais exposto aos agentes nefastos do mar, pior será a nível de durabilidade. O volume ocupado pelo sistema representa outro fator a levar em consideração, pois não deverá ocupar o volume destinado à estabulação do peixe nem ocupar todo o mastro central. Este espaço representa uma possibilidade para adicionar ao conceito de jaula autossuficiente outros componentes, tais como equipamentos para alimentar os peixes, reservatórios de alimento para criação de stocks, incorporação de controladores programáveis em conjunto com sensores para um funcionamento autónomo.

De forma a compreender melhor qual a solução mais vantajosa foi efetuada uma análise comparativa de todos os conceitos. A Tabela 21 apresenta uma pontuação que varia de 1 a 3 onde, quanto mais elevada a pontuação, mais ênfase será dado ao tópico em questão.

Tabela 21 – Análise dos diferentes sistemas de submersão

	Complexidade do sistema	Custos		Durabilidade	Volume ocupado pelo sistema	Total
		Iniciais	Manutenção			
Tanque de lastro flexível	2	3	3	2	2	12
Tanque de lastro ventilado	2	3	3	2	2	12
Tanque de lastro pressurizado	3	3	3	1	2	12
Tanque de lastro de pistão atuado com fuso roscado	3	3	3	1	3	13
Tanque de lastro de pistão atuado com cilindro hidráulico	3	3	3	1	3	13
Tanque de lastro de ar comprimido	3	3	3	3	3	15
Tanque de lastro fixo com <i>lifting bags</i> exteriores	1	1	1	1	3	7

Após a análise da Tabela 21, comparando as potencialidades dos conceitos, conclui-se que deve ser usado um sistema que irá efetuar uma variação no volume de água no interior de uma câmara. Tendo em conta as características que as *liftingbags* oferecem, percebeu-se que uma

barreira física entre o ar e a água traria menores custos associados e uma eficiência garantida por controlo de electroválvulas. Assim sendo, utilizou-se uma bexiga pneumática, que por enchimento e esvaziamento pode efetuar uma variação no volume de água no interior da câmara.

Assim surge o sistema da Figura 91.

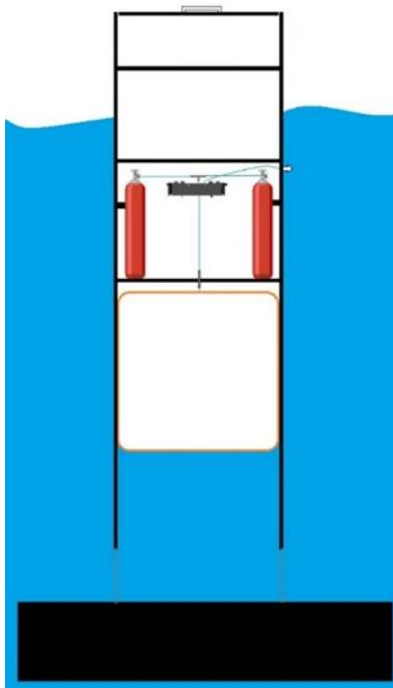


Figura 91 – Esquema de tanque de lastro de água com bexiga de ar interior.

4.4.2 Conceito de mastro autónomo e autossuficiente

A seleção do conceito final assenta nesta última solução, onde os materiais utilizados apresentam alternativas economicamente mais vantajosas. Oferecem a possibilidade de toda a estrutura ser projetada para resistir à água do mar, podendo inclusive ser aplicado um revestimento *antifouling*. Não envolve componentes móveis, como fusos ou bombas de água, o que traz benefícios nas manutenções, pois são componentes que iriam sofrer elevado desgaste. Não compromete o espaço da jaula e, conseqüentemente, tem menos impacto para a atividade aquícola. A manutenção da estrutura torna-se simples, uma vez que todo o sistema pode ser facilmente acedido pela parte superior do mastro e as manutenções mais frequentes requerem apenas um enchimento das garrafas de ar comprimido, por meio de um compressor, de forma a garantir um novo ciclo de imersão e emersão.

Desta forma, o conceito selecionado irá apresentar uma câmara onde a água de cota variável será utilizada como lastro variável. A variação da cota de água será conseguida através de uma bexiga de ar no interior da câmara. A pressão no interior da bexiga terá de ser ligeiramente superior à sua pressão exterior, de forma a tornar possível o seu enchimento. Assim, expulsando a água do interior da câmara o lastro diminui e, por conseguinte, a flutuação torna-se positiva e a estrutura emerge. No processo inverso, ou seja, na submersão, o ar contido na bexiga é evacuado para o exterior da estrutura, o que permite à água entrar na câmara. Desta forma aumentando o peso do lastro a flutuação da estrutura torna-se negativa originando a sua imersão. A alimentação pneumática será efetuada por meio de garrafas de ar comprimido reabastecíveis por mangueiras à superfície. A bexiga será controlada por atuação de electroválvulas, tanto direcionais, como reguladoras de caudal e limitadoras de pressão. A atuação destas válvulas será efetuada a partir de um controlador, onde a forma de operar será

programada. A fonte de energia é proveniente de baterias, garantindo energia elétrica suficiente para o correto funcionamento. A estrutura contará com um espaço reservado para o alimento, bem como, para um sistema capaz de o transportar até aos peixes. No que toca à estrutura do tubo em compósito de fibra de vidro (Figura 92) será necessário contabilizar a necessidade de acesso ao seu interior para manutenção e reposição do *stock* de alimento para os peixes. Por fim, será necessário acrescentar um lastro de aço inoxidável para melhorar a estabilidade da estrutura e, ainda, compensar a força de impulsão da estrutura.

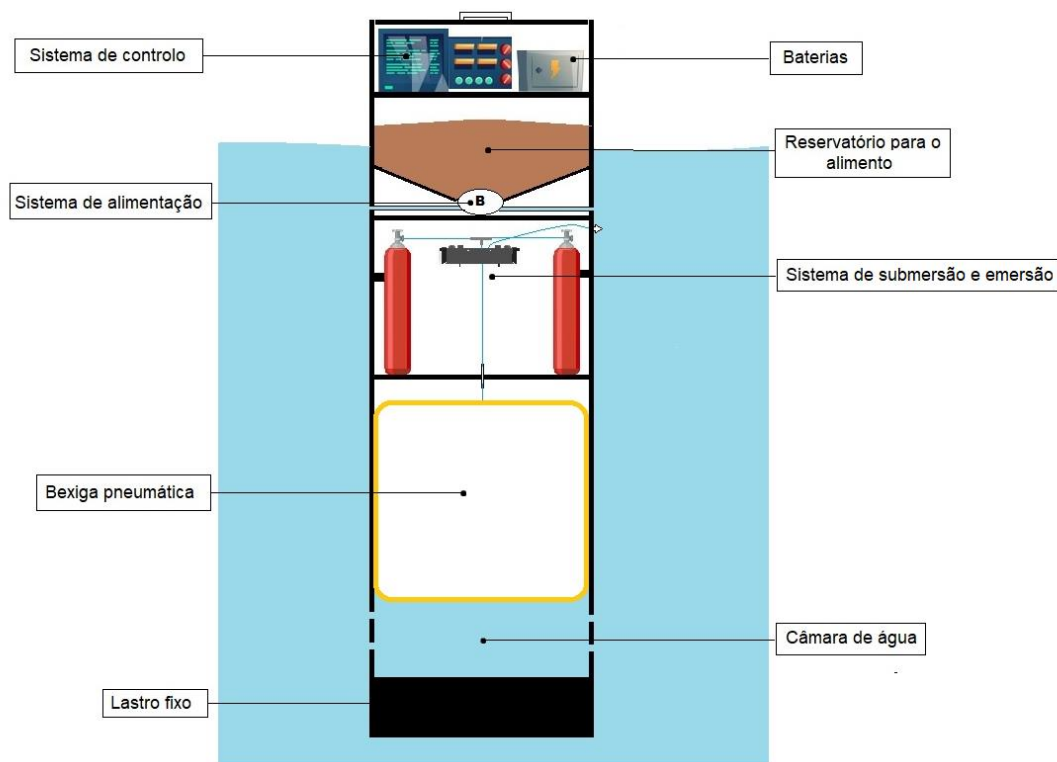


Figura 92 – Esquema do conceito a desenvolver.

4.5 Sistema de imersão e emersão

A função destinada ao mastro central dentro do projeto *Cage4PtSea*, além de conferir estabilidade à estrutura, será utilizado como lastro permitindo a subida e descida da jaula por meio de um sistema capaz de variar o seu peso. O objetivo deste sistema prende-se com o deslocamento vertical da jaula, desde a superfície da água até 30m de profundidade e vice-versa. Assim sendo, este terá de ser dimensionado tendo em conta a variação de pressão, bem como o equilíbrio do peso da estrutura com a sua força de impulsão.

A acrescentar a este sistema de imersão e emersão existe espaço para um sistema de alimentação com reservatório para *stock* de alimento capaz de sustentar o peixe durante um período de 21 dias e, ainda, um sistema que permita a dispersão do alimento até ao peixe.

Crítérios como facilidade de montagem e manutenção, contaminação do meio aquático, segurança em termos operacionais e possibilidade de tornar a estrutura autónoma terão de ser levados em consideração neste projeto.

O mastro encontra-se representado na Figura 93.

No que respeita a construção do mastro será utilizado material compósito de fibra de vidro do tipo E com resina de poliéster insaturado isoftálica. A ficha técnica do material compósito pode ser observada no Anexo A.

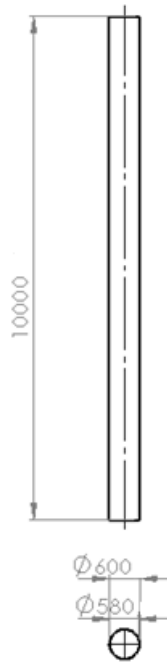


Figura 93 – Diagrama do tubo do mastro central com as respectivas dimensões.

Para efeitos de cálculo irá ser admitido uma massa específica da água do mar de 1025 kg/m^3 , uma massa específica do material compósito de 1670 kg/m^3 e uma aceleração gravítica de $9,81 \text{ m/s}^2$.

No que toca a dados do mastro, podem ser observados na Tabela 22.

Tabela 22 – Dados do mastro central

Raio exterior	0,3 m
Raio interior	0,29 m
Comprimento do mastro total	10 m
Espessura da parede do mastro	0.01 m

Pela utilização dos dados do mastro é possível obter as áreas e os volumes, apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Cálculo de áreas e volumes do mastro central

Área exterior	$0,28 \text{ m}^2$
Área interior	$0,26 \text{ m}^2$
Volume exterior	$2,83 \text{ m}^3$
Volume interior	$2,64 \text{ m}^3$
Volume de material do mastro	$0,19 \text{ m}^3$

$$P_{mastro} = V_{mastro} \times \rho_{composito} \quad (4.2)$$

Onde:

P_{mastro} , é o peso do mastro central
 V_{mastro} , é o volume exterior do mastro, e
 $\rho_{compósito}$, é a massa específica do material compósito

Desta forma obtemos um peso de 3,12 kN. Uma vez que o mastro central irá apresentar divisões, ou seja, irá ser projetado por módulos soldados entre si, será atribuído um coeficiente de segurança de 1,5 ao peso obtido anteriormente obtendo-se assim 4,69 kN de peso por uma questão de segurança.

4.5.1 Pressão hidrostática no mastro central

O mastro central é projetado para uma altura de 10m com 1m fora de água. Assim sendo, a pressão hidrostática relativa no fundo do mastro central à semelhança da jaula é calculada da mesma forma obtendo-se valores idênticos, uma vez que a ligação entre a jaula e o mastro será semirrígida, por meio de cabos de aço.

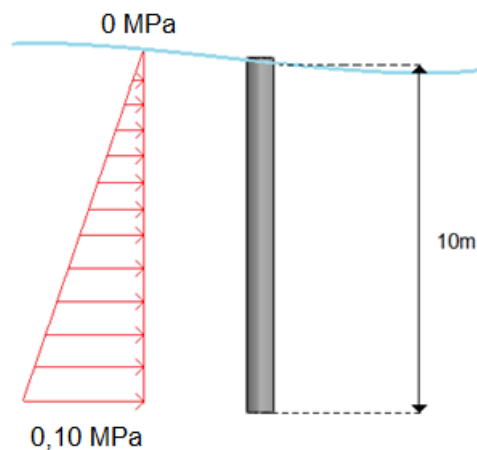


Figura 94 – Pressão hidrostática relativa do mastro à superfície.

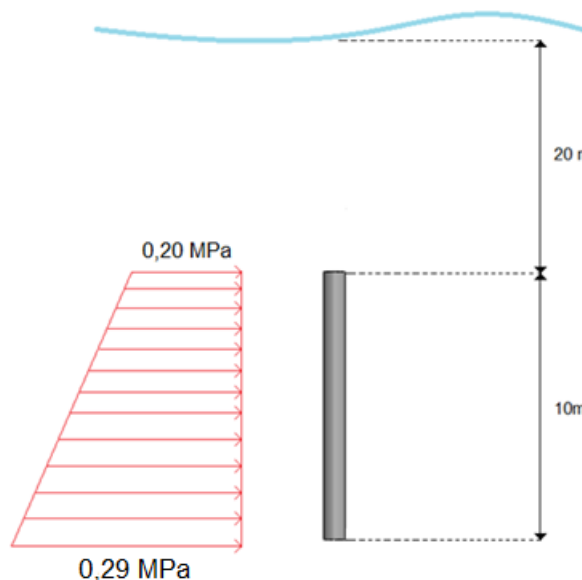


Figura 95 – Pressão hidrostática relativa do mastro à profundidade de 20m.

Após o cálculo da pressão a que o mastro estará sujeito e compreendendo que o seu máximo será atingido no fundo, será necessário garantir que a estrutura suportará os esforços associados com o interior oco.

A estrutura tubular que integrará este sistema ficará localizada no centro da estrutura da jaula, o que significa que o impacto das cargas do meio serão minimizadas sendo necessário somente garantir os esforços resultantes da ligação entre o tubo e a jaula.

4.5.2 Sistema de imersão e emersão

Uma vez definido o conceito a desenvolver no que concerne ao sistema de submersão é necessário desenvolver um sistema pneumático capaz de operar a bexiga.

O sistema pneumático foi desenhado para que o enchimento e o esvaziamento da bexiga pneumática sejam controlados pela comutação de electroválvulas. Assim, o seu enchimento e esvaziamento pode ser controlado e o seu volume mantido constante de acordo com a situação.

Uma vez que a fonte de ar comprimido será um tanque contendo um determinado volume de ar no seu interior a uma dada pressão, é necessário garantir que a pressão na bexiga seja limitada, tendo em conta a profundidade de 30m.

Quando a jaula sobe a pressão no interior da bexiga deve ser apenas 0,02 MPa (0,2 bar) acima da pressão hidrostática à profundidade a que a jaula se encontra. Assim, é necessário que o ar do interior da bexiga seja extraído para que no seu interior a pressão diminua, apesar do volume se manter o mesmo.

Válvulas manométrias foram implantadas para que a pressão da bexiga nunca exceda o valor máximo de 0,31MPa (3,1 bar).

Válvulas fluxométricas foram também adicionadas para que o enchimento e esvaziamento da bexiga seja controlado e gradual.

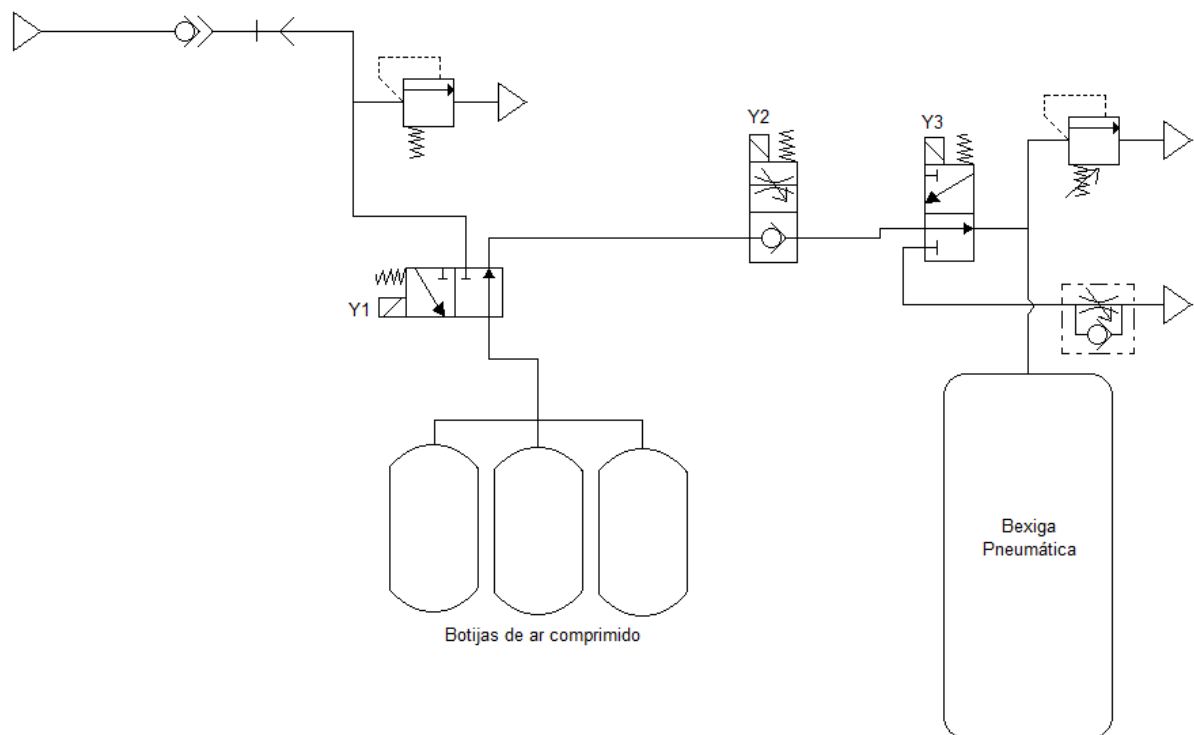


Figura 96 – Circuito pneumático para operação do sistema de submersão e emersão.

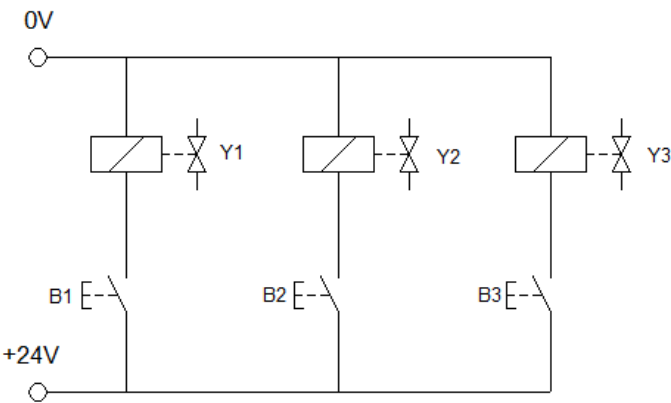


Figura 97 – Sistema de controle para atuação do sistema de submersão e emersão.

Tabela 24 – Componentes do circuito pneumático

Fonte de ar comprimido	
Válvula manométrica de segurança	
Escape	
Válvula manométrica limitadora de pressão	
Válvula fluxométrica estranguladora variável unidirecional	
Electroválvula 2/2 com estrangulador variável e retenção simples e retorno por mola	
Electroválvula direcional 3/2 com retorno por mola	
Botija de ar comprimido	
Engate rápido	

O circuito representado na Figura 96 é controlado pelo circuito de comando da Figura 97.

Em primeiro lugar, a atuação do botão B1 do circuito de comando permite efetuar a alimentação das botijas de ar comprimido através de um compressor existente numa embarcação de apoio. A ligação entre o compressor e as botijas é garantida pela utilização de uma mangueira com um engate rápido existente no interior do mastro. Durante alimentação das botijas, aquando do processo de manutenção, de forma a garantir que a pressão no seu interior não ultrapasse o máximo suportado por estas, foi implementada uma válvula de segurança.

Uma vez efetuada a alimentação das botijas, o botão B1 é desligado garantindo assim a alimentação do circuito para atuação da bexiga pneumática. Por atuação do botão B2 o ar passa por um estrangulador variável onde é possível ajustar o caudal de ar para enchimento da bexiga. O enchimento da bexiga é um passo importante, uma vez que a pressão na botija terá de ser controlada. Assim, foi implementada uma válvula reguladora de pressão para garantir um correto funcionamento do sistema.

Quando o botão B2 é libertado é cortada a alimentação de ar à bexiga, uma vez que, nesta posição existe uma válvula de retenção simples. Como o ar no interior das botijas será sempre superior ao ar no interior da bexiga, este também não volta para trás, servindo assim, como uma retenção nos dois sentidos.

A atuação do botão B3 será indicação para o esvaziamento da bexiga, obrigando o ar a passar por uma válvula fluxométrica estranguladora variável unidirecional para que o esvaziamento seja controlado.

Para permitir a saída do ar do sistema são instalados escapes rápidos.

O compartimento do mastro que alberga os componentes do sistema é estanque e as ligações ao exterior são efetuadas de forma a que não seja possível a entrada de água para o interior do sistema. Assim, a instalação de acessórios de ligação pneumáticos entre superfícies é imperativa.

A alimentação das electroválvulas será efetuada por meio de baterias.

4.5.3 Bexiga pneumática

A bexiga pneumática terá de suportar esforços de pressão na ordem dos 0,31 MPa, uma vez que, a 30m de profundidade a sua função consiste em expulsar a água do interior do tubo, onde a pressão hidrostática exercida é de aproximadamente 0,29 MPa. A diferença de pressões entre o interior da bexiga e o seu exterior irá permitir que esta insuffle e expulse a água, reduzindo assim o peso da estrutura originando o movimento de subida. Na unidade de controlo será importante garantir que a diferença de pressões entre o interior da bexiga e o exterior da mesma se mantenha constante e com o valor de 0,02 MPa. Com a subida da jaula, a pressão hidrostática diminui. Assim, com esta diminuição será importante que a variação de pressão no interior e exterior da bexiga não exceda os 0,02 MPa para que a jaula não suba com uma velocidade descontrolada. Assim, à medida que a jaula emerge o ar deve ser libertado, de forma que a pressão no interior diminua proporcionalmente à diminuição da profundidade e desta forma é possível controlar a subida da jaula.

A bexiga para esta aplicação terá de ser feita à medida, ou seja, terá de ser fabricada utilizando técnicas dominantes noutro tipo de aplicações, como é o caso, dos barcos semirrígidos. Este tipo de barcos divide-se em dois componentes principais, o casto rígido em alumínio e flutuadores, que podem ser construídos a partir de três materiais distintos: policloreto de vinil, PVC, policloropreno, *NEOPRENE*®, e PU-Poliuretano. A seleção destes materiais será influenciada pela sua aplicação. No caso dos barcos semirrígidos é recomendado o PVC para aplicações desportivas pela sua excelente relação qualidade/preço, para usos profissionais recomenda-se o Poliuretano e polietileno clorossulfonado, CSM, e para as aplicações extremas

recomenda-se a utilização dos Poliuretanos *Hi Tech* de alto desempenho (“Material e Tecnologia - Vanguard Marine” 2015).

Os métodos construtivos aplicados, tanto no PVC, como no policloropreno e no PU Poliuretano, dispõem da mesma estrutura construtiva, ou seja, um suporte têxtil de base que suporta as propriedades mecânicas de resistência a rasgos e ao impacto e ainda dois recobrimentos, um interno e outro externo, que proporcionam a estanquicidade do ar, assim como, resistência às intempéries, aos agentes atmosféricos e à abrasão em função das propriedades específicas de cada um deles. Estas camadas ainda proporcionam flexibilidade e elasticidade (Figura 98 e Figura 99).

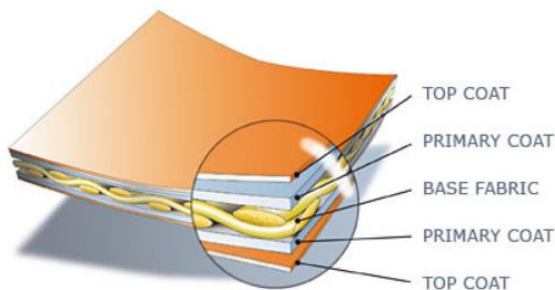


Figura 98 – Estrutura construtiva em quatro camadas de PVC e uma base de poliéster têxtil de alta resistência (“Pvc Inflatable Boat Fabric - Pesquisa Google” 2017).

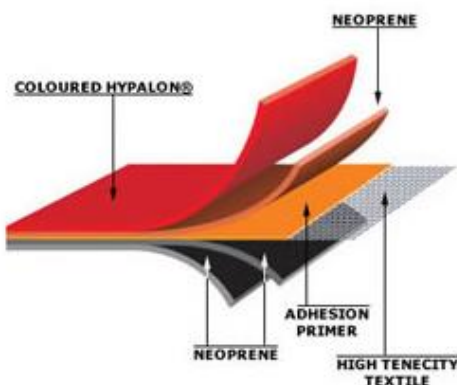


Figura 99 – Estrutura construtiva em quatro camadas de Neopreno Hypalon® (“Neoprene Hypalon - Pesquisa Google” 2011).

O processo de fabrico em PVC e em PU Poliuretano realiza-se mediante sistemas mecanizados e robotizados combinados com a tecnologia *Thermosealing*® (Figura 100), sistema industrializado que proporciona uma qualidade uniforme e grande eficácia de custos.

Thermosealing® é o processo industrial de união das distintas partes do flutuador pneumático por um processo de dupla fusão simultânea e calandrado a altas pressões. Uma dupla fita de união interna/externa proporciona soldaduras mais fortes que o próprio material empregado. As soldaduras realizadas por este processo dispõem de uma largura de 40 mm, 25% mais largo do que os outros fabricantes (“Material e Tecnologia - Vanguard Marine” 2015).

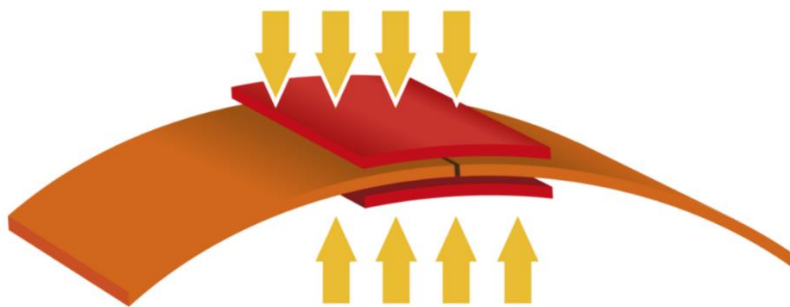


Figura 100 – Processo *Thermosealing*® (“Material e Tecnologia - Vanguard Marine” 2015).

O fabrico em policloropreno realiza-se pelo processo tradicional manual de colagem a frio.

Tabela 25 – Caracterização qualitativa dos diferentes materiais utilizados na construção de barcos semirrígidos (“Infanta Inflatables International Technologies Materials and Application” 2019).

	PVC	PU Poliuretano	Policloropreno
Resistência à abrasão	Boa	Muito boa	Muito boa
Resistência aos raios UV e à exposição meteorológica	Boa	Muito boa	Muito boa
Estanquicidade do ar	Muito boa	Boa	Boa
Resistência a óleos	Aceitável	Muito boa	Muito boa
Adesão	Muito boa	Muito boa	Muito boa
Ligação colada	Boa	Boa	Boa
Soldadura	Boa	Impossível	Impossível
Preço	Baixo	Médio	Alto

Tabela 26 – Vantagens e desvantagens do PVC

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Custo reduzido	Não é resistente à abrasão quando seco
Torna a bexiga mais leve	Fraca resistência a elevadas temperaturas
Reparações simples	Fraca resistência química e a raios UV
-	Degrada-se com o tempo

Tabela 27 – Vantagens e desvantagens do Hypalon®

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Resistência a abrasão	Custo elevado
Resistente a raios UV	-
Resistente a óleos	-
Não se degrada com o tempo	-

Uma vez que todo o processo de mergulho e emersão da estrutura se baseia no esvaziamento e enchimento da bexiga, podemos depreender que esta será o componente principal.

A sua capacidade de suportar 0,31 MPa (3 bar) juntamente com a necessidade de ser totalmente esvaziada torna imperativo o uso de uma base resistente em tecido de poliéster, juntamente com a sobreposição de camadas. A bexiga estará em contacto permanente com a água, no entanto, como se encontra no interior do tubo, está protegida contra os raios UV, temperaturas elevadas e abrasão das ondas. A escolha recaiu no PVC uma vez que garante todos os requisitos com a melhor relação preço/qualidade. O seu processo de fabrico proposto é por *Thermosealing*®.

No que concerne às dimensões da bexiga, estas serão tomadas em consideração mais abaixo, após o estudo da flutuabilidade da estrutura. O processo foi iterativo devido ao equilíbrio da estrutura no que diz respeito à flutuabilidade nas diversas situações, ou seja, quando a estrutura se encontra 1 metro acima da superfície da água do mar e quando a estrutura mergulha até se encontrar abaixo da superfície da água do mar. A variação do *stock* de alimento para os peixes também influencia uma vez que quando o silo se encontra preenchido a sua massa é de 211,31 kg que ao longo do tempo irá diminuindo.

Nesta fase, podemos afirmar que a bexiga apresentará a forma aproximada de um cilindro, será presa no seu topo à estrutura do mastro e que a sua área da base no máximo será igual à área interior do mastro central, ou seja, com um raio de 0,29 m.

Assim, o comprimento da bexiga irá determinar o seu volume e será considerado de 2,5 m. Esta altura será comprovada no capítulo do estudo da flutuabilidade.



Figura 101 – Bexiga pneumática.

Tabela 28 – Dados da bexiga pneumática

Raio exterior	0,29 m
Raio interior	0,28 m
Comprimento da bexiga total	2,5 m
Espessura da parede da bexiga	0.005 m
Volume da bexiga exterior	0,66 m ³
Volume da bexiga interior	0,64 m ³

4.5.4 Botija de ar comprimido

A botija de ar comprimido será utilizada para alimentar o circuito pneumático e insuflar a bexiga a uma pressão de 0,31 MPa (3,1 bar) de forma exceder a pressão hidrostática da água a 30m de profundidade.

Assim sendo, a botija a selecionar terá de ter capacidade de encher um volume de 0,64m³ de bexiga.

No sentido de dimensionar o sistema e o respetivo espaço que este pode ocupar, identificou-se um modelo de botija da marca *BOC®* (Figura 102), por se destinarem a aplicações industriais para aplicação a ferramentas pneumáticas e enchimento de bexigas pneumáticas para utilização. O modelo em questão é uma botija com as especificações representadas na Tabela 29.

Tabela 29 – Especificações da botija de ar comprimido

Altura	940 mm
Diâmetro	140 mm
Massa	18 kg
Pressão máxima absoluta (15°C)	23 MPa
Volume do conteúdo à pressão máxima	2,18 m ³

De forma a compreender a capacidade destas botijas insuflarem a bexiga foi calculada a massa de ar necessária para completar o máximo volume da bexiga. Para isso recorremos à equação dos gases perfeitos.

$$p.V = m.R.T \quad (4.3)$$

Onde:

p , é a pressão do gás
 V , é o volume ocupado pelo gás
 m , é a massa de gás
 R , é a constante universal dos gases perfeitos, e
 T , é a temperatura a que o gás se encontra

Para efeitos de cálculo vamos considerar a temperatura contante de 15 °C (288,15 K). Assim com $R=287,053 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. A massa necessária para ocupar o volume da bexiga (0.64m³) à pressão de trabalho máxima (0.31 MPa) é de 2.39kg.

Cada garrafa de ar comprimido contém 2,18 m³ de ar comprimido à pressão atmosférica, à temperatura de 15 °C. Pela aplicação da Equação 4.3 podemos efetuar o mesmo raciocínio que foi feito para a bexiga, e obteremos uma massa de ar de 2,67kg.

Assim, calculando o rácio entre a massa de ar da bexiga e a massa de ar da botija obtemos o número de vezes que uma botija consegue encher a bexiga em condições de serviço.

$$\text{Número de ciclos} = \frac{m_{\text{ar da bexiga}}}{m_{\text{ar da botija}}} \quad (4.4)$$

Onde:

$m_{\text{ar da bexiga}}$, é a massa de ar da bexiga, e
 $m_{\text{ar da botija}}$, é a massa de ar da botija

Utilizando uma só garrafa conseguimos encher com segurança 1 vez a bexiga. No conceito serão utilizadas três garrafas que no total contêm 8,012 kg de ar.

Aplicando a Equação 4.4 obtemos 3 ciclos de funcionamento. No entanto é necessário garantir que a pressão nas botijas é superior a 0,3 MPa (3,1 bar) para que seja possível efetuar três ciclos.

Para tal será calculada a massa de ar que resta no interior das botijas após a perda de 3 vezes a massa de ar da bexiga e seguidamente será determinada a pressão a que estas se encontram.

Após os cálculos percebemos que no interior das botijas a pressão é de 2,491 MPa (24,91 bar), o que ainda é bem acima dos 0,3 MPa e, como tal é seguro afirmar que as botijas permitem 3 ciclos de funcionamento.

É importante constatar que um mergulho e a uma emersão corresponde a 1 ciclo de funcionamento.



Figura 102 – Garrafa de ar comprimido (“UK BOC Online Shop: Compressed Air (Industrial) Cylinder” 2019).

4.5.5 Tubagens

No circuito terá de ser contabilizado que as tubagens serão sujeitas a diferentes tipos de pressão, desde 23MPa a 0,31MPa.

Nas conexões às botijas de ar comprimido as mangueiras a utilizar serão da marca *Parker®* de referência SAE 100R2 Tipo AT 301 – 8 uma vez que terão de lidar com elevadas pressões.

Tabela 30 – Mangueira *Parker®* SAE 100R2 Tipo AT 301 – 8

#																
	pol	mm	pol	mm	psi	MPa	psi	MPa	pol	mm	lbs/ft	kg/m	Série	Pág.	Série	Pág.
301-8	1/2	12,5	0,88	22	3500	24	14000	96	7	180	0,45	0,67	43	B-18	30	B-171

Na conexão do sistema com a botija foi selecionada SAE J1527 Tipo A - Classe 1 221FR-6.

Tabela 31 – Mangueira *Parker®* SAE J1527 Tipo A - Classe 1 221FR-6

#																		
	pol	mm	pol	mm	psi	MPa	psi	MPa	pol	mm	lbs/ft	kg/m	pol de Hg	kPa (abs)	Série	Pág.	Série	Pág.
221FR-6	5/16	8	0,68	17	500	3,5	2000	14,0	1-1/4	30	0,23	0,34	20	33			20	B-128

4.5.6 Lastro aço inoxidável

A utilização de lastros é imperativa, uma vez que, este confere maior estabilidade à estrutura, quando colocado na parte inferior permitindo um afastamento entre o centro de gravidade e o centro de pressões. Além disso, garante um peso adicional que será contabilizado para vencer a força de impulsão.

Para este lastro foi selecionado um aço inoxidável, uma vez que este tipo de aços resiste melhor às reações de oxidação redução, do que outro tipo de aços, conferindo ainda assim, uma massa específica de 7900 kg/m^3 .

Todos os tipos de aço inoxidável têm algum grau de resistência à corrosão. No entanto, existem vários tipos de aço inoxidável que são muito mais adequados para uso em ambientes marinhos do que outros. O grau 316 é provavelmente o tipo mais comum de aço inoxidável usado em aplicações marítimas. Tem mais molibdênio que outros aços inoxidáveis austeníticos, o que ajuda a resistir à corrosão e outros efeitos corrosivos da água salgada. O grau 304 é outro aço inoxidável de grau marítimo, embora tenha menos molibdênio do que o grau 316, tornando-o uma opção menos desejável em ambientes ricos em cloro.

Assim, o aço inoxidável selecionado para este conceito foi o de grau 316.

A incorporação do lastro de aço inoxidável na estrutura foi pensada de 2 formas distintas: fora do mastro central ou dentro do mastro.

No caso de o lastro ser fixado na parte exterior (Figura 103) iria tornar operações de manutenção mais rotineiras, visto que teria de ser fixado por correntes calibradas galvanizadas. No entanto, teria uma força de impulsão associada.

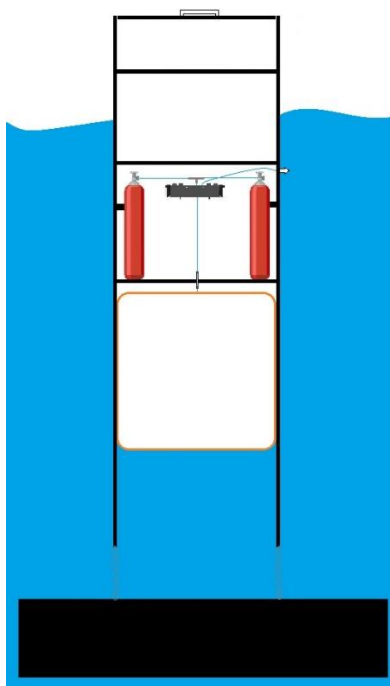


Figura 103 – Fixação do lastro no exterior da estrutura.

Por outro lado, a utilização de um lastro no interior do mastro central (Figura 104) irá proteger o lastro, não irá desenvolver força de impulsão, uma vez que, estará dentro do volume já estimado do mastro, mas a sua fixação irá obrigar a um reforço a estrutura do mastro central.

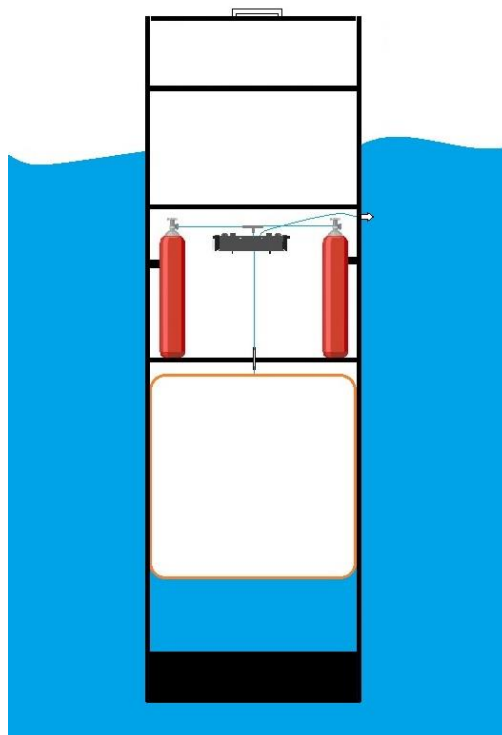


Figura 104 – Fixação do lastro no interior da estrutura.

A solução utilizada neste conceito passa pela incorporação do lastro no interior da estrutura, de forma a eliminar a sua força de impulsão.

4.5.7 Mecanismo de travagem

Uma vez iniciado o mergulho da estrutura, ou seja, quando o peso supera a força de impulsão, a força resultante irá arrastar a estrutura num mergulho com uma determinada velocidade. Assim, ao alcançar os 30 m de profundidade, se não existir uma força contrária ao movimento que permita parar a estrutura, esta irá afundar até embater no fundo marinho.

Para resolver essa questão foram ponderadas duas soluções.

A primeira solução passa pela implementação de sensores capazes de detetar a profundidade a que a estrutura se encontra. Através de um controlador, a leitura da pressão hidrostática iria influenciar o enchimento ou esvaziamento da bexiga. Quando a estrutura mergulha, aos 20m, a bexiga enche originando uma força de impulsão superior ao peso. Esta força resultante trava o movimento permitindo à estrutura desacelerar até a velocidade ser nula. Quando a velocidade é nula a bexiga volta a esvaziar de forma que o peso seja igual à impulsão.

Na prática a estrutura estará sujeita a mais esforços e como tal enchimentos e esvaziamentos consecutivos irão ser necessários para manter a estrutura a 20m de profundidade.

Sendo a primeira solução demasiado dispendiosa em termos monetários e de recursos, a segunda solução passa pela utilização de boias de sustentação capazes de impedir que a jaula ultrapasse a profundidade desejada. Desta forma, as amarrações irão ficar em tensão e o peso da estrutura quando mergulha será superior à força de impulsão. Este método garante um curso vertical controlado e é mais eficiente.

Esta solução já é utilizada pelo modelo *Oceanis I*, e conta com a utilização de dupla boia, sendo que a segunda irá servir o propósito aqui descrito (Figura 105).

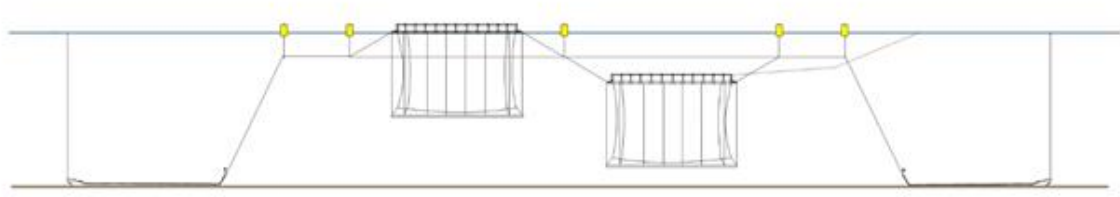


Figura 105 – Boias de sustentação para travagem da estrutura no mergulho.

4.6 Flutuação

4.6.1 Impulsão e Lei de Arquimedes

A impulsão é a resultante das forças de pressão exercidas sobre um corpo total ou parcialmente imerso num fluido.

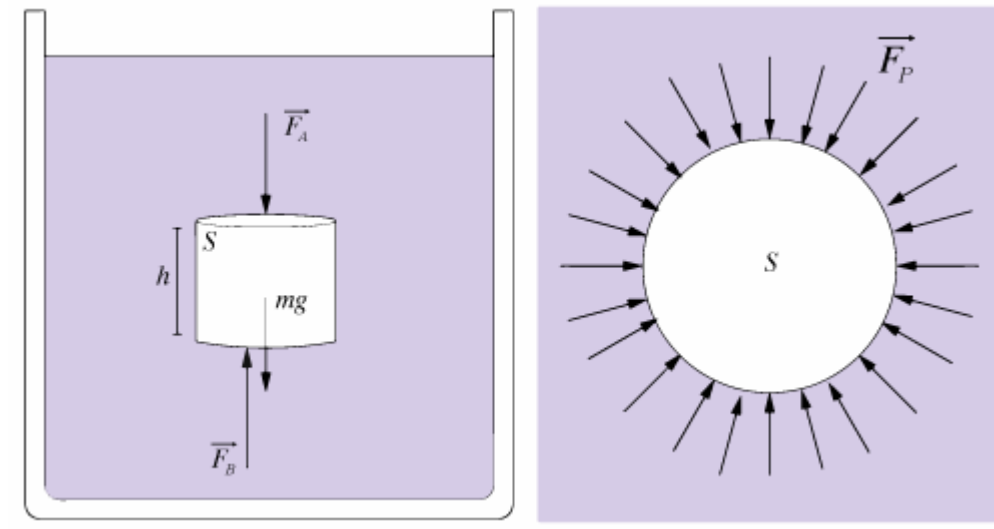


Figura 106 – Corpo cilíndrico de secção reta constante totalmente imerso num líquido (Ferreira 2017).

Consideremos um corpo cilíndrico, de massa m , secção reta constante S e altura h , totalmente imerso num fluido incompressível, de densidade ρ , como se representa na Figura 106. Segundo a direção vertical, o corpo está sujeito a forças de pressão na base superior e inferior. Segundo a direção horizontal, a força de pressão aplicada à superfície lateral do corpo tem resultante nula. Sendo assim, a resultante de todas as forças de pressão que atuam no corpo só tem componente vertical:

$$\vec{I} = \vec{F}_A + \vec{F}_B \quad (\text{Ferreira 2017}) \quad (4.5)$$

Onde:

$\vec{I}$ é o vetor da força de impulsão

$\vec{F}_A$ é o vetor da força de pressão atuante na face superior do cilindro

$\vec{F}_B$ é o vetor da força de pressão atuante na face inferior do cilindro

em que a distância vertical entre o ponto A e B corresponde ao comprimento do corpo (Ferreira 2017).

Considerando positivo o sentido de baixo para cima, o módulo da resultante das forças de pressão é:

$$I = -F_A + F_B \text{ (Ferreira 2017)} \quad (4.6)$$

Onde:

$\vec{I}$, é a força de impulsão
 F_A , é a força de pressão atuante na face superior do cilindro
 F_B , é a força de pressão atuante na face inferior do cilindro

Utilizando a Lei Fundamental da Hidrostática:

$$-\frac{F_A}{S} + \frac{F_B}{S} = \rho gh \text{ (Ferreira 2017)} \quad (4.7)$$

Onde:

$\vec{I}$, é a força de impulsão
 F_A , é a força de pressão atuante na face superior do cilindro
 F_B , é a força de pressão atuante na face inferior do cilindro
 ρ , é a massa específica do fluido
 g , é a aceleração gravítica
 h , é a altura do cilindro
 S , é a área de secção reta das faces do cilindro

obtemos a intensidade da impulsão que atua no corpo:

$$I = \rho ghS = \rho gV \text{ (Ferreira 2017)} \quad (4.8)$$

Onde:

$\vec{I}$, é a força de impulsão
 ρ , é a massa específica do fluido
 g , é a aceleração gravítica
 h , é a altura do cilindro
 S , é a área de secção reta das faces do cilindro
 V , é o volume do cilindro

Se o corpo flutuar, o volume a considerar é o da parte do corpo que está imersa no fluido (Ferreira 2017).

A equação anterior expressa matematicamente a Lei de Arquimedes:

“Todo o corpo mergulhado num fluido recebe, da parte deste, uma impulsão vertical de baixo para cima e de intensidade igual ao valor do peso do volume de fluido deslocado pelo corpo.”

Um corpo, de massa m , volume V e massa específica ρ_{corpo} , estando totalmente imerso num fluido de massa específica ρ_{fluido} , considerando para esse efeito um sistema corpo-fluido num campo gravitacional, encontra-se sujeito apenas a duas forças, o peso e a impulsão. Desta forma, quando o peso do corpo é superior à força de impulsão, o corpo afunda-se. No entanto, basta a força de impulsão ser igual ao peso para que o corpo se encontre em equilíbrio no seio do fluido. Quando a força de impulsão é superior ao peso, o corpo flutua. Neste último cenário, o corpo, inicialmente imerso no líquido, é acelerado no sentido da superfície do fluido, sendo que esta aceleração não é uniforme devido à ação da viscosidade do fluido, que depende por sua vez da velocidade com que o corpo se desloca. Na superfície livre do líquido, o corpo atinge o equilíbrio mecânico quando a parte imersa do seu volume V_i é tal que:

$$I_i = P \Leftrightarrow \rho_{\text{fluido}} V_i = \rho_{\text{corpo}} V \text{ (Ferreira 2017)} \quad (4.9)$$

Onde:

I_i , é a força de impulsão imersa
 P , é o peso do corpo
 ρ_{fluido} , é a massa específica do fluido
 ρ_{corpo} , é a massa específica do corpo
 V_i , é o volume imerso do corpo
 V , é o volume do corpo

Como $V_i < V$, para que a igualdade se mantenha é necessário que o $\rho_{fluido} > \rho_{corpo}$ (Ferreira 2017).

4.6.2 Flutuação do mastro central

A análise da flutuação da estrutura parte do princípio de que, a força de impulsão terá de ser igual ao peso total da estrutura, por forma a atingir uma flutuabilidade neutra.

Desta forma, partindo da situação inicial onde o mastro se encontra 1 metro acima da cota da água do mar e 9 m mergulhado obtemos o diagrama de corpo livre da Figura 107. Aí são apresentadas todas as forças aplicadas no mastro, ou seja, o peso do tubo, o peso do lastro fixo em aço inoxidável, o peso da água contida no interior da câmara, o peso dos componentes e a força de impulsão do tubo. Dentro do peso dos componentes temos de considerar o sistema de submersão, o sistema de alimentação, o stock de alimento para 21 dias, o sistema de controlo e a fonte de energia sob a forma de baterias.

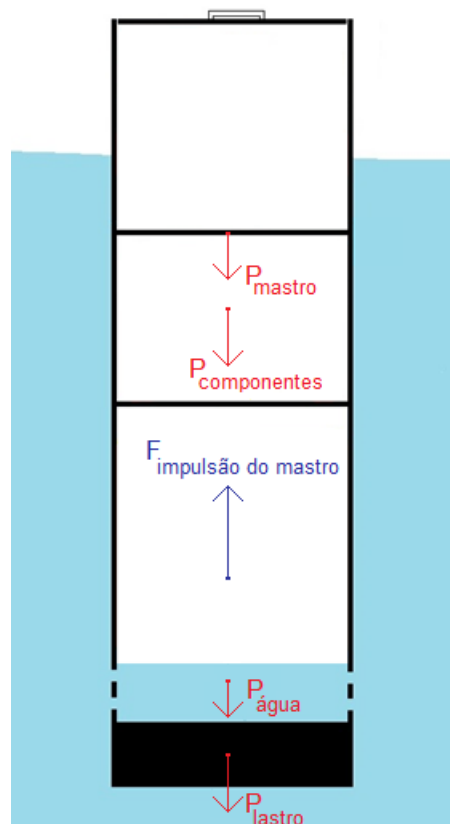


Figura 107 – Diagrama de corpo livre do mastro na situação inicial à superfície.

Considerando:

$$P_{total} = F_{impulsão\ do\ mastro} \quad (4.10)$$

Onde:

P_{total} , é o peso total
 $F_{impulsão\ do\ mastro}$, é a força de impulsão do mastro

Desenvolvendo a expressão anterior, temos:

$$P_{mastro} + P_{componentes} + P_{água} + P_{lastro} = F_{impulsão\ do\ mastro} \quad (4.11)$$

Onde:

P_{mastro} , é o peso do mastro
 $P_{\text{componentes}}$, é o peso de todos os componentes
 $P_{\text{água}}$, é o peso da água
 P_{mastro} , é o peso do lastro
 $F_{\text{impulsão do mastro}}$, é a força de impulsão do mastro

Quanto aos componentes, já selecionados, podemos observar na Tabela 32 a massa de cada um apresenta. É de salientar, que a massa representada na Tabela 32 diz respeito à totalidade dos componentes, ou seja, a massa da botija representa a massa de três botijas, nas válvulas a massa representa todas as válvulas utilizadas e nas tubagens a massa representa todos os tubos utilizados.

Tabela 32 – Massa dos componentes do sistema de submersão e emersão

Componentes	Massa [kg]
Botija de ar comprimido	57
Bexiga pneumática	30
Válvulas pneumáticas	6
Tubagens	1
Controlador	1
Stock de alimento	211,31
Baterias	30
Alimentador	40
Total	376.31

Situação inicial com o mastro 1 metro acima da linha de água

De seguida, como sabemos o volume do mastro mergulhado, ou seja, apenas consideramos 9m de comprimento de mastro, visto que 1m está fora de água, podemos calcular a força de impulsão do mesmo. Para tal, utilizamos a equação:

$$F_{\text{impulsão do mastro}} = A_{\text{interior do mastro}} \times 9 \times \rho_{\text{água do mar}} \times g \quad (4.12)$$

Onde:

$F_{\text{impulsão do mastro}}$, é a força de impulsão do mastro
 $A_{\text{interior do mastro}}$, é a área interior do mastro
 $\rho_{\text{água do mar}}$, é a massa específica da água do mar, e
 g , é a aceleração gravítica

Obtemos assim uma impulsão do mastro de 25,59 kN.

Assim, voltando à Equação 4.11, estão em falta os pesos da água e do lastro em aço inoxidável.

Considerando o que já nos é possível considerar a nível de esforços, ou seja, o peso dos componentes, o peso mastro e a força de impulsão podemos retirar o valor de peso necessário para que a Equação 4.10 se verifique. Na tabela 33 estão representados os esforços até aqui calculados:

Tabela 33 – Esforços até aqui calculados

Esforços	
Força de impulsão do mastro	25,59 kN
Peso dos componentes	3,69 kN
Peso do mastro	4,68 kN

Aplicando a Equação 4.11 obtemos a soma do peso do lastro de água variável com o peso do lastro fixo de aço inoxidável.

$$P_{\text{água}} + P_{\text{lastro}} = 17,21 \text{ kN} \quad (4.13)$$

O peso do lastro de água é dado por:

$$P_{\text{água}} = A_{\text{interna do mastro}} \times h_{\text{água}} \times \rho_{\text{água do mar}} \times g \quad (4.14)$$

Onde:

$P_{\text{água}}$, é o peso da água
 $A_{\text{interna do mastro}}$, é a área interna do mastro
 $h_{\text{água}}$, é a altura da água no interior da câmara
 $\rho_{\text{água do mar}}$, é a massa específica da água do mar, e
 g , é a aceleração gravítica

O peso do lastro de aço inoxidável é dado por:

$$P_{\text{aço inoxidável}} = A_{\text{interna do mastro}} \times h_{\text{aço inoxidável}} \times \rho_{\text{aço inoxidável}} \times g \quad (4.15)$$

Onde:

$P_{\text{aço inoxidável}}$, é o peso do aço inoxidável
 $A_{\text{interna do mastro}}$, é a área interna do mastro
 $h_{\text{aço inoxidável}}$, é a altura da água no interior da câmara
 $\rho_{\text{aço inoxidável}}$, é a massa específica do aço inoxidável, e
 g , é a aceleração gravítica

Para determinar estes pesos foi definido que o mastro central necessitaria de uma altura de 4m destinada ao equipamento necessário para funcionamento do sistema de imersão e emersão sendo que dentro destes 4m, 1 metro, na situação inicial à superfície teria de estar acima da linha de água.

O raciocínio para determinar o peso de água e do lastro foi efetuado a partir do cálculo de alturas destinadas tanto à água, como à bexiga e lastro de aço inoxidável.

Assim como o mastro central terá uma altura de 10m, aos 4m, destinados ao equipamento para o funcionamento do sistema de imersão e emersão, acrescenta-se a altura variável destinada à bexiga, a altura de água e a altura do lastro em aço inoxidável. Após a soma de todas as alturas, o valor obtido terá de ser igual ao comprimento do mastro. Desta forma:

$$10 = 4 + h_{\text{bexiga}} + h_{\text{água}} + h_{\text{lastro}} \quad (4.16)$$

Onde:

h_{bexiga} , é a altura da bexiga pneumática
 $h_{\text{água}}$, é a altura de água, e
 h_{lastro} , é a altura do lastro em aço inoxidável

Nesta fase, tendo 6m de tubo, é necessário encontrar o melhor equilíbrio entre a utilização do lastro fixo de aço inoxidável e o lastro de água variável.

De forma iterativa, foi procurado a melhor altura de lastro para que o mastro se mantivesse 1 metro acima da linha de água na situação inicial. Através de um sistema de equações combinando a Equação 4.11 com a Equação 4.13, admitindo um valor para a altura do lastro em aço inoxidável de 0,25m, ficando apenas 5,75m livres para a bexiga e para a água, por aplicação da Equação 4.16. Note-se que o valor de 0,25m de lastro de aço inoxidável foi resultado de um processo iterativo somente possível devido a uma folha de cálculo no software *Excel* onde foi implementada uma programação para obter os valores ótimos de lastros.

Com uma altura de 0,25m de lastro de aço inoxidável é possível calcular o peso associado deste através da Equação 4.15,

$$P_{\text{aço inoxidável}} = A_{\text{interna do mastro}} \times h_{\text{aço inoxidável}} \times \rho_{\text{aço inoxidável}} \times g$$

Obtendo-se assim 5,12 kN.

Assim é possível acrescentar mais um termo à Equação 4.13 obtendo-se assim o peso de água necessário para que seja verdade a Equação 4.10.

Concluimos, desta forma, que o peso de água necessário é de 12,09 kN.

Voltando à Equação 4.14 podemos calcular o valor da altura de água necessária para que o peso global iguale a força de impulsão, de seu valor 4,55m.

No que respeita o lastro de água variável é importante referir que o enchimento da bexiga irá expulsar a água do interior da câmara e o seu esvaziamento promove a entrada de água na câmara. Assim o volume de água será máximo para o volume mínimo da bexiga e vice-versa.

O valor da altura ideal da bexiga é dado em função da altura de água.

$$h_{\text{bexiga}} = 5,75 - h_{\text{água}} \quad (4.17)$$

Onde:

$h_{\text{água}}$, é a altura de água, e
 h_{bexiga} , é a altura da bexiga pneumática

Assim o valor da bexiga nestas condições, ou seja, respeitando a Equação 4.10 deverá ser de 1,2m.

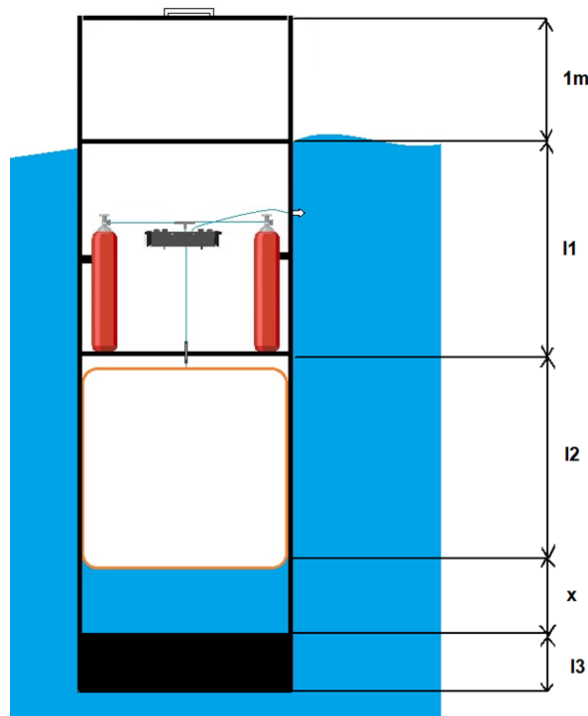


Figura 108 – Esquema de alturas.

Tabela 34 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação inicial no que respeita o mastro

Alturas	
Altura de mastro acima da cota da água	1 m
<i>l1</i> Altura restante para completar o espaço destinado a componentes	3 m
<i>l2</i> Altura da bexiga	1,20
<i>x</i> Altura de água	4,55
<i>l3</i> Altura de lastro	0,25
Total	10 m

Situação de mergulho com o mastro totalmente mergulhado

Uma vez determinada a situação em que o mastro central se encontra a 1m acima da superfície da água passamos para a situação em que o mastro central mergulha na totalidade.

Nesta situação o peso dos componentes, o peso do mastro e o peso do lastro mantêm-se constantes, no entanto à esforços que se irão alterar como é o caso da força de impulsão e, como tal, o peso do volume de água necessário para atingir a flutuabilidade neutra.

Neste caso, a força de impulsão sofre um aumento devido ao acrescido no volume de água deslocada. Assim na Equação 4.12 altera-se a altura de 9m para 10m, ficando assim:

$$F_{\text{impulsão do mastro}} = A_{\text{interior do mastro}} \times 10 \times \rho_{\text{água do mar}} \times g \quad (4.18)$$

O que perfaz uma força de impulsão de 28,43 kN.

Nesta fase a única incógnita é o peso do volume de água necessário. Voltado à Equação 4.11, substituindo os valores da força de impulsão, do peso do mastro, peso dos componentes e peso do lastro, retiramos o peso do volume de água.

$$4684,75 + 3691,63 + P_{\text{água}} + 5118,96 = 28430,55 \quad (4.19)$$

$$P_{\text{água}} = 14,94 \text{ kN} \quad (4.20)$$

Nestas condições, aplicando a Equação 4.14 retiramos a altura da coluna de água necessária de seu valor 5,62m.

Através da equação 4.17 podemos afirmar que a bexiga terá de apresentar um comprimento de 0,13m.

Tabela 35 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação de mergulho à linha de água no que respeita o mastro

Alturas	
Altura de mastro acima da cota da água	1 m
<i>l1</i> Altura restante para completar o espaço destinado a componentes	3 m
<i>l2</i> Altura da bexiga	0,13
<i>x</i> Altura de água	5,62
<i>l3</i> Altura de lastro	0,25
Total	10 m

4.6.3 Flutuação do mastro central e da estrutura da jaula

Após o estudo da flutuabilidade do mastro central, vamos agora estudar a flutuabilidade do mastro ligado à estrutura da jaula por meio de cabos de aço, comportando-se, como um só corpo.

Assim o diagrama de corpo livre pode ser observado na Figura 109.

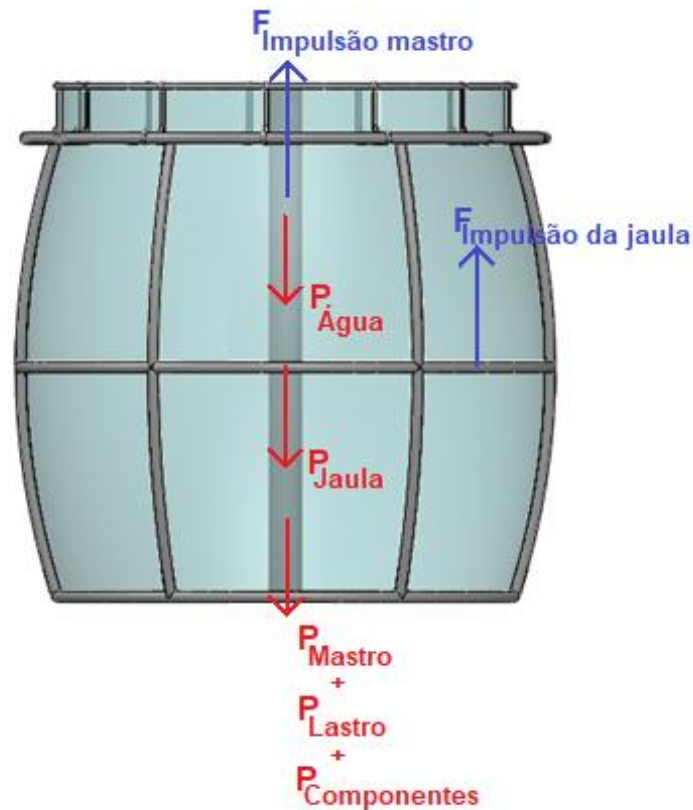


Figura 109 – Diagrama de corpo livre da estrutura da jaula e do mastro central.

Este estudo é em tudo semelhante ao efetuado no mastro, com a variação de algumas forças como é o caso da força de impulsão e do peso da jaula que acrescenta dois termos à Equação 4.11. Isto é:

$$P_{mastro} + P_{componentes} + P_{\text{água}} + P_{\text{lastro}} + P_{\text{jaula}} = F_{\text{impulsão do mastro}} + F_{\text{impulsão da jaula}} \quad (4.21)$$

Onde:

P_{mastro} , é o peso do mastro
 $P_{\text{componentes}}$, é o peso de todos os componentes
 $P_{\text{água}}$, é o peso da água
 P_{lastro} , é o peso do lastro
 $F_{\text{impulsão do mastro}}$, é a força de impulsão do mastro
 $F_{\text{impulsão da jaula}}$, é a força de impulsão da jaula, e
 P_{jaula} , é o peso da jaula

Situação inicial com a estrutura 1 metro acima da linha de água

Nesta situação teremos de calcular a força de impulsão causada pela parte da jaula mergulhada.

Para tal recorreu-se às capacidades do programa *Solidworks* onde foi possível determinar o volume da jaula mergulhada. O seu volume, retirando a parte superior que se encontra acima da linha de água e como tal não provoca impulsão, é de 3,92 m³.

Desta forma, a força de impulsão é dada por:

$$F_{\text{impulsão da jaula}} = V_{\text{jaula}} \times \rho_{\text{água do mar}} \times g \quad (4.22)$$

Onde:

$F_{\text{impulsão do mastro}}$, é a força de impulsão do mastro
 V_{jaula} , é o volume da jaula mergulhada
 $\rho_{\text{água do mar}}$, é a massa específica da água do mar, e
 g , é a aceleração gravítica

Assim a impulsão provocada pela jaula é de 39,42 kN.

O peso da jaula foi calculado, também ele através do programa *Solidworks* e é de 12,83 kN. Como já foi referido anteriormente, no interior dos tubos da estrutura da jaula existe água que entrará na parcela do peso da jaula e o seu contributo é de 29,56 kN.

Assim, voltando à Equação 4.21 a única incógnita é, mais uma vez, o peso da água no interior do mastro central para que a flutuabilidade seja nula. O valor do peso de água necessário neste caso é de 91,18 kN, que corresponde a uma cota de 3,43m. Desta forma, segundo a Equação 4.17 a bexiga terá de ter um comprimento de 2,32m.

Tabela 36 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação inicial no que respeita o conjunto jaula e mastro

Alturas	
Altura de mastro acima da cota da água	1 m
<i>l1</i>	
Altura restante para completar o espaço destinado a componentes	3 m
<i>l2</i>	
Altura da bexiga	2,32
<i>x</i>	
Altura de água	3,43
<i>l3</i>	
Altura de lastro	0,25
Total	10 m

Situação de mergulho com a estrutura totalmente mergulhada

Nesta fase, quando a estrutura se encontra mergulhada, a força de impulsão aumenta devido ao aumento do volume da jaula mergulhada.

O volume nesta situação foi determinado como sendo toda a parte da estrutura acima da linha de água na situação inicial, considerando o tubo e a jaula tal como se pode ver na Figura 110. Esse volume perfaz assim o valor de 1,25 m³.

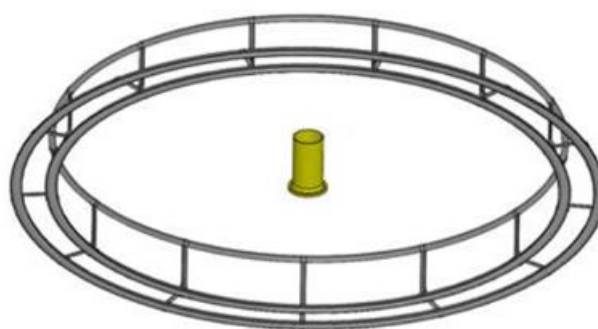


Figura 110 – Volume acima da linha de água na situação inicial.

Calculando a nova força de impulsão, onde ao volume da jaula anteriormente mergulhada na situação inicial acrescentamos o volume da parte que anteriormente se encontrava acima da superfície da água, obtendo-se assim uma impulsão de 67,85 kN.

Voltando à Equação 4.21 é possível determinar o peso do volume de água necessário para que a flutuabilidade seja neutra. O peso de água necessário é de 11,96 kN perfazendo uma cota de 4,5m.

Ora pela aplicação da Equação 4.17 obtemos o comprimento de 1,25m da bexiga.

Tabela 37 – Alturas necessárias para que a flutuabilidade seja nula na situação de mergulho à linha de água no que respeita o conjunto jaula e mastro

Alturas	
Altura de mastro acima da cota da água	1 m
l_1 Altura restante para completar o espaço destinado a componentes	3 m
l_2 Altura da bexiga	1,25
x Altura de água	4,5
l_3 Altura de lastro	0,25
Total	10 m

Depois desta análise das situações onde o lastro de água variável teria de ser definido, conseguimos compreender que a bexiga só necessita de ter um comprimento de 2,32m na situação inicial para que a flutuabilidade da estrutura seja neutra. No entanto, de forma a atribuir um coeficiente de segurança foi definido um comprimento de 2,5m para a bexiga pneumática.

Uma vez totalmente cheia obtemos uma flutuabilidade positiva de 0,484 kN na situação inicial e totalmente vazia uma flutuabilidade negativa de -3,31 kN na situação de mergulho.

Com estes valores, através de um controlador capaz de comandar as electroválvulas mencionadas anteriormente, é possível fazer a emersão e imersão controlada da estrutura.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões deste projeto e propostas de trabalhos futuros que permitam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

5.1 Conclusões

O presente trabalho incidiu num estudo alargado e aprofundado sobre a aquacultura, mais precisamente em estruturas e jaulas para esta atividade se tornar o mais rentável e eficiente possível. A costa portuguesa representa um enorme desafio, no que respeita à implementação de estruturas flutuantes atendendo às condições marítimas, uma vez que as ondas representam o principal problema.

Em função do estado inicial encontrado no arranque do projeto foi possível destacar alguns pontos que poderiam ser alvo de intervenção, destacando-se a possibilidade da criação de uma estrutura autónoma e autossuficiente de aquacultura, onde um compartimento ou silo para o alimento, a emersão e imersão, a proteção contra o *fouling*, a fonte de energia e a manutenção se destacaram, como sendo os principais problemas para uma estrutura deste tipo ser desenvolvida.

Após uma extensa procura de soluções atualmente implementadas a nível mundial, concluiu-se que as jaulas de aquacultura ou se encontram a flutuar, ao sabor do clima e das condições marítimas criando condições nefastas para o peixe e para a própria estrutura da jaula, ou se encontram totalmente mergulhadas tornando o processo de manutenção e recolha do peixe dispendiosos, complicados e tornando a estabulação do peixe mais lenta e complexa.

A fase seguinte do projeto passou pelo desenvolvimento de um sistema capaz de deslocar a jaula verticalmente. A emersão da jaula permite operações de manutenção e recolha de peixe, uma vez que a estrutura fica 1 metro acima da linha da água do mar. A imersão até 30m de profundidade possibilita a fuga das condições marítimas adversas e a seleção da profundidade ótima de estabulação do peixe.

A utilização de um sistema pneumático foi decidida pela sua versatilidade, no que respeita a componentes e aplicações pelas provas dadas em sistemas incorporados em submarinos e outros veículos subaquáticos e pela manutenção simplificada, através da reposição de ar no interior das botijas.

A capacidade de efetuar 3 mergulhos e 3 emersões permite economizar na mão de obra e na manutenção.

O sistema pneumático foi pensado para que as variações de pressão fossem efetuadas de forma segura pelo uso de válvulas de segurança e limitadoras de pressão. A implementação de electroválvulas permitirá fazer a ponte com trabalhos futuros de automatização da estrutura por meio de controladores.

A bexiga pneumática é o componente principal de todo o sistema representando a ligação entre o ar comprimido e a água permitindo a salvaguarda de todos os componentes pneumáticos. A sua elasticidade será decisiva no tempo de vida útil. No entanto, a utilização de policloreto de vinil, PVC, mostra-se promissora devido ao facto de ser largamente utilizado em barcos semirrígidos, que se encontram expostos a grandes amplitudes térmicas, radiação ultravioleta e outros agentes erosivos. Assim, como a bexiga pneumática estará protegida dentro da câmara, nenhum dos agentes mencionados será uma barreira para a sua vida útil.

A flutuação da estrutura é a base de funcionamento do conceito aqui desenvolvido, e o estudo apenas se comprometeu à hidrostática, onde nenhum outro esforço quer das ondas, quer das correntes e marés, se acrescentou à equação. Assim sendo, foi considerado um comprimento superior para bexiga de forma a salvaguardar este tipo de esforços.

Por fim, o estudo da ação das forças na estrutura da jaula, nomeadamente da ação das ondas, correntes e marés foi possível devido à parceria entre as diferentes instituições IPMA, ENP e INEGI que facultaram dados estatísticos que permitiram prever o comportamento estrutural da estrutura da jaula.

5.2 Perspetivas de trabalho futuro

O conceito aqui desenhado salvaguarda uma possível adaptação para que o processo de subida e descida se torne autónomo. Assim sendo, a programação de um controlador capaz de comandar as electroválvulas tornará o processo mais eficiente, poupando na mão de obra.

De forma a prever condições adversas poderão ser implementados sensores na estrutura capazes de ler deformações nos tubos de PEAD, por exemplo pela instalação de sensores do tipo *Fiber Bragg grating*, FBG. A análise da informação por meio de um controlador poderá ser eficaz na proteção da estrutura, submergindo-a para profundidades estruturalmente mais seguras.

O espaço reservado no conceito para ser utilizado como silo para o alimento permite, ainda, o desenvolvimento de um sistema de alimentação capaz de levar o alimento do interior do tubo até aos peixes.

A fonte de alimentação para alimentar uma estrutura autossuficiente poderá ser alvo de estudo, procurando entre as mais variadas formas de aproveitamento energético no mar e assim, substituir as baterias.

O ar comprimido uma vez utilizado é eliminado para o exterior do mastro. A implementação de um compressor capaz de reaproveitar o ar levará o sistema a efetuar um maior número de ciclos.

Uma vez que se encontra a ser construído um protótipo da jaula, numa escala de 1:2, poderia ser implementado o conceito aqui desenvolvido de forma a testar a veracidade dos cálculos teóricos efetuados neste trabalho e ainda a eficiência do sistema pneumático na prática.

Referências

- Ágústsson, Geir. 2004. “Design Considerations and Loads on Open Ocean Fish Cages South of Iceland.” University of Iceland. https://skemman.is/bitstream/1946/26924/1/Honnunarforsendur_sjokviaeldi.pdf.
- “Argyrosomus Regius Length - Pesquisa Google.” 2012. 2012. https://www.google.com/search?q=argyrosomus+regius+length&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi5wfv6Z_hAhWMsBQKHVoZDX0Q_AUIDigB&biw=1536&bih=722#imgsrc=opQK0DBpqG4xQM:
- Badinotti, GROUP. 2018. “CAGE FARMING EQUIPMENT SUBGROUP, BADINOTTIMERSIBLE.” Italy. 2018. <http://www.badinotti.com/productos/acuicultura/submersible-cages/>.
- Balaji, Rajoo, Omar Yaakob, and Kho King Koh. 2014. “A Review of Developments in Ballast Water Management.” *Environmental Reviews* 22 (3): 298–310. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0073>.
- Barg, U.C. 1992. “Guidelines for the Promotion of Environmental Management of Coastal Aquaculture Development.” Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. <http://www.nativefishlab.net/library/textpdf/15577.pdf>.
- Beveridge, Malcolm C. M. 2004. *Cage Aquaculture*. 3rd ed. Blackwell Publishing.
- Beveridge, Malcolm C M, and David C Little. 2002. “The History of Aquaculture | Alimentarium.” Edited by Barry A. Costa-Pierce. *Ecological Journey*. Stirling: Blackwell Science. <https://www.alimentarium.org/en/knowledge/history-aquaculture>.
- Boyd, C. E., and F. Lichtkoppler. 1979. *Water Quality Management in Pond Fish Culture Research and Development Series*. 1st ed. Vol. 22. Auburn: Auburn University.
- Bridger, Cj, and O Springs. 2004. “Efforts to Develop a Responsible Offshore Aquaculture Industry in the Gulf of Mexico: A Compendium of Offshore Aquaculture Consortium Research.” <http://nsgl.gso.uri.edu/masgc/masgcb04001/masgcb04001.pdf>.
- Cardia, Francesco, Alessandro Ciattaglia, and Richard Anthony Corner. 2017. *Guidelines and Criteria on Technical and Environmental Aspects of Cage Aquaculture Site Selection in the Kingdom of Saudi Arabia*. FAO and Ministry of Environment, Water and Agriculture in the Kingdom of Saudi Arabia. <http://www.fao.org/3/a-i6719e.pdf>.
- Cardia, Francesco, and Alessandro Lovatelli. 2015. *Aquaculture Operations in Floating HDPE Cages*. Roma: FAO. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)13800-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)13800-7).
- Carrasquinho, Ricardo. 2009. “Gestão e Maneio de Uma Unidade de Piscicultura Em Mar Aberto Na Costa Sul de Portugal.” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve. <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/1740>.
- Cashion, Tim, Frédéric Le Manach, Dirk Zeller, and Daniel Pauly. 2017. “Most Fish Destined for Fishmeal Production Are Food-Grade Fish.” *Fish and Fisheries* 18 (5): 837–44. <https://doi.org/10.1111/faf.12209>.
- “Cavitação Em Bombas - Pesquisa Google.” 2015. 2015. https://www.google.com/search?biw=958&bih=923&tbm=isch&sa=1&ei=0-TWXPqxLeSDjLsPiYKfmAo&q=cavitação+em+bombas&oq=cavitação+em+bombas&gs_l=img.3...1464.1464..1899...0.0..0.71.71.1.....1....1..gws-wiz-img.x6oxbOhgvzY#imgsrc=bmdxPAkGuimtdM.
- Chambers, L. D., K. R. Stokes, F. C. Walsh, and R. J.K. Wood. 2006. “Modern Approaches to Marine Antifouling Coatings.” *Surface and Coatings Technology* 201 (6): 3642–52.

- <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.08.129>.
- Chen, Jiabin, Changtao Guang, Hao Xu, Zhixin Chen, Pao Xu, Xiaomei Yan, Yutang Wang, and Jiafu Liu. 2008. "Marine Fish Cage Culture in China." *FAO Fisheries Proceedings*, no. 11: 7–11.
- Chen, Ying, Guanxue Wang, Guohua Xu, Wei Zhang, and Wenjin Wang. 2017. "Hovering Control of Submarine Based on L1 Adaptive Theory via Ballast Tanks." *International Journal of Advanced Robotic Systems* 14 (4): 172988141772419. <https://doi.org/10.1177/1729881417724191>.
- Christopher L. Delgado, Nikolas Wada, Mark w. Rosegrant, Siet Meijer, Mahfuzuddin Ahmed. 2003. *Fish to 2020: Supply and Demand in Changing Global Markets*. Washington, Penang: International Food Policy Research Institute, WorldFish Center.
- Delimbeuf, Katya. 2017. "Os Portugueses São o Povo Europeu Que Come Mais Peixe. Porquê?" *Expresso*. <https://expresso.sapo.pt/sociedade/2017-07-23-Os-portugueses-sao-o-povo-europeu-que-come-mais-peixe.-Porque-#gs.KXZuTb4>.
- Demir, Ergün, Hüseyin Eseceli, Metin Akbulut, Batuhan Demir, M. Akif Özcan, Kemal Çelik, Halis Kalmis, et al. 2014. *Handbook on European Fish Farming*. Edited by Ekrem Ergül. Fıst. Turquia: Lifelong Learning Programme. <https://issuu.com/tudas-alapitvany/docs/fishfarm-en>.
- Dennington, Simon. 2007. "Understanding Marine Fouling and Assessing Antifouling Approaches." Southampton: University of Southampton.
- DGPA. 2007. "Programa Operacional Pesca 2007-2013 04." Lisboa. http://ftp.infoeuropa.euroid.pt/files/web/documentos/pt/2007/2007_PO_Pesca.pdf.
- DGPA. 2014. "Plano De Aquacultura Portuguesa." Lisboa. https://www.dgrm.mm.gov.pt/documents/20143/43770/Plano_Estrategico_Aquicultura_2014_2020.pdf.
- Edwards, Peter. 2015. "Aquaculture Environment Interactions: Past, Present and Likely Future Trends." *Aquaculture* 447: 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.001>.
- FAO. 2008. "THE STATE OF WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE." Rome.
- FAO. 2012. *El Estado Mundial de La Pesca y La Acuicultura 2012/The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*.
- Ferreira, Miguel. 2017. "Impulsão e Lei de Arquimedes." *Revista de Ciência Elementar* 2 (4): 1–2. <https://doi.org/10.24927/rce2014.074>.
- "Fish Farming Submersible Cages." 2015. 2015. http://www.badinottigroup.altervista.org/pord_sub_cage.html.
- "Floating Wind Turbines - Pesquisa Google." 2018. 2018. https://www.google.com/search?q=floating+wind+turbines&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=qmvL7F5xN4QJcM%253A%252CqmZBfN35OhUN9M%252C%252Fm%252F047spnn&vet=1&usg=AI4_-kS0JwgKrmYg0jO-HX93p69DmHdmgw&sa=X&ved=2ahUKEwiO_b25lvjgAhVpxoUKHeUXB_IQ_B0wDnoECACQBg#imgrc=.
- "Fouling Removing Aquaculture - Pesquisa Google." 2012. 2012. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=723&tbm=isch&sa=1&ei=r1IqXJumDLWp1fAPs9u5iA4&q=fouling+removing+aquaculture&oq=fouling+removing+aquaculture&gs_l=img.3...3348.7032..7370...0.0..0.111.1266.1j11.....1....1..gws-wiz-img.byYmJXLaNI#imgdii=u2SBCT1K.

- Fredheim, Arne. 2014. "Technical Requirements and Engineering Standards for Floating Aquaculture Structures." https://www.oceanologyinternational.com/__novadocuments/49801?v=635315173549530000.
- Fredriksson, David Wayne. 2001. "Open Ocean Fish Cage and Mooring System Dynamics." University of New Hampshire. <https://scholars.unh.edu/dissertation> Recommended.
- Gace, Langley. 2016. "Emerging Technologies in Open Ocean Mariculture Farming Platforms Langley." Barcelona. https://www.offshoremiculture.com/__data/assets/pdf_file/0035/794555/Session-Five-Presentation-Three.pdf.
- Gama, B A P Da, Renato C Pereira, and Ricardo Coutinho. 2009. "Bioincrustação Marinha." *Biologia Marinha*, no. January 2014: 299–318. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4572.9046>.
- Halwart, Matthias, Doris Soto, and J. Richard Arthur. 2007. *Cage Aquaculture - Regional Reviews and Global Overview*. Rome: FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER.
- "Huge Feed Barge to Iceland - AKVA Group 2018." 2018. 2018. <https://www.akvagroup.com/news/news-archive/news-view/huge-feed-barge-to-iceland>.
- "Humanus Corporation." 2015. 2015. <https://humanus.ca/merqua-driftfarm.php>.
- INE. 2017. *Estatísticas Da Pesca. Instituto Nacional de Estatística. Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos*.
- Inegi. 2019. "Engenharia Básica e Detalhe Da Jaula." In . Porto.
- INEGI, IST, and ENP. 2018. "PROMAR-Projeto Piloto:MarVivo." Lisboa.
- "Infanta Inflatables International Technologies Materials and Application." 2019. 2019. http://www.infantainflatables.com/index.php?dirname=html_docs_005technicals/00100technologies.php.
- James, M.A., and R. Slaski. 2006. "Appraisal of the Opportunity Aquaculture in UK Waters." https://www.seafish.org/media/Publications/Offshore_Aquaculture_Compiled_Final_Report.pdf.
- Kumar, Vinod, R L Shrivastava, and S P Untawale. 2015. "Solar Energy : Review of Potential Green & Clean Energy for Coastal and Offshore Applications." *Aquatic Procedia* 4 (Icwrcoe): 473–80. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.062>.
- Lee, H.H., and W. Pei-Wen. 2000. "No TitleDynamic Behaviour of Tension-Leg Platform with Net-Cage System Subjected to Wave Forces.," 2000.
- Lovatelli, Alessandro, José Aguilar-Manjarrez, John Forster, Jia Jiansan, Doris Soto, Dror Angel, Blaise Kuemlangan, et al. 2004. "Expanding Mariculture Farther Offshore." *Ebook*. Orbetello, Italy. <http://www.fao.org/3/i3092e/i3092e.pdf>.
- Lucas, Jonh S., Paul C. Southgate, and Craig S. Tucker. 2005. *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. Third. Wiley Blackwell.
- MADRP, and DGPA. 2007. "Plano Estratégico Nacional Para a Pesca 2007 – 2013 03." Lisboa. http://www.promar.gov.pt/Download/PROMAR/PEN_Pesca.pdf.
- Martinez-cinco, Marco. 2008. "Análisis Meteorológico Del Ventarrón Ocurrido El 18 de Marzo de 2008 En Monterrey , México," no. June 2014.
- "Material e Tecnologia - Vanguard Marine." 2015. 2015. <http://www.vanguardmarine.com/pt-pt/material-tecnologia/>.

- Mazumdar, Sanjay k. 2013. *Composites Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering*. 1st ed. Grandville: CRC PRESS.
- “Neoprene Hypalon - Pesquisa Google.” 2011. 2011. https://www.google.com/search?tbm=isch&q=neoprene+hypalon&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwiGkYCxioLjAhUJNBQKHeYUD-sQBQgzKAA&biw=1536&bih=722&dpr=1.25#imgrc=iN5z6_LDQcxJOM:
- Perez, O.M., T.C. Telfer, and L.G. Ross. 2003. “On the Calculation of Wave Climate for Offshore Cage Culture Site Selection : A Case Study in Tenerife (Canary Islands)” 29. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00031-1).
- “Plow Anchors Animated - Pesquisa Google.” 2015. 2015. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=723&tbm=isch&sa=1&ei=dekoXPqFIr-11fAP68ej4A4&q=plow+anchors+animated&oq=plow+anchors+animated&gs_l=img.3..33290.41530..42160...0.0..0.143.1286.10j3.....1....1..gws-wiz-img.....35i39.bf3i-QvRLNk#imgrc=YvMGPpyI.
- Pond, S, and G.L. Pickard. 1983. *Introductory Dynamic Oceanography*. 2nd ed. Oxford: Pergammon Press.
- Portella, José Rafael. 2007. “Viabilidade Da Captação Da Energia Eólica Nos Oceanos (Captação Offshore).” UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAimcAE/viabilidade-captacao-energia-eolica-no-oceanos>.
- Português, Governo. 2011. “Plano de Ordenamento Do Espaço Marítimo” 1: 65. http://www.dgpm.mam.gov.pt/Documents/POEM_Volume1_Enquadramento.pdf.
- “Pressure Bladder Water Tank - Pesquisa Google.” 2019. 2019. https://www.google.com/search?biw=958&bih=923&tbm=isch&sa=1&ei=LOnWXPb9L4akgwez_Iy4BQ&q=pressure+bladder+water+tank&oq=pressure+bladder+water+tank&gs_l=img.3..0i8i30i2.946043.965208..966768...0.0..0.73.211.3.....1....1j2..gws-wiz-img.....0i19j0i5i30i19.
- “Pvc Inflatable Boat Fabric - Pesquisa Google.” 2017. 2017. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=722&tbm=isch&sa=1&ei=svQQXafEFoG5gwfhp53oAQ&q=pvc+inflatable+boat+fabric&oq=pvc+inflatable+boat+fabric&gs_l=img.3..0i24.1791191.1792852..1793057...0.0..0.122.654.0j6.....0....1..gws-wiz-img.nyb3JKdF8RI#imgrc=FXJ.
- Röckmann, Christine, Sander Lagerveld, and John Stavenuiter. 2017. *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean*. Edited by Richard Langan and Bela H. Buck. *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean: The Untapped Potential for Marine Resources in the Anthropocene*. 1st ed. Springer Open. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51159-7_4.
- “Rocky Seabed - Pesquisa Google.” 2018. 2018. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=723&tbm=isch&sa=1&ei=keooXM2bOoP2xgOK8a6wBQ&q=rocky+seabed&oq=rocky+seabed&gs_l=img.3..0i19.1106806.1110515..1110870...0.0..0.137.1227.6j6.....1....1..gws-wiz-img.....0j35i39j0i67j0i30j0i8i30i19.NH7lGr7sYjM#im.
- “Sandy Seabed - Pesquisa Google.” 2018. 2018. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=723&tbm=isch&sa=1&ei=AecoXIepCMqKauOlncgG&q=sandy+seabed&oq=sandy+seabed&gs_l=img.3..0i19.6251.9449..9730...0.0..0.103.599.2j4.....1....1..gws-wiz-img.5QIUAVi9gH8#imgdii=gDEMNSCC0g1_iM:&imgrc=3IlgWJ0q8djRIM:

- Scott, D. C. B, and J. F Muir. 2000. "Offshore Cage Systems: A Practical Overview." *Mediterranean Offshore Mariculture. Zaragoza: CIHEAM* 89: 79–89. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=600651><http://www.ciheam.org/%5Cnhttp://om.ciheam.org/>.
- Silva, Carlos, Sofia Matias, Cláudia Mafra, Filipe Sim-Sim, Ana Estaqueiro, Teresa Simões, Paulo Justino, et al. 2013. "RoadMap Para as Energias Renováveis Offshore Em Portugal." Lisboa. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/566729524642670/RoadMapEnergiasOffshorePortugal.pdf>.
- Silvester, R. 1974. *Coastal Engineering, I: Generation, Propagation and Influence of Waves*. 1st ed. Elsevier.
- "THE ACTION OF A STOCKLESS ANCHOR BEING SET - Pesquisa Google." 2018. 2018. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=723&tbm=isch&sa=1&ei=oOkoXPq5I6yOlwTeja3AAQ&q=THE+ACTION+OF+A+STOCKLESS+ANCHOR+BEING+SET&oq=THE+ACTION+OF+A+STOCKLESS+ANCHOR+BEING+SET&gs_l=img.3...237167.239984..240557...0.0..3.129.2110.0j18.....2....1j2..gws-
- Tusar, Mehedi Hasan, Md. Kamrul Hasan, M. A. B. Sikder, N. B. Chowdhury, and M. H. Fakir. 2015. "Design and Fabrication of a Low Cost Ballast System for Distant," no. 2: 26–29. <https://www.researchgate.net/publication/322498710%0ADESIGN>.
- "UK BOC Online Shop: Compressed Air (Industrial) Cylinder." 2019. 2019. <https://www.boconline.co.uk/shop/en/uk/compressed-air-cylinder>.
- "Water Lifting Bag Diagram - Pesquisa Google." 2019. 2019. https://www.google.com/search?biw=1536&bih=674&tbm=isch&sa=1&ei=sAy3XJ-IGqeqrqSD_IDACg&q=water+lifting+bag+diagram+&oq=water+lifting+bag+diagram+&gs_l=img.3...3422.7249..7450...0.0..0.88.592.7.....1....1..gws-wiz-img.XPSxNWW-eIc#imgdii=_UuxqtuHREnSLM:&im
- "Wave Orbitals and the Effect of Depth on Wave Behaviour - Pesquisa Google." 2010. 2010. https://www.google.com/search?q=Wave+orbitals+and+the+effect+of+depth+on+wave+behaviour&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjkrMaK08DfAhWqTBUIHeLWAUMQ_AUIDigB&biw=1536&bih=723#imgrc=Mvcovmye2cquHM:
- "Windfloat - Pesquisa Google." 2018. 2018. https://www.google.com/search?q=windfloat&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=d0Q5z54zq0N6-M%253A%252C-wDC1lZsrMTCfM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kSpQvkVOC4khSBfAjqgDqEOouziBw&sa=X&ved=2ahUKEwjwno6IzPfgAhVJhxoKHdHFDAAQ9QEwB3oECAIQEg#imgrc=d0Q5z54zq0N6-M:
- Yebra, Diego Meseguer, Søren Kiil, and Kim Dam-Johansen. 2004. "Antifouling Technology - Past, Present and Future Steps towards Efficient and Environmentally Friendly Antifouling Coatings." *Progress in Organic Coatings* 50 (2): 75–104. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2003.06.001>.

ANEXO A: Manta de fibra de vidro com resina de poliéster isóftalica

Case: (untitled)

ESAComp 2.0

Directory: C:\Program Files (x86)\ESAComp20\User\Cases

Mon Apr 02 14:46:36 2012

Ply : E;Isophthalic;M-.340/300/35Keywords : Fiber;Glass;Matrix;Polyester;
Modified : Fri Mar 12 12:00:00 1999Physical nature : **reinf.ply**Mech. behavior : **transv.is.12**

Form of reinf. : mat, continuous fibers

t = 0.34 mm	m_A = 567.8 g/m ²	V_f = 35%
	rho = 1670 kg/m ³	f_1/2 = 0/0%

Engineering constants (transv.is.12)

E_1 = 14.5 GPa	nu_12 = 0.26
E_2 = 14.5 GPa	
G_12 = 6.5 GPa	

Thermal and moisture expansion coeff. (transv.is.12)

alpha_1 = 13 e-6/°C	beta_1 = 0 e-2/w%
alpha_2 = 13 e-6/°C	beta_2 = 0 e-2/w%

First failure stresses and strains (transv.is.12)

X_t / X_eps,t = 180 MPa / 1.24138 %	X_c / X_eps,c = 250 MPa / 1.72414 %
Y_t / Y_eps,t = 180 MPa / 1.24138 %	Y_c / Y_eps,c = 250 MPa / 1.72414 %
Z_t / Z_eps,t = - MPa / - %	Z_c / Z_eps,c = - MPa / - %
S / S_eps = 65 MPa / 1 %	
R / R_eps = - MPa / - %	
Q / Q_eps = - MPa / - %	

Ultimate stresses and strains (transv.is.12)

X_t / X_eps,t = 180 MPa / 1.7 %	X_c / X_eps,c = 250 MPa / 2 %
Y_t / Y_eps,t = 180 MPa / 1.7 %	Y_c / Y_eps,c = 250 MPa / 2 %
Z_t / Z_eps,t = - MPa / - %	Z_c / Z_eps,c = - MPa / - %
S / S_eps = 65 MPa / 1.6 %	
R / R_eps = - MPa / - %	
Q / Q_eps = - MPa / - %	

Processing data

Applicability : wet lay-up;resin transfer molding

Comment

GENERAL COMMENTS

* Typical data at room temperature (25°C) with moisture weight content 0.5% and void volume content less than 3.0%.

MECHANICAL DATA

* Certain (X_t, X_c, S) first failure and ultimate stresses are considered to be identical.