



Dissertação  
Mestrado em Aquacultura

**Produção integrada de corvinas (*Argyrosomus regius*) e ostras (*Crassostrea gigas*) em tanques de terra**

**Hugo Alexandre Quental Ferreira**

Peniche, Março de 2017

*“Sit down before fact as a little child, be prepared to give up every preconceived notion, follow humbly wherever and to whatever abysses nature leads, or you shall learn nothing.”*

Thomas Henry Huxley, 1900.



2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10 **Produção integrada de corvina (*Argyrosomus regius*)**  
11 **e ostra (*Crassostrea gigas*) em tanques de terra**  
12  
13  
14

15 **Hugo Alexandre Quental Ferreira**  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22

23 Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Aquacultura  
24  
25  
26

27 Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação da Doutora Emília  
28 Cunha, Investigadora Auxiliar do Instituto Português do Mar e Atmosfera e  
29 coorientação da Professora Doutora Ana Pombo, da Escola Superior de  
30 Tecnologia do Mar do Instituto Politécnico de Leiria.  
31  
32  
33

34 Peniche, Março de 2017

Título: Produção integrada de corvinas (*Argyrosomus regius*) e ostras (*Crassostrea gigas*) em tanques de terra

Copyright © Hugo Alexandre Quental Ferreira

Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar – Peniche

Instituto Politécnico de Leiria

2017

A Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar e o Instituto Politécnico de Leiria têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Este trabalho foi financiado pelo projeto SEAFARE \_ Sustainable and Environmentally Friendly Aquaculture in the Atlantic Region of Europe (Atlantic Area Transnational Programme nº 2009-1/123), do qual fui bolsheiro de Investigação durante os trabalhos para esta tese.

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração de um grupo de pessoas às quais gostaria de agradecer:

Ao IPL, ESTM, e à coordenadora do mestrado e minha orientadora interna Ana Violante Pombo pela disponibilidade em orientar e corrigir a minha tese e pelo esforço na resolução de dúvidas durante todo o mestrado. Muito agradecido!

À Dra. Emília Cunha, orientadora pelo IPMA, sempre atenta a todos os detalhes, respirando e ensinando ciência constantemente e a quem lhe devo boa parte do meu espírito científico teórico e prático. Esta tese também é literalmente sua!

Ao Dr. Pedro Pousão, por permitir a realização deste trabalho na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão. Agradeço a sua paciência, orientação, disponibilidade e apoio na realização deste trabalho, bem como o incentivo na realização deste mestrado.

À Dra. Florbela Soares e à Dra. Laura Ribeiro por todo o incentivo em avançar com o mestrado, pela confiança que me deram nas minhas capacidades e no contínuo apoio à minha progressão profissional e pessoal.

A todos os meus colegas da Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (EPPO) que agora e no passado me ajudaram também a conseguir realizar com sucesso o mestrado e esta tese. Em especial ao meu colega de campo Nuno Simões que é incansável e me ajudou sempre nos trabalhos desta tese e para o bem-estar da EPPO.

Aos meus familiares que me educaram dentro de uma família exemplar, de poucas posses, mas muita riqueza de carácter à qual me inspiro e tento transmitir os seus ensinamentos.

Aos meus pais e irmão pelo apoio incondicional em todas as circunstâncias e feitos e aos quais não consigo dar toda a gratidão que merecem.

À Sara Castanho pelo apoio e preocupação constante, pela motivação, por me dar um padrão de excelência e por toda a paciência enquanto me dediquei à tese. Conto contigo para as próximas aventuras.

Dedico este trabalho aos meus avós, que tanto se esforçaram durante tempos muito difíceis em Portugal e Angola conseguindo passar à família sempre uma mensagem de alegria e prazer na vida, educando pelo bom senso e tolerância. Farei sempre os possíveis para honrar o vosso esforço.

## Resumo

Em Portugal e no Sul da Europa o regime semi-intensivo em aquacultura tem-se mostrado economicamente insustentável o que levou, nas últimas duas décadas, a uma diminuição acentuada do número de empresas piscícolas. Para inverter esta tendência tem-se vindo a analisar várias possibilidades de incrementar a rentabilidade destes sistemas de produção sem aumentar o impacto ambiental. Uma dessas possibilidades é a utilização de sistemas multitróficos integrados em tanques de terra. Os resíduos resultantes do processo de produção de peixe neste sistema são utilizados e assimilados por outros organismos, igualmente valorizados no mercado, permitindo a redução de desperdícios e aumentando a rentabilidade das explorações piscícolas. Este trabalho teve como objetivo determinar o efeito de duas combinações de diferentes biomassas de corvinas (*Argyrosomus regius*) e ostras (*Crassostrea gigas*), postas em cultivo integrado, na qualidade de água e desempenho animal (taxas de crescimento e eficiência alimentar) de forma a avaliar qual das combinações permitia atingir uma maior rentabilidade com um menor impacto ambiental dos efluentes. As duas combinações foram testadas em dois tratamentos com três replicados cada. Os parâmetros de qualidade de água monitorizados foram temperatura, oxigénio dissolvido, turbidez, pH, nutrientes e clorofilas e os das espécies em cultura foram o peso e a sobrevivência. Os parâmetros técnicos controlados foram a distribuição de ração, renovação de água, e o arejamento. As duas combinações de biomassa (alta de corvina + baixa de ostra, vs. baixa de corvina + alta de ostra) apresentaram diferenças significativas na turbidez, amónia, nitritos, nitratos, clorofilas e tempo de arejamento. As taxas de crescimento ( $0.25\%.\text{dia}^{-1}$  nas corvinas e  $0.57\%.\text{dia}^{-1}$  nas ostras) e a taxa de conversão alimentar das corvinas (1,75 e 1,83 respetivamente para tratamentos de alta e baixa densidade de corvina) foram semelhantes nos dois tratamentos. A rentabilidade estimada para uma produção por ha para cada um dos tratamentos revelou uma diferença de 50000 euros a favor do tratamento com maior biomassa de ostra mostrando que é possível ter rentabilidade com uma aquacultura multitrófica integrada. Numa perspetiva dos serviços ecossistémicos a utilização de cultivo multitrófico de corvina e ostra mostrou-se uma mais valia com uma grande redução nos valores de nutrientes libertados para o ambiente e grande rentabilidade monetária. Sugere-se que no cultivo integrado a eficiência alimentar tenha em conta toda a biomassa criada dentro do sistema de forma a melhor interpretar a eficiência na utilização de ração que é o componente mais dispendioso em aquacultura em tanques de terra.

**Palavras-chave:** IMTA, sistema semi-intensivo, serviços ecossistémicos, mercado de crédito de nutrientes.

## **Abstract**

Semi-intensive aquaculture in Portugal and other South European countries has been economic unsustainable leading to a sharp decrease in the number of fish farms in the last two decades. To invert this tendency, several possibilities has been considered to increase revenues from these traditional systems without increasing environmental impacts. One of those possibilities is Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in earth ponds. The wastes created in the fish production processes are acquired and assimilated by other organisms, converting them into new marketable products, decreasing wastes and increasing revenues of fish farms. The goal of this study was to evaluate the effect of the integrated culture of two distinct combinations of biomass of meagre (*Argyrosomus regius*) and Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in the water quality and animal performance (growth rates and feed efficiency) to evaluate which combination results in higher profits with less environmental impacts of effluents. The two combinations (high meagre and low oyster vs. low meagre high oyster biomasses) were tested on two treatments with three replicates each. Water quality parameters (temperature, dissolved oxygen, turbidity, pH, nutrients, chlorophyll a), and biological parameters (mean weight, survival) and some technical parameters (feed distribution, water renewal, aeration time) were measured regularly. The two treatments showed significant differences for turbidity, ammonia, nitrites, nitrates and chlorophyll as well as for the time of aeration. No significant differences were found for meagre and oyster growth rates ( $0.25\%.\text{day}^{-1}$  for meagre e  $0.57\%.\text{day}^{-1}$  for oysters) and feed conversion ratios for meagre (1,75 and 1,83 respectively for treatments of high and low meagre densities). Profitability estimates for each treatment extrapolated to a 1 ha production revealed a 50000 Euros difference in favor of the combination with higher oyster biomass, showing that higher profits can be obtained with lower fish densities with incorporation of lower trophic levels where there is a higher assimilation of feed wastes. From an ecosystem services perspective, the combination of meagre and oysters showed a higher value with a strong reduction of nutrients released in the environment and higher profitability.

**Keywords:** IMTA, semi-intensive system, ecosystem services, nutrient credit trading.

## Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento Temático.....	2
1.1.1	Regime semi-intensivo em tanques de terra .....	3
1.1.2	O ecossistema dos tanques de terra .....	4
1.1.3	A importância da qualidade da água em Aquacultura .....	4
1.1.4	Alimentação .....	5
1.1.5	Desafios atuais do regime semi-intensivo em piscicultura .....	7
1.2	Abordagem ecológica em aquacultura .....	8
1.2.1	Sistemas de Policultura .....	10
1.2.2	Aquacultura Multitrófica Integrada .....	10
1.2.3	Princípios de produção em tanques de terra em IMTA .....	13
1.2.4	Aplicação da IMTA em tanques de terra para piscicultura .....	14
1.2.5	Mercado de créditos de nutrientes.....	14
1.3	Espécies a utilizar em sistemas IMTA.....	15
1.3.1	Corvina-legítima ( <i>Argyrosomus regius</i> , Asso 1801) .....	16
1.3.2	Ostra do Pacífico, <i>Crassostrea gigas</i> .....	18
2	Objetivos .....	19
3	Metodologia .....	20
3.1	Local de estudo .....	20
3.2	Desenho experimental .....	21
3.3	Condições experimentais .....	21
3.4	- Material biológico .....	23
3.5	- Cultivo das ostras nos tanques .....	23
3.6	Alimentação do peixe.....	24
3.7	Manejo diário e semanal.....	25
3.8	Amostragens bióticas e abióticas.....	26
3.8.1	- Peixe e ostras .....	26
3.8.2	- Nutrientes e clorofilas na água .....	27
3.9	Determinação da produção animal.....	27
3.10	Estimativa de rentabilidade das produções.....	28
3.11	Tratamento e análise de dados.....	29
4	Resultados .....	30
4.1	Ração distribuída e renovação de água .....	30
4.2	Parâmetros de qualidade de água .....	30
4.3	Produção de corvina e ostra .....	34

4.4	Consumo energético .....	38
4.5	Produção animal final.....	38
4.6	Estimativas de rentabilidade das produções .....	40
5	Discussão .....	42
5.1	Qualidade de água .....	42
5.2	Produção de corvinas e ostras .....	44
5.3	Estimativa de rentabilidade das produções .....	46
6	Conclusão .....	47
7	Referências.....	48
8	- Anexo 1: Tabela de racionamento para corvina usada na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (3.6 da metodologia). .....	56
9	- Anexo 2: Equações usadas na comparação da produtividade entre tratamentos (3.10 da metodologia).....	57
10	- Anexo 3: Equações usadas na estimativa da rentabilidade (3.11 da metodologia) .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Processos físicos que ocorrem com o fornecimento de ração em piscicultura. (Adaptado de Serpa, 2011).....	6
Figura 2 - Relação entre a carga animal e a produtividade numa cultura de bivalves. A capacidade de carga aumenta com a carga animal até um ponto em que o crescimento dos indivíduos é gravemente comprometido pela falta de alimento. (Adaptado de Serpa, 2011). .....	9
Figura 3 - Exemplo de um sistema de Aquacultura Multitrófica Integrada em Tanques de Terra. (Adaptado de Shpigel, 2013.) .....	11
Figura 4 - Ciclo de nutrientes em sistema multitrófico integrado com peixes, bivalves e algas: C – Consumo; E – Excreção; A –Assimilação; P- Produção. (Adaptado de Fang et al., 2016).....	12
Figura 5 - Corvina, <i>Argyrosomus regius</i> . .....	16
Figura 6 - Ostra do Pacífico, <i>Crassostrea gigas</i> .....	18
Figura 7- Visão aérea da localização da Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (EPPO), com a circulação da água (setas a azul) para os tanques usados no ensaio. ....	20
Figura 8 – a) Alimentador automático utilizado em cada tanque, com duas saídas de ração. b) Injetor de ar, que se pode observar na imagem da esquerda posicionado a meio do tanque. Na parte superior da imagem esquerda observa-se a rede de cobertura dos tanques.....	22
Figura 9 – a) Disposição dos longlines dentro do tanque com alguns sacos a seco; b) Pormenor de um saco fixo ao longline. (Fonte: IPMA).....	24
Figura 10 - Viragem manual dos sacos das ostras. (Fonte: IPMA).....	26
Figura 11- Ração distribuída mensalmente em cada tanque de cada tratamento e % renovação de água utilizada durante o ensaio. Px – Tratamento com maior densidade de peixes; Ost – Tratamento com maior densidade de ostras.....	30
Figura 12 - Evolução temporal da média mensal da a) temperatura, b) turbidez, c) oxigénio dissolvido d) pH nos dois tratamentos (Px e Ost) ao longo do ensaio. Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	32
Figura 13 – Evolução da média mensal para a) amónia, b) nitritos, c) nitratos, d) fosfatos, e) silicatos e f) clorofilas nos tratamentos. Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	33
Figura 14 - Evolução horária da concentração de Oxigénio Dissolvido na água do tanque em que ocorreu a mortalidade massiva dos animais (dias 26 e 27 de Julho 2015). (Registo do Sistema SINERGIA) .....	34

Figura 15 – Evolução da média mensal do peso das corvinas ao longo dos ensaios: Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	35
Figura 16 – Evolução da média mensal do peso das ostras ao longo dos ensaios: Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	35
Figura 17 – Evolução da média mensal da sobrevivência das ostras ao longo dos ensaios: Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	36
Figura 18 – Evolução da média mensal da biomassa de corvinas ao longo dos ensaios: Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	36
Figura 19 – Evolução da média da biomassa de ostras ao longo dos ensaios: Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	37
Figura 20 – Evolução da média da biomassa total ao longo dos ensaios: Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	37
Figura 21 – Evolução do tempo de funcionamento dos injetores ao longo dos ensaios Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. : As barras de erro correspondem ao desvio padrão. ....	38
Figura 22 - Comparação da Taxa de Desperdício Alimentar entre os tratamentos com exclusão e inclusão da biomassa de ostras $B_{ost}$ : Biomassa final de ostras.....	40

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores de produção do Robalo ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ), Dourada ( <i>Sparus aurata</i> ) e Corvina ( <i>Argyrosomus regius</i> ) no Mar Mediterrâneo (fonte: Kružić et al., 2016) .....	17
<b>Tabela 2</b> - Número de indivíduos, peso médio e densidade no início do ensaio em cada tanque nos dois tratamentos efetuados.....	21
<b>Tabela 3</b> – Valores teóricos indicativos da percentagem de renovação de água nos tanques de cultivo com base na temperatura da água e na quantidade de ração distribuído por dia. Fonte: IPMA.....	21
<b>Tabela 4</b> – Informação nutricional da ração seca extrudida (Alpis, Coelho&Castro, Lda). Observa-se uma percentagem de proteína de 40,8% com 30% de incorporação de farinha de peixe e 3% de óleo de peixe.....	25
<b>Tabela 5</b> - Preços de venda e de custos usados na estimativa da rentabilidade.....	28
<b>Tabela 6</b> - Médias mensais ( $\pm$ desvio padrão) da temperatura da água, turbidez, oxigénio dissolvido, e pH para ambos os tratamentos durante o ensaio. N = Número de medições. * significância de $p < 0,001$ .....	31
<b>Tabela 7</b> – Médias mensais ( $\pm$ desvio padrão) de amónia, nitratos, nitritos, fosfatos, silicatos, e clorofilas para ambos os tratamentos durante o ensaio. N = Número de medições * significância de $p < 0,001$ .....	32
<b>Tabela 8</b> – Parâmetros de avaliação da produção final entre tratamentos. ....	39
<b>Tabela 9</b> - Valores para determinação da Taxa de Desperdício Alimentar entre os tratamentos com exclusão e inclusão da biomassa criada de ostras.....	39
<b>Tabela 10</b> - Valores para a avaliação de rentabilidade para uma produção de 1 ha com inclusão ou exclusão da biomassa de ostras para avaliação da eficiência na utilização da ração. ....	41
<b>Tabela 11</b> - Rentabilidade dos dois tratamentos considerando os custos dos juvenis, ração fornecida e desperdiçada (azoto e fósforo) e de arejamento. Os preços usados nesta estimativa encontram-se na Tabela 5. ....	41

# 1 Introdução

A estagnação das capturas dos recursos da pesca nos últimos anos tem vindo a forçar a intensificação das produções em aquacultura. Esta intensificação global acarreta impactos ambientais negativos pelo que no séc. XXI a expansão da aquacultura necessita de ser não só sustentável a nível económico, mas principalmente a nível ecológico e social (FAO, 2016a). O consumidor atual é bem informado e preocupa-se com os impactos ambientais e com o bem-estar animal.

A história da aquacultura mundial é indissociável da sua estrutura de produção mais comum: tanques de terra (Diana, 2012) pois, até ao aparecimento do cultivo de salmonídeos a partir da década de 60, a grande maioria da produção aquícola mundial era realizada usando tanques de terra (Diana, 2012). Em Portugal este tipo de estrutura foi também a mais utilizada desde o início do séc. XX permanecendo assim ainda hoje na produção de peixe marinho (INE, 2016). Em geral este tipo de estrutura é utilizado em termos de intensidade em regime semi-intensivo, permite produzir um produto de alta qualidade e tem um impacto ambiental controlável (Diana, 2012). No entanto e um pouco por todo o Sul da Europa esta intensidade de produção tem-se mostrado economicamente insustentável o que levou nas últimas duas décadas a uma diminuição acentuada do número de empresas piscícolas. Para inverter esta tendência tem-se vindo a analisar várias possibilidades para aumentar a rentabilidade destes sistemas de produção sem aumentar o impacto ambiental. Uma das possibilidades é a utilização de sistemas multitróficos integrados (IMTA) em tanques de terra. Estes sistemas, desenvolvidos na Ásia já há pelo menos dois milénios e adaptados há cerca de 4 décadas pelo Ocidente para diminuir o impacto das jaulas de produção marinha de salmão, podem ser uma estratégia viável. São sistemas socialmente aceites e que não exigem grandes alterações nas práticas de cultivo em tanques de terra (FAO, 2009).

Esta dissertação explora alguns dos efeitos da utilização destes sistemas de IMTA no cultivo de peixe em tanques de terra no sentido de avaliar se esta integração é uma mais-valia económica e ambiental quando comparada com a tradicional piscicultura em regime semi-intensivo.

## 1.1 Enquadramento Temático

Portugal apresenta o terceiro maior consumo de pescado *per capita* a nível mundial e o primeiro dentro da União Europeia (EUMOFA, 2016). Este elevado consumo, perto de 600.000 toneladas, provem maioritariamente de produtos importados, cerca de 66.2% (INE, 2016). As descargas nacionais em 2015 foram cerca de 194 mil toneladas e a produção aquícola foi de 8824 toneladas, cerca de 4,3% do total de pescado nacional (INE, 2016), um valor muito inferior ao valor da União Europeia de 26% (EUFOMA, 2016). Observa-se destes valores que a contribuição da aquacultura nacional é muito baixa (1,4%) em relação ao consumo de pescado, valor na União Europeia de 24% (EUFOMA, 2016). Uma vez que Portugal depende maioritariamente das importações para cobrir o seu consumo de pescado, com um nível muito reduzido da sua aquacultura e sendo o maior consumidor de pescado da União Europeia, as entidades competentes nacionais (DGRM, Ministério das Pescas) criaram um Plano Estratégico para a Aquicultura Portuguesa (DGRM, 2015) de forma a impulsionar o setor a aumentar a sua produção para as 35000 toneladas em 2023.

Tradicionalmente a aquacultura em Portugal tem sido feita maioritariamente em sistemas extensivos e semi-intensivos localizados em lagoas, estuários e áreas de sapais, como as culturas de bivalves em zonas intertidais de forma extensiva (amêijoas e ostras) e de peixes marinhos em sistema semi-intensivo nos tanques de terra (dourada, robalo, linguado, enguia e recentemente corvina) (INE, 2016). O sistema intensivo tem sido essencialmente utilizado nos cultivos em água doce de trutas (Rio Alto, Manteigas, Madeira) (INE, 2016). Recentemente tem havido algum esforço na produção em zonas marinhas costeiras e em especial na cultura de mexilhões em longlines, na de peixe marinho em jaulas flutuantes (dourada). A cultura de pregado em tanques de cimento em terra pela empresa Acuinova, do grupo Pescanova (DGRM, 2015) tem tido também algum investimento.

Uma área da aquacultura nacional onde não tem havido avanços tem sido a produção tradicional de peixe marinho em tanques de terra em regime semi-intensivo (INE, 2016). Este regime, o mais utilizado a nível mundial para produção de peixe, tem características específicas porque depende do correto equilíbrio de processos químicos, físicos e biológicos dentro e fora do sistema que nem sempre podem ser controlados pelo aquicultor.

A produção multitrófica integrada em tanques de terra em regime semi-intensivo pode desempenhar um papel importante no controlo da eutrofização dos mesmos. A

utilização de organismos filtradores leva a uma diminuição dos níveis da matéria orgânica promovendo a melhoria da luz subaquática, da oxigenação da água do fundo e contribuindo para restaurar a vegetação aquática submersa. Esta tese considera também o aspeto de serviço de ecossistema prestado pela utilização de IMTA em tanques de terra como um agente potencial em futuros programas de comércio de crédito de nutrientes.

### **1.1.1 Regime semi-intensivo em tanques de terra**

A aquacultura processa-se numa grande variedade de sistemas, sendo o regime semi-intensivo em tanques de terra o meio de produção mais utilizado. Estes tanques são normalmente retangulares com menos de 1,5 metros de profundidade variando a sua área entre os 0,1 ha e os 10 ha (Culberson & Piedrahita, 1996).

Em Portugal, e com exceção das recentes produções em jaulas oceânicas na Madeira e em Sines, o regime semi-intensivo foi o que mais se desenvolveu nas últimas 3 décadas e é o responsável por uma grande parte da produção de dourada e robalo (INE, 2016). Este regime caracteriza-se por ser a conjugação do sistema extensivo, em que a produtividade natural funciona como sustento alimentar, e o intensivo, em que apenas o alimento artificial fornecido serve para esse sustento (Lucas & Southgate, 2012). No regime semi-intensivo, ambos os componentes (a produtividade natural e o alimento artificial) são fatores cruciais na dinâmica dos tanques de terra, que, consoante as espécies cultivadas, podem funcionar com diversos fins na otimização da produção aquícola. De uma forma geral a produtividade natural funciona como principal fornecedor de oxigénio ao sistema, enquanto que o alimento artificial é o responsável pela nutrição dos peixes estabulados. Este alimento comporta-se também como provedor de nutrientes ao sistema natural pois, após serem decompostos nas suas frações orgânicas e inorgânicas, vão alimentar as populações de organismos autóctones dos tanques. Deste modo, existe uma inter-relação entre o alimento fornecido e a produtividade natural dos tanques de terra, sendo a maximização dessa inter-relação um dos aspetos principais da gestão desses tanques (Boyd & Tucker, 1998, Bosma & Verdegem, 2011).

### **1.1.2 O ecossistema dos tanques de terra**

O cultivo de peixes em tanques de terra, tal como a agricultura, baseia-se num conjunto de processos que envolve a receção e transformação da energia solar (Kumar, 1992). Esta é convertida em energia química pelas plantas autotróficas, através das atividades fotossintética e quimiossintética que ocorrem no tanque, sendo a taxa a que estas ocorrem denominada por produtividade primária do tanque (Kumar, 1992). Esta produtividade primária é essencial num tanque de terra uma vez que, pelo processo de fotossíntese, o oxigénio dissolve-se na água do tanque sendo depois utilizado pelos peixes em cultivo. Deduz-se desta relação que é indispensável uma produtividade primária alta para suprir as necessidades em oxigénio dos organismos heterotróficos nos tanques. Contudo, níveis muito elevados de fitoplâncton consomem grandes quantidades de oxigénio durante a noite e podem provocar stress ou mesmo a morte dos peixes cultivados (Smith & Piedrahita, 1988) por falta de oxigénio. Uma das formas de evitar este problema em tanques de terra é com a utilização de arejadores, mas estes implicam um aumento dos custos de produção.

Torna-se vital promover o crescimento e manutenção de populações de fitoplâncton em tanques de terra, de modo a permitir um adequado crescimento das espécies piscícolas em cultivo com um mínimo de gastos. Aspectos como a luz, o dióxido de carbono, a temperatura e os nutrientes essenciais (azoto e fósforo) podem funcionar como fatores limitantes dessa produtividade primária, levando a que a mesma não seja suficiente para suprir as necessidades metabólicas dos peixes (Kumar, 1992).

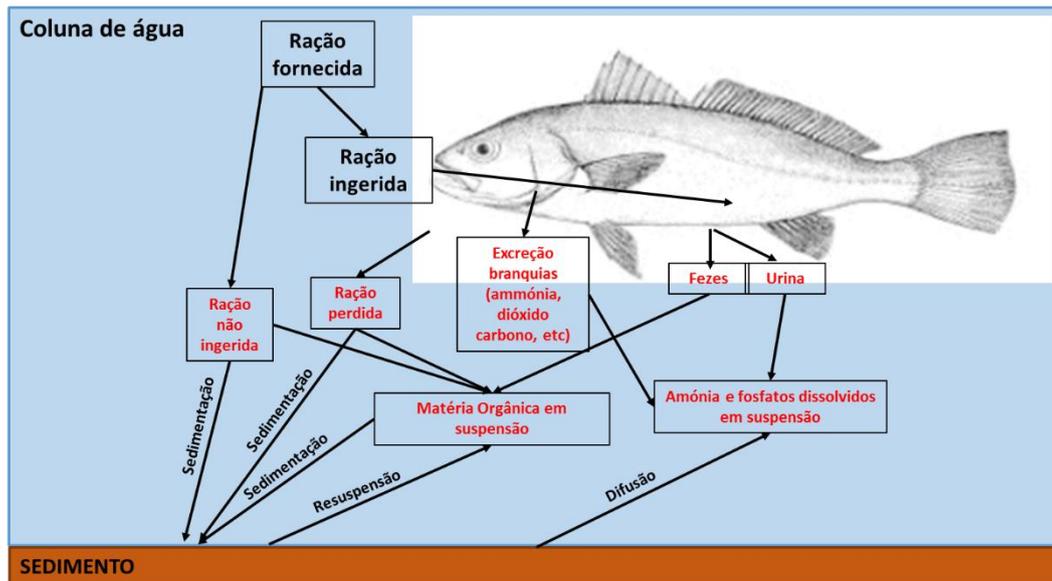
### **1.1.3 A importância da qualidade da água em Aquacultura**

Os peixes realizam todas as suas funções corporais na água, dependendo totalmente dela para a reprodução, a respiração, o crescimento, a alimentação, a excreção de fezes e para manter o equilíbrio osmótico (Boyd & Tucker, 1998). Deste modo, torna-se necessário compreender as qualidades físicas e químicas da água que são cruciais para o sucesso de uma aquacultura (Boyd & Tucker, 1998). Essas qualidades são largamente determinadas por processos biológicos e químicos, relacionados com a fotossíntese e a respiração dos organismos presentes nos tanques (Culberson & Piedrahita, 1996), sendo que a sua previsão e gestão num tanque de terra oferece desafios específicos devido à exposição do sistema aos fatores climáticos e topográficos (Culberson & Piedrahita, 1996).

É necessário uma monitorização diária da qualidade da água que suporta a vida dos peixes contidos nos tanques e parte dessa monitorização é utilizada para o controlo e supervisão da produtividade primária dos tanques de terra, com vista a prevenir o colapso das populações fitoplanctónicas e, conseqüentemente, do oxigénio disponível para a respiração dos peixes. Milstein *et al.* (2001) realça também que a qualidade da água em tanques de terra depende da qualidade da água de entrada no tanque, da circulação da água, dos processos biológicos que ocorrem no tanque e da qualidade da água que sai dos tanques. A monitorização da qualidade da água é, na aquacultura em tanques de terra, uma prioridade, uma vez que, devido ao ecossistema que se gera dentro dos tanques e à exposição destes aos elementos climáticos e topográficos, a variação dessa mesma qualidade é constante, por vezes diária em alguns parâmetros (O<sub>2</sub>, temperatura, pH) e com possíveis conseqüências negativas para o cultivo das espécies (Krom *et al.*, 1985), nomeadamente no que toca às taxas de crescimento, aspeto este fulcral e decisivo de uma aquacultura. No entanto os produtores neste regime não têm total controlo dos elementos climáticos e de alguns parâmetros da qualidade de água, dificultando muitas vezes a otimização da produção, controlo de doenças e de uma alimentação eficiente (Bosma & Verdegem, 2011).

#### **1.1.4 Alimentação**

No caso do regime semi-intensivo em Portugal a alimentação é fornecida aos peixes como base nutricional, não impedindo no entanto, algumas espécies como a dourada de usarem alimento natural dos tanques de terra (bivalves, macroalgas). Em geral, apenas 10 a 30 % do fósforo e 20 a 40% do azoto aplicados no alimento são retidos pelo animal (Hargreaves, 1998, Boyd & Tucker, 1998, Lazari & Baldisserotto, 2008, Ribeiro *et al.*, 2015). Existe, portanto, após a digestão e assimilação dos nutrientes da ração uma enorme libertação de produtos azotados e fósforo nos tanques de terra e nos respetivos efluentes. Poderá existir também uma fração do alimento fornecido que não é ingerido e se deposita no fundo dos tanques (elevando os gastos em ração). Todos os nutrientes destas fontes, em conjunto com as fezes dos peixes, são assimilados pelo fitoplâncton (maioritariamente amónia), decompostas pelos microrganismos presentes nas camadas superficiais do fundo dos tanques ou libertadas no meio ambiente pela renovação de água (Hargreaves, 1998). A Figura 1 mostra os principais processos que ocorrem com o fornecimento de ração em piscicultura em tanques de terra.



**Figura 1** - Processos físicos que ocorrem com o fornecimento de ração em piscicultura. (Adaptado de Serpa, 2011).

Assim, as rações utilizadas resultam também, em segundo plano, como fonte de nutrientes para outros componentes do ecossistema dos tanques e para o meio envolvente onde os efluentes são libertados (Boyd, 1986), um dos principais impactos negativos no ambiente da aquacultura semi-intensivo (Diana, 2012). Existe assim um excedente de nutrientes e matéria orgânica vindos da ração que não é aproveitada pelos organismos em cultivo e se perde dentro e fora do sistema por processos físicos, químicos e biológicos (Bosma & Verdegem, 2011). O facto de não ser possível também observar com exatidão se o peixe assimila toda a ração distribuída origina valores da Taxa de Conversão Alimentar, TCA (em inglês Food Conversion Ratio, FCR) em tanques de terra que ultrapassam muitas vezes o valor 2 (2 Kg de ração fornecida/Kg de peixe produzido), mesmo chegando perto de 3 com má gestão da alimentação (ou usando alimento feito localmente, comum nos países asiáticos). Estes valores são mais altos do que nos sistemas intensivos, onde o controlo da alimentação é mais rigoroso, com valores de TCA entre 1 e 1,5 (Boyd, 2005).

A ideia de que elevadas quantidades de alimento e intensificação levam a melhores resultados de produção torna-se impraticável no regime em semi-intensivo (Cole & Boyd, 1986 *in* Boyd, 1986), uma vez que, pelo facto de o fitoplâncton consumir oxigénio durante a noite, um maior fornecimento de ração (aumento dos nutrientes) mantendo-se o mesmo regime de circulação de água (limitado muitas vezes pelas marés ou capacidade de bombagem) levará a um aumento da biomassa de fitoplâncton e conseqüentemente a uma maior necessidade em oxigénio por parte deste importante componente do ecossistema dos tanques durante a noite. Esta maior necessidade leva

ao abaixamento do OD até níveis críticos para os peixes pelo que a biomassa de fitoplâncton deve ser mantida a níveis intermédios para evitar o elevado consumo de oxigénio nos tanques durante a noite (Smith & Piedrahita, 1988). Segundo Milstein *et al*, 2001, a introdução de alimento tem um efeito maior do que a fotossíntese nos níveis de O<sub>2</sub>, pH e nos compostos inorgânicos azotados dentro dos tanques. Mais do que a nutrição dos peixes em cultivo, o alimento fornecido interfere com os principais parâmetros da qualidade da água, sendo que uma adequada distribuição do alimento nos tanques é essencial para um ambiente aquático favorável ao crescimento dos peixes.

### **1.1.5 Desafios atuais do regime semi-intensivo em piscicultura**

Para além dos desafios na gestão da produção em regime semi-intensivo, as empresas vêm-se também confrontadas com elevados custos da ração, mão de obra, eletricidade, entre outros custos operacionais (Ramalho & Dinis, 2010). Outro fator crucial deste regime prende-se com o facto destas produções estarem geralmente inseridas em parques naturais e sobre proteção ambiental, com condições legais restritivas para a aquacultura. Esta condição é um grande constrangimento para o setor, uma vez que restringe a implantação de novas instalações e a expansão das existentes. Com poucas possibilidades de crescimento, a maioria destas empresas são familiares, produzindo pequenas quantidades e com vendas locais (Ramalho & Dinis, 2010). Se adicionarmos a forte concorrência de pescado a baixos preços e elevadas quantidades vindo do estrangeiro (principalmente dourada e robalo da Grécia e Espanha) percebe-se que, pelo conjunto dos desafios, existe uma elevada dificuldade em manter estes sistemas de produção ativos e de forma sustentável.

A intensificação destas produções, com densidades de peixe mais altas (acima de 3 Kg/m<sup>3</sup>) poderia aumentar essa produtividade, mas requer algum investimento em tecnologia (arejadores, alimentadores, bombas, mecanização operacional) e mão de obra especializada que as pequenas empresas não têm capacidade de realizar, para além das dificuldades na gestão da qualidade de água. No entanto sem mudanças e incentivos para esta área de produção aquícola prevê-se que estas empresas não consigam subsistir no médio prazo se houver fortes apostas na produção em mar aberto a nível nacional.

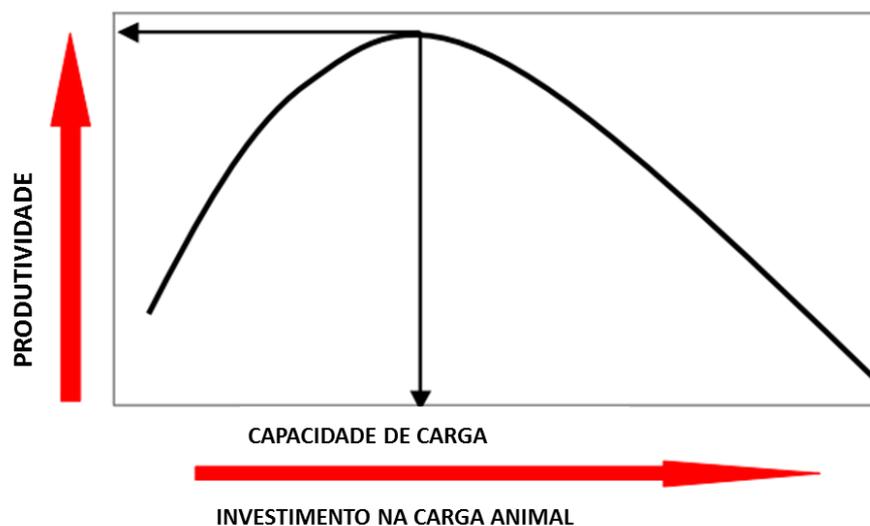
Torna-se claro para a subsistência destes sistemas que se explore novas alternativas de rentabilização de forma a tirar o máximo proveito das situações já existentes. Uma dessas alternativas é apostar numa aquacultura mais sustentável que possa ultrapassar

os constrangimentos legais e impactos no ambiente, com aumento na eficiência produtiva e permitindo ter produtos diferenciados em qualidade de forma a procurar novos mercados, fora dos circuitos onde o pescado importado tem maior facilidade em entrar.

## **1.2 Abordagem ecológica em aquacultura**

Um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável da aquacultura é a minimização do seu impacto no ambiente (Navarrete-Mier *et al.*, 2010). Encontrar uma solução adequada para o excesso de nutrientes presentes nos efluentes provenientes de aquacultura tornar-se-á um fator decisivo na expansão do sector de forma sustentável, quer a nível ecológico, quer a nível económico (Pereira e Correia, 2015). Os desafios ligados à aquacultura são geralmente de natureza cumulativa e aditiva. Cumulativa significa que o impacto causado por uma exploração torna-se insignificante quando nos referimos apenas a uma única exploração, mas poderá ser potencialmente significativo em relação ao impacto criado por todo o sector, aditivo implica que o impacto da aquacultura pode ser acrescentado a muitas outras pressões e impactos no seu desenvolvimento (Fezzardi *et al.*, 2013).

Um dos conceitos mais importantes a ter em conta na gestão sustentável das explorações aquícolas é o termo capacidade de carga (Ross *et al.*, 2013). A capacidade de carga (CC) ajuda a definir os limites máximos de produção, os limites ecológicos, e a aceitabilidade social da aquacultura sem causar grandes impactos no ecossistema e nas funções e estruturas sociais (Byron e Costa-Pierce, 2013), isto é, estima os limites de “mudanças ambientais aceitáveis” (Ross *et al.* 2013). Este conceito pode ser dividido em quatro categorias: física, produtiva, ecológica e social (McKindsey *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2008, Kluger *et al.*, 2016). A CC física é definida como a área geográfica disponível e fisicamente apta para o cultivo de uma espécie num determinado local (Kluger *et al.*, 2016). A CC social considera o nível de desenvolvimento que causa impactos sociais inaceitáveis (McKindsey *et al.*, 2006). A CC produtiva é definida como a densidade de stock em que os níveis de produção são maximizados sem afetar negativamente as taxas de crescimento (Nunes *et al.* 2003). Por último, a CC ecológica considera a densidade de cultivo que causa impactos ecológicos inaceitáveis (Byron *et al.* 2011). Pretende-se atingir em primeiro lugar a máxima CC produtiva sem no entanto ultrapassar a máxima CC ecológica. Na figura 2 pode observar-se o conceito da maximização da capacidade de carga de uma cultura de bivalves.



**Figura 2** - Relação entre a carga animal e a produtividade numa cultura de bivalves. A capacidade de carga aumenta com a carga animal até um ponto em que o crescimento dos indivíduos é gravemente comprometido pela falta de alimento. (Adaptado de Serpa, 2011).

Muitos dos sistemas originais da aquacultura eram sustentáveis em pequena escala, mas o aumento do número de explorações e a intensidade de cultura das próprias causou muitos danos no ambiente, onde se usavam peixes pequenos capturados, métodos de alimentação ineficientes e rações nutricionalmente desequilibradas (Diana, 2009). Muitas estratégias têm sido sugeridas, avaliadas e/ou comprovadas a fim de avançar com a aquacultura sustentável, e umas delas é a implementação do melhor sistema de cultura e dos seus principais aspetos a serem considerados. A policultura e o IMTA provaram ser as produções mais eficazes na recuperação do carbono, azoto e fósforo, visto que fornecem biomassa para as espécies em produção, e na diminuição dos impactos ambientais causados pelos efluentes (Martinez-Porchas & Martinez-Cordova, 2012). Num sistema de aquacultura tradicional 25-35% do azoto fornecido é recuperado como biomassa para as espécies em produção. Na policultura e no IMTA a recuperação aumenta para os 50% (Martinez-Porchas & Martinez-Cordova, 2012). Pomeroy *et al.* (2014) também afirma existirem sistemas de aquacultura que contribuem para a conservação da biodiversidade, sendo o mais conhecido o sistema de agricultura-aquacultura integrado.

### 1.2.1 Sistemas de Policultura

A policultura é um método de produção que utiliza diferentes tipos de espécies de peixes num só tanque, permitindo explorar eficientemente diferentes nichos ecológicos, resultando numa maior produção de peixe por unidade de área (Sharma *et al.*, 1999) ou volume do tanque (Lucas e Southgate, 2012). Comparativamente à monocultura, é potencialmente mais sustentável devido ao reaproveitamento dos resíduos pelas outras espécies em produção (Nunes *et al.* 2003). Segundo Milstein (1992), neste tipo de sistema, o fator chave para uma boa gestão das fontes alimentares é a densidade de peixe por tanque. A policultura é baseada no princípio de que cada espécie tem o seu próprio nicho alimentar, de modo a não se sobrepor com a alimentação de outras espécies (Rahman *et al.*, 2008). As altas densidades comprometem a disponibilidade de alimento e afetam o ambiente, por este motivo, deve existir uma combinação equilibrada de espécies que maximizem sinergicamente e minimizem antagonicamente as relações entre peixe-peixe e peixe-ambiente (Milstein, 1992).

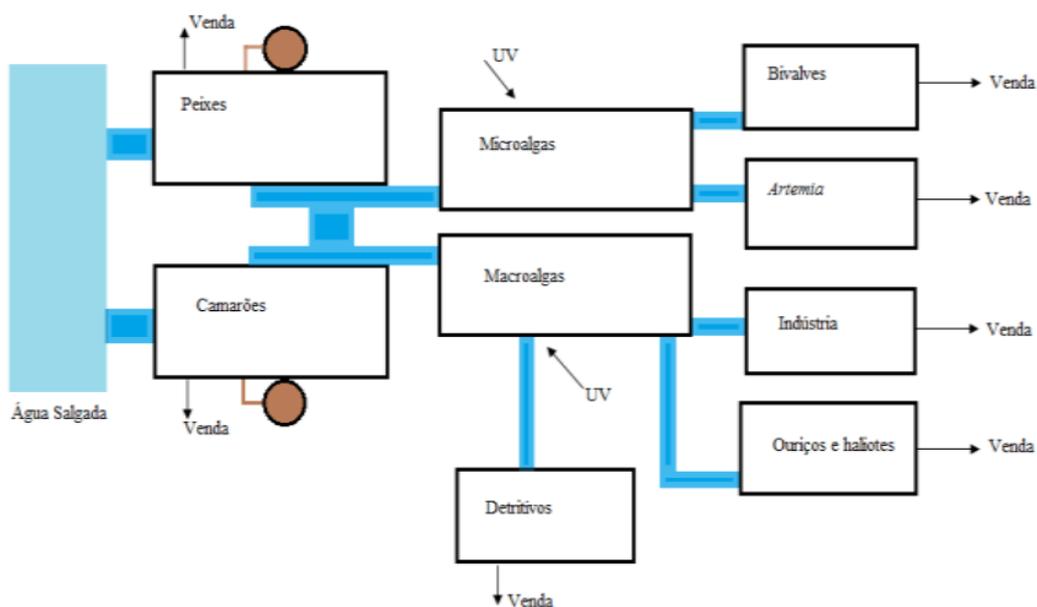
### 1.2.2 Aquacultura Multitrófica Integrada

O termo multitrófico refere-se à incorporação de espécies de diferentes níveis tróficos ou níveis nutricionais no mesmo sistema, sendo esta a principal diferença comparativamente ao sistema em policultura, que utiliza várias espécies com o mesmo nível trófico (Barrington *et al.*, 2009). Originalmente, este tipo de sistema era usado em águas doces onde envolvia a cultura de uma ou mais espécies de diferentes níveis tróficos, geralmente peixes cultivados simultaneamente com espécies extrativas orgânicas e inorgânicas, tais como, moluscos e algas, respetivamente (Deudero *et al.*, 2011).

Segundo Robinson *et al.* (2011), o grau de interações benéficas entre as espécies irá determinar o quão bem-sucedido será o sistema de Aquacultura Multi-Trófica Integrada (IMTA). Os resíduos obtidos do processo de produção neste sistema são adquiridos e assimilados por outros organismos, convertendo-os noutros produtos igualmente valorizados no mercado, permitindo a eliminação de desperdícios e aumentando a produtividade das explorações piscícolas (Hughes & Black, 2016). Assim, os nutrientes desperdiçados na aquacultura animal intensiva são considerados um recurso e não um encargo (Pereira & Correia, 2015).

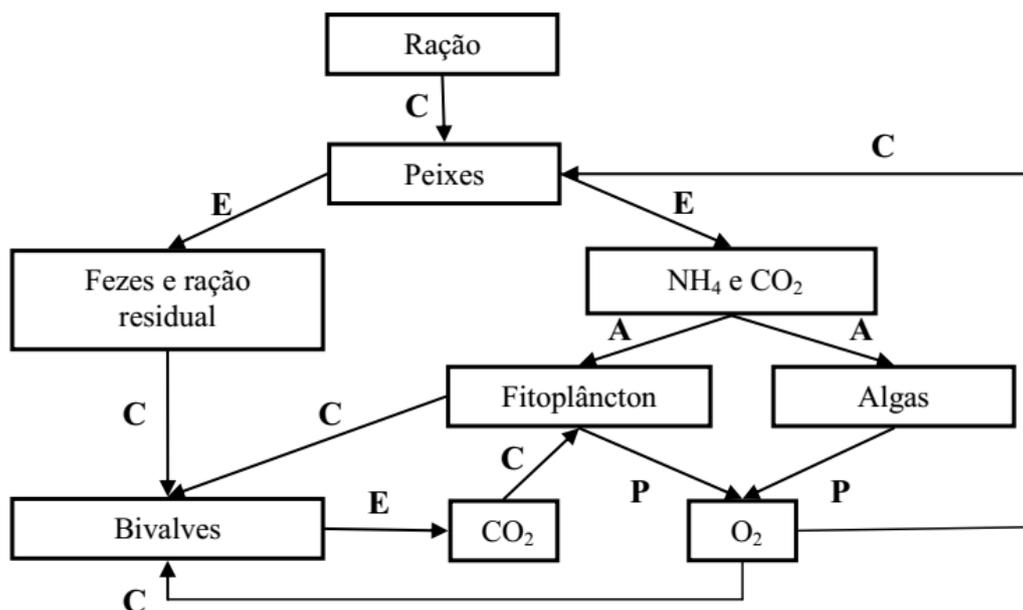
Existem dois tipos de sistema de IMTA em relação ao local onde podem ser realizados, de águas abertas e sistemas em terra. Neste último é mais fácil influenciar a absorção de nutrientes do que em águas abertas, pois a água que passa nos tanques pode ser

novamente reutilizada, dando mais uma oportunidade de captar determinado resíduo pelas espécies em produção. Por outro lado, o fluxo de água que entra e sai dos tanques é mais facilmente manipulado e ajustado para melhorar a concentração de nutrientes nos tanques (Reid *et al.* 2011). No típico sistema integrado as diferentes espécies são cultivadas em separado num sistema interligado, permitindo a intensificação e a otimização da produção. No caso da policultura de peixe num só tanque, a produção tornar-se-á insustentável para a intensificação (Shpigel, 2005). Segundo Robinson *et al.* (2011), a biomassa potencialmente produzida num sistema de aquacultura é diretamente proporcional à superfície disponível para habitação e colonização, e subsequente crescimento das espécies. Um exemplo comum da IMTA é o que se encontra representado na Figura 3.



**Figura 3** - Exemplo de um sistema de Aquacultura Multitrófica Integrada em Tanques de Terra. (Adaptado de Shpigel, 2013.)

No exemplo da Figura 3, a água do mar é bombeada para os tanques que contêm peixes e camarões alimentados a ração. O efluente desses tanques, rico em matéria orgânica, entra em tanques de produção de microalgas e macroalgas. A microalga pode ser utilizada por biofiltreadores como a Artémia e os bivalves, enquanto as macroalgas podem ser vendidas para indústrias de transformação ou utilizadas em locais de crescimento de outras espécies, como os haliotes e os ouriços-do-mar. Os detritos resultantes podem ainda ser utilizados por detritívoros, como a tainha e pepinos-do-mar (Shpigel, 2013). Num sistema IMTA os bivalves filtram as partículas de matéria suspensa, incluindo os produtos metabólicos dos peixes e o fitoplâncton, e as algas absorvem nutrientes provenientes do metabolismo dos produtos gerados pelos bivalves e peixes, fornecendo-lhes oxigénio dissolvido (Figura 4) (Ning *et al.*, 2016).



**Figura 4** - Ciclo de nutrientes em sistema multitrófico integrado com peixes, bivalves e algas: C – Consumo; E – Excreção; A –Assimilação; P- Produção. (Adaptado de Fang *et al.*, 2016).

De facto, os sistemas de IMTA possuem inúmeras vantagens em relação às produções em monocultura que maioritariamente se praticam nos dias de hoje:

- Permitem uma melhor eficiência de utilização do espaço e aumentam a produtividade por unidade de área (Bosma & Verdegem, 2011);
- Aliviam a poluição por nutrientes na água através da reciclagem destes, tornando-se um sistema ambientalmente muito mais amigável e equilibrado, e de certo modo, um meio de baixo custo para diminuir as descargas que atingem os efluentes;
- Mútuos benefícios para as espécies cultivadas, como aumento ou aceleração do crescimento e mitigação de patologias - Diversificação económica através da produção de outras culturas aquáticas valiosas que possibilitam a diminuição do risco económico;
- Aceitabilidade social (Reid *et al.* 2011).

No entanto Pereira e Correia (2015) afirmam não existir, por enquanto, nenhum sistema artificial completamente autossuficiente e autossustentado. A aquacultura integrada é um sistema dinâmico que muda consoante vários fatores (localização, época e espécies) para construir a cadeia trófica e o meio ambiente e deve ser adaptado a cada local. Para a adoção dos princípios da Aquacultura Multi-Trófica Integrada em tanques de terra é preciso compreender como estes princípios se interligam à gestão comum da qualidade de água em regimes semi-intensivos.

### 1.2.3 Princípios de produção em tanques de terra em IMTA

O principal objetivo da gestão de tanques de terra é utilizar as condições existentes nos tanques para maximizar os retornos económicos aos produtores (Sharma *et al.* 1999). Na sua gestão, devemos ter em conta o equilíbrio dos processos de produção (anabolismo) e decomposição (catabolismo), o tanque irá fornecer alimento, espaço, abrigo, oxigénio e irá receber metabolitos (fezes, amónia, CO<sub>2</sub>, etc.) das espécies em produção, fitoplâncton, zooplâncton e outras comunidades microbianas nele existentes (Bosma & Verdegem, 2011). A decomposição das fezes consome oxigénio, libertando nitritos e amónia que são potencialmente tóxicos para as espécies em causa (Bosma e Verdegem, 2011). A temperatura deve ser cuidadosamente averiguada para avaliar a adaptação e o crescimento de todas as espécies do sistema. Muitas das espécies extrativas ocupam as zonas costeiras, por conseguinte estão adaptadas a uma vasta gama de temperaturas, relativamente aos sistemas em offshore (Troell *et al.*, 2009).

Para maximizar o crescimento os produtores devem ter em conta que as necessidades alimentares da população de cultivo nunca devem exceder a dinâmica dos processos biogeoquímicos que ocorrem no tanque (Barrington *et al.*, 2009). Se a densidade animal e a quantidade de alimento fornecido aumentarem e superarem os limites naturais de capacidade dos tanques, a única forma de compensar esse aumento é através do recurso de procedimentos externos, como aumento do fluxo de água e injeção de ar por arejadores, tornando-se em explorações mais intensivas e confiando menos nos procedimentos naturais para manter a qualidade de água nos tanques (Conte, 2004). As populações de microalgas são difíceis de controlar nos tanques (frequentemente podem ocorrer explosões populacionais ou blooms), e geralmente usa-se a renovação de água como primeira ferramenta para esse controlo. No entanto maiores renovações levam à libertação de elevadas quantidades de microalgas e nutrientes para o meio ambiente. Esta realidade num sistema IMTA pode tornar-se vantajosa se as microalgas forem posteriormente filtradas por uma cultura integrada de biofiltreadores (Pereira & Correia, 2015).

Pelos princípios da IMTA os produtores devem escolher espécies locais que se complementem em diferentes níveis tróficos, capazes de crescer com uma elevada biomassa e que tenham estabilidade no valor de mercado (Barrington *et al.*, 2009). Estudos anteriores indicam que as interações agonísticas entre as espécies são influenciadas por vários fatores de produção como o tamanho, peso, densidade, distribuição de alimento e intensidade da luz, não devem estes fatores ser ignorados principalmente em sistemas intensivos e quando uma nova espécie é cultivada (Gonçalves, 2012). Na escolha das espécies para um sistema IMTA devemos ter em

conta a relação habitat/cultivo. Os peixes representam o maior output dos sistemas IMTA para consumo humano, no entanto também representam o maior input de energia/nutrientes para as outras espécies no sistema (Sasikumar & Viji, 2015). Importa assim saber equilibrar todas as espécies cultivadas dentro do sistema IMTA de acordo com o conceito de Capacidade de Carga (CC) de forma a otimizar a produção global do sistema.

#### **1.2.4 Aplicação da IMTA em tanques de terra para piscicultura**

Tem havido uma aposta substancial neste tipo de avaliações para sistemas IMTA em jaulas oceânicas, tanto em países ocidentais como o Canadá, Reino Unido e alguns países europeus (Grécia, Espanha, Itália, França) e em baías da China onde se pratica à muitas décadas o cultivo IMTA (FAO, 2009). Houve também desde o início da década de 90 avaliações em sistemas integrados em terra como se exemplifica na figura 3 acima. No entanto continua a faltar a mesma abordagem para cultivos em tanques de terra uma vez que nestes sistemas se torna mais difícil de conjugar não só diferentes estruturas físicas conectadas entre si (tanques de terra, tanques de fibra de vidro, jaulas, etc) bem como balancear os sistemas à medida das variações na dinâmica dos tanques de terra. Existe também uma opinião geral de que não é possível criar dentro do mesmo tanque de terra uma integração em policultura de diferentes níveis tróficos sem afetar a capacidade de carga global (Shpigel *et al*, 2013). Introduzir por exemplo bivalves no cultivo de peixes requer um conhecimento vasto da biologia da espécie a introduzir, dos peixes cultivados, da dinâmica do sistema no que toca ao balanço de nutrientes, da comunidade fitoplanctónica, do regime de renovação de água e da integração dos níveis tróficos de forma a otimizar a interação entre os mesmos. Torna-se assim difícil prever que quantidade de bivalves (ou outro nível trófico) poderá ser suportado numa monocultura (ou policultura) de peixe sem afetar negativamente a mesma e trazendo benefícios económicos e ambientais.

#### **1.2.5 Mercado de créditos de nutrientes**

O mercado de créditos de nutrientes está associado com os benefícios provenientes do ecossistema, ou seja, com os atualmente conhecidos serviços do ecossistema. O seu conceito levou à quantificação monetária das descargas de nutrientes (geralmente azoto e fósforo). O objetivo é o de contribuir para controlar os níveis de descarga de nutrientes para se atingir metas de qualidade de água ao promover incentivos económicos à sua

redução (Lindahl *et al.* 2005; Jones *et al.* 2010; Lal 2010). Por exemplo uma estação de tratamento de águas a jusante precisa de reduzir a quantidade de poluentes dos seus efluentes para cumprir obrigações legais. Em vez de fazer um investimento muito elevado para melhorar ou instalar novos equipamentos na sua estação, poderá investir em menor escala em práticas agrícolas a montante menos dispendiosas e mais sustentáveis e assim atingir melhor qualidade no controlo da poluição. Produtores que demonstrem reduzir os nutrientes de uma bacia hidrográfica numa quantidade mensurável (que corresponderá a um determinado crédito) podem comercializar esses créditos de nutrientes com os maiores poluidores da mesma bacia. Esta ideia base serve para utilizar os mecanismos tradicionais do conceito de mercado para promover atividades amigas do ambiente para melhorar o meio aquático, preservando as zonas húmidas e habitats de forma a proteger espécies em perigo, e reduzindo as emissões de efeito de estufa. Serve para complementar e não substituir o esforço estatal nestas áreas, é um programa com aderência voluntária dos produtores, específico para cada zona e que requer o desenvolvimento da quantificação das unidades de troca para juntar os compradores e vendedores numa plataforma comum (Ferreira & Bricker 2016). Este tipo de mercado à escala das bacias hidrográficas já é uma realidade em partes dos EUA (Lal 2010; Branosky *et al.* 2011; Ferreira *et al.* 2011; STAC 2013) e a sua aplicação em aquacultura está a dar os primeiros passos nos EUA e na Europa, principalmente aplicado a cultivos que demonstrem um efeito positivo na melhoria da qualidade de água como a aquacultura extensiva de bivalves (Ferreira & Bricker 2016) e possam usar esses créditos para benefício económico. Da mesma forma a Aquacultura Multi-Trófica Integrada (IMTA) tem potencial para ser uma ferramenta de extração de nutrientes das bacias hidrográficas (com bivalves, algas e animais detritívoros) e assim poder comercializar esses créditos de azoto e fósforo com outros atores locais mais poluidores, tirando benefício económico e maior aceitação social das suas práticas (Ferreira & Bricker 2016). Esta abordagem pode ser assim uma mais valia para a implementação do conceito de IMTA em tanques de terra de forma a demonstrar também o seu serviço ecossistémico nas zonas aquáticas onde está presente.

### **1.3 Espécies a utilizar em sistemas IMTA**

A diversificação de espécies na produção em aquacultura é uma boa estratégia para promover uma aquacultura sustentável e evitar a saturação de mercado e a concorrência entre produtores (Gonçalves, 2012). Neste trabalho utilizaram-se a

corvina-legítima (*Argyrosomus regius*) e a ostra do pacífico (*Crassostrea gigas*) que são duas espécies produzidas localmente.

### 1.3.1 Corvina-legítima (*Argyrosomus regius*, Asso 1801)

A corvina-legítima (*Argyrosomus regius*) (Figura 5) é um peixe ósseo pertencente à família *Sciaenidae*, considerada como promissora para a diversificação e dinamização da aquacultura europeia (Prista, 2014).



**Figura 5** - Corvina, *Argyrosomus regius*.

Os principais locais de desembarque da corvina selvagem ficam situados no Sul de Espanha, Portugal e Oeste da França, onde atinge tamanhos normalmente acima dos 5 kg, e valor comercial significativo, sendo muito apreciada pelos compradores locais (Kružić *et al.*, 2016; El-Shebly *et al.*, 2007). Prista *et al.* (2009) e El-Shebly *et al.* (2007), afirmam ser um dos maiores scienídeos do mundo, podendo atingir 180,0 cm de comprimento e 50 kg de peso. Possui um grande potencial para a aquacultura mediterrânica devido ao seu rápido crescimento, atingindo 2,5 kg em dois anos (dependendo das condições do cultivo), ao seu índice de conversão de 0,9-1,2 e pela qualidade da carne (Monfort, 2010; Duncan *et al.*, 2013). Corvinas com pesos entre 2,5-3,0 kg são procuradas pelas indústrias de transformação para a produção de filetes (Piccolo *et al.*, 2008). A tabela 4 compara, em termos de volume de produção e taxa de crescimento, três espécies existentes na costa mediterrânica, bem como o seu valor monetário.

**Tabela 1**- Valores de produção do Robalo (*Dicentrarchus labrax*), Dourada (*Sparus aurata*) e Corvina (*Argyrosomus regius*) no Mar Mediterrâneo (fonte: Kružić *et al.*, 2016)

Espécies	Robalo	Dourada	Corvina
<b>Produção total no Mediterrâneo em 2012 (ton)</b>	153 182	159 730	10 221
<b>Crescimento em 12 meses (g)</b>	150 - 300	150 - 300	>700
<b>Crescimento em 24 meses (g)</b>	300 - 500	300 - 500	2000 - 2500
<b>Índice de conversão (IC)</b>	1.4 - 1.6	1.3 - 1.75	0.9 - 1.2
<b>Preço de mercado (€)</b>	5	5	6 - 7

Em termos de mercado a corvina pode chegar aos 6-10 €/kg inteira e a 10-15 €/kg para filetes, sendo um produto bastante valorizado comercialmente (Monfort, 2010). Os primeiros valores da produção de corvina em aquacultura foram reportados em 2002 com 231 toneladas, no ano de 2010, oitos anos depois, a produção de corvina aumentou consideravelmente para 14 595 toneladas registrando um dos valores mais altos para a produção desta espécie (FAO, 2016b). Os últimos dados, referentes ao ano de 2014, contam com uma diminuição da produção, atingindo um valor de 11 770 toneladas (FAO, 2016b).

As técnicas de engorda são semelhantes às utilizadas no cultivo da dourada e do robalo, sendo alimentadas em tanques de terra, duas a três vezes ao dia, com rações de 45% de proteína e 16-22% de lípidos, tendo uma taxa de alimentação diária de 4-10% do seu peso vivo (Cárdenas, 2011). No entanto, segundo Peixoto *et al.* (2016), existem alguns problemas na taxa de crescimento e na saúde das corvinas, que pode estar relacionada com o facto de não existir uma ração específica para esta espécie, sendo alimentada a rações desenvolvidas para o cultivo de robalo e dourada. No seu cultivo em regimes intensivos, a corvina pode apresentar alguns problemas de canibalismo com indivíduos da própria espécie, além de apresentarem uma competição desigual pelo alimento, havendo uma heterogeneidade de tamanhos. (Duncan *et al.*, 2013).

O fator determinante para o seu ciclo biológico é a temperatura, quando a temperatura é inferior a 13-15°C reduzem a ingestão de alimento e têm as suas taxas máximas de ingestão e crescimento, normalmente no verão, quando a temperatura ronda os 24°C, no entanto, conseguem resistir a mudanças bruscas de temperatura, dos 2-38°C (Cárdenas, 2011) e de salinidade dos 5 a 42 (Peixoto *et al.*, 2016).

### 1.3.2 Ostra do Pacífico, *Crassostrea gigas*

A ostra *C. gigas* na Figura 6 é um bivalve filtrador de rápido crescimento, bentónico e sésil, com válvulas assimétricas, que vivem fixados firmemente a um substrato duro pela sua válvula curva entre as zonas intertidais e subtidais (Higuera-Ruiz & Elorza, 2009).



**Figura 6** - Ostra do Pacífico, *Crassostrea gigas*.

O corpo mole, da ostra *C. gigas*, é protegido externamente por uma concha, que apresenta duas valvas: a valva superior ou direita, que é plana e a valva inferior ou esquerda, que é levemente côncava ou abaulada. A junção entre as duas valvas é feita através do músculo adutor e também por um ligamento situado na região posterior (Coutinho, 2012).

Alimentam-se principalmente de fitoplâncton e de matéria orgânica suspensa na água (Martinez-Cordova & Martinez-Porchas, 2006). Os valores de filtração de cada ostra variam entre os 5 a 25 litros/hora (Christo, 2006). Tendo em conta estas características, esta espécie de ostra é frequentemente utilizada em culturas integradas, tirando partido da produção natural de matéria orgânica produzida pelas outras espécies, nomeadamente espécies piscícolas, no tanque e convertendo esta em biomassa, o que representa um aumento de produção (Martinez-Cordova & Martinez-Porchas, 2006). A produção em aquacultura desta espécie sempre foi muito superior em relação à captura mundial, relatando os últimos dados, referentes a 2014, uma produção de 625 925 toneladas de ostras, enquanto em captura atingiu apenas 29 600 toneladas (FAO, 2016c). Em Portugal a produção em aquacultura rondou 1046 toneladas em 2015 (INE, 2016), uma das mais importantes e tradicionais produções de aquacultura do país.

## 2 Objetivos

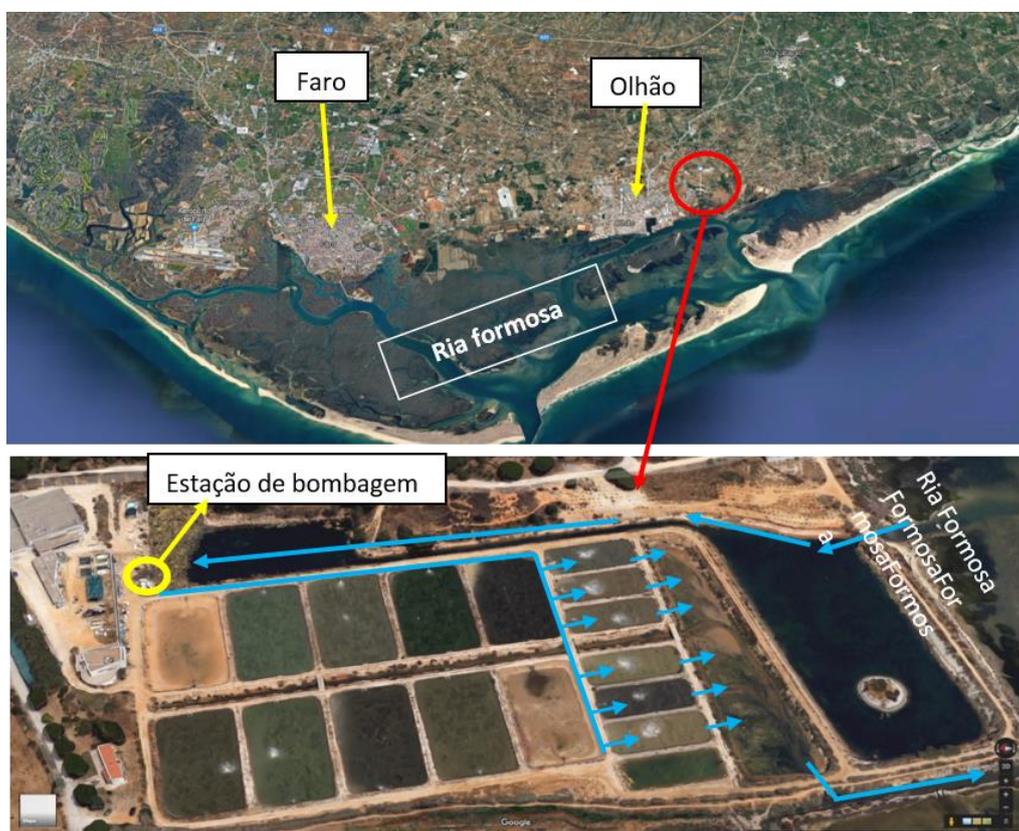
Os objetivos deste estudo são:

- 1) Determinar os efeitos de duas combinações de corvinas e ostras em cultivo integrado na qualidade de água (oxigénio, produtividade primária, amónia, nitritos, nitratos, pH, turbidez);
- 2) Determinar a combinação de densidade de corvina e ostra em cultivo integrado em tanques de terra mais adequada em termos de produtividade e eficiência alimentar;
- 3) Estimar com base nos objetivos anteriores qual das combinações apresentou maior rentabilidade e menor impacto ambiental para uma produção de 1 hectare.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Local de estudo

O ensaio decorreu em seis tanques de terra da Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (EPPO, Instituto Português do mar Atmosfera), situada no sul de Portugal (37° 02' N; 07° 49' W) (Figura 7). A água fornecida a estes tanques foi continuamente bombeada por 4 bombas (Grundfos, Modelo S, Denmark) a partir de um reservatório cuja água proveio diretamente da Ria Formosa. Os tanques utilizados foram tanques de terra com 500 m<sup>2</sup> de área superficial e 1,5 m de altura de água, perfazendo um volume de 750 m<sup>3</sup>.



**Figura 7-** Visão aérea da localização da Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (EPPO), com a circulação da água (setas a azul) para os tanques usados no ensaio.

### 3.2 Desenho experimental

Testaram-se duas combinações de densidades extremas de peixes e ostras que perfizessem valores próximos do limite teórico de capacidade de carga ( $3 \text{ Kg/m}^3$ ) de forma a extrapolar a combinação mais adequada de peixe e ostras em cultivos integrados em tanques de terra (Tabela 2). Um tratamento com 5000 corvinas (*Argyrosomus regius*) e 2500 ostras (triploides de *Crassostrea gigas*) (**Tratamento Px** - alta densidade de peixe + baixa densidade de ostra) e outro com 2500 corvinas e 21000 ostras (**Tratamento Ost** - baixa densidade de peixe + alta densidade de ostra). A densidade final estimada na Tabela 2 teve por base um peso final de corvinas e ostras no final do Verão (corvinas com 400 gramas e ostras com 40 gramas). Os valores utilizados foram calculados com base nas retas de crescimento destas espécies obtidos em estudos anteriores realizados nos tanques de terra da EPPO. O ensaio decorreu em triplicado entre 2 de Março a 30 de Setembro de 2015.

**Tabela 2** - Número de indivíduos, peso médio e densidade no início do ensaio em cada tanque nos dois tratamentos efetuados.

Tratamentos	Nº corvinas	Nº ostras	Peso médio corvinas	Peso médio ostras	Densidade	Densidade final estimada
Px	5000	2500	122,1 ± 21,20	3,3 ± 0,62	0,83	2,8
Ost	2500	21000	122,1 ± 21,20	3,3 ± 0,62	0,50	2,4

### 3.3 Condições experimentais

O sistema de produção usado foi o semi-intensivo em sistema aberto, com renovação de água contínua. Esta renovação é controlada manualmente com válvulas individuais em cada tanque do ensaio e ajustada segundo a Tabela 3.

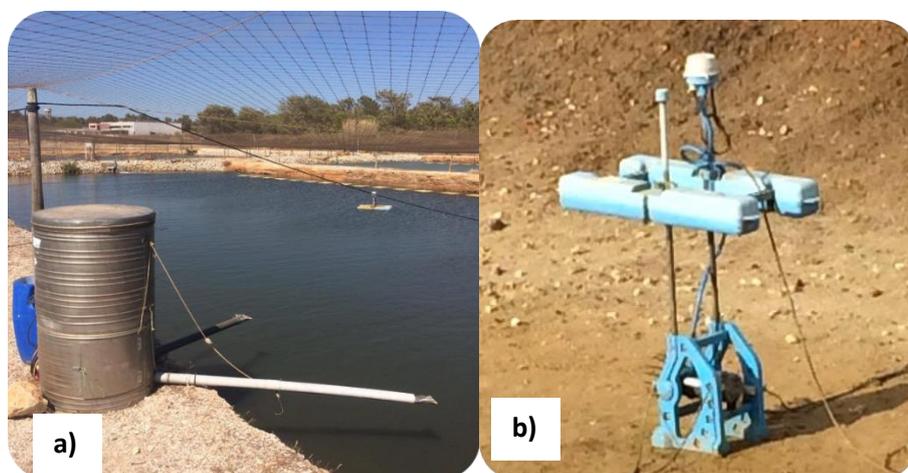
**Tabela 3** – Valores teóricos indicativos da percentagem de renovação de água nos tanques de cultivo com base na temperatura da água e na quantidade de ração distribuído por dia. Fonte: IPMA.

Temperatura água	Kg Ração/dia					
	<10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50
≤12	10	15	20	25	30	35
15	15	20	30	40	50	60
18	20	30	40	50	75	90
21	30	40	50	75	100	120
24	40	60	75	90	120	140
≥25	50	80	100	120	140	>160

Uma vez que se pretendeu manter a renovação de água semelhante entre tratamentos, os valores usados tiveram por base a maior necessidade de renovação do **Tratamento Px** pela maior quantidade de ração fornecida diariamente e assim definiu-se a % de renovação a usar consoante a tabela já descrita.

A água entra diretamente nos tanques de terra sem qualquer processo de filtração. No lado oposto da entrada de água situa-se a saída de água por gravidade. Nesta saída existe uma rede vertical (malha) que evita a saída dos peixes e uma comporta de fibra de vidro, que nivela a altura de água dos tanques.

Alimentadores automáticos (Figura 8a) foram colocados em cada tanque, programados para fornecer diariamente 3 a 4 refeições de 15 min em cada (9h00, 12h30, 16h30 e no verão 19h00). Um injetor de ar, na Figura 8b (modelo FORCE7, marca AQUA&CO, Itália), foi colocado no centro de cada tanque para o arejamento da água por injeção de ar atmosférico cujo funcionamento era acionado automaticamente pelo sistema controlo (B&G, Sinergia, Itália) aquando níveis de oxigénio dissolvido (OD) inferiores a  $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$  e parando quando atinge  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Para determinar o gasto energético em cada tratamento associado aos injetores, usou-se o registo no Sistema Sinergia do período de ativação diário dos injetores de ar. Com estes dados foi possível determinar o somatório de horas de funcionamento dos injetores por mês e por tanque.



**Figura 8** – a) Alimentador automático utilizado em cada tanque, com duas saídas de ração. b) Injetor de ar, que se pode observar na imagem da esquerda posicionado a meio do tanque. Na parte superior da imagem esquerda observa-se a rede de cobertura dos tanques.

### **3.4 - Material biológico**

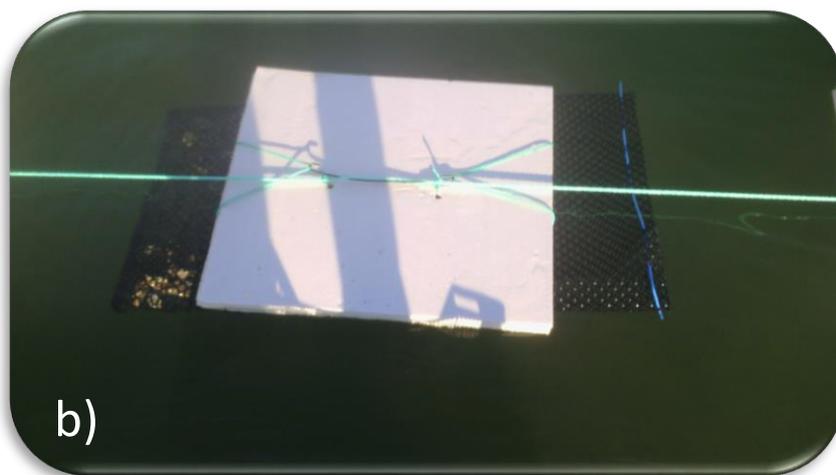
As corvinas foram produzidas da maternidade da EPPO e transferidas para tanques de terra com um peso médio de 10 gramas em Junho de 2014. No início do ensaio, a 2 de Março de 2015, estes peixes foram amostrados para determinação do seu peso médio inicial. As ostras foram introduzidas a 3 de março com um peso médio de 3,3 gramas. As ostras foram fornecidas pela empresa FORMOSO&ALEGRE, localizada em Marim, concelho de Olhão, a cerca de 3 Km da EPPO. A proximidade das duas instalações permitiu uma adaptação ótima às condições dos tanques experimentais sem oscilações de temperatura e parâmetros físicos e climáticos.

### **3.5 - Cultivo das ostras nos tanques**

As estruturas usadas para cultivar as ostras nos tanques experimentais foram baseadas nas utilizadas na empresa de pré-engorda que forneceu a semente de ostra que utiliza um sistema flutuante com sacos de rede.

As ostras foram cultivadas em sacos de rede, típicos do cultivo intertidal de ostras, fixos a placas quadradas de 50X60 cm feitas de esferovite de alta densidade (vulgarmente denominado ROOFMATE). Estas placas por sua vez estavam fixas a um longline ao longo do comprimento de cada tanque e espaçadas entre si por 1m, deixando os sacos separados entre si por 20 cm (Figura 9a).

Ao contrário das zonas intertidais, as ostras neste sistema não estão expostas a flutuações de marés e conseqüentemente estão sempre submersas. Este sistema flutuante (Figura 9b), permite que os sacos das ostras sejam expostos ao ar ao serem virados apoiando-se nas placas de esferovite na superfície da água. Esta viragem permite que as ostras e os sacos estejam em direto contacto com a luz solar e com o ar, simulando o efeito das marés nas zonas intertidais. Isto permite reduzir a incrustação de organismos nos sacos e nas ostras, diminuir a acumulação de matéria orgânica nos sacos, e permite a inibição ultravioleta do crescimento de macroalgas fixas nos sacos e ostras. É assim uma operação vital para uma produção eficiente e viável. É realizada manualmente uma a duas vezes por semana, com os operadores dentro de água ou à superfície utilizando uma pequena embarcação não motorizada. Cada saco leva cerca de 10 a 15 segundos a ser agitado e virado para seco e cerca de 5 a 10 segundos no sentido inverso. As ostras permaneceram viradas a seco durante 24 horas.



**Figura 9** – a) Disposição dos longlines dentro do tanque com alguns sacos a seco; b) Pormenor de um saco fixo ao longline. (Fonte: IPMA)

O **Tratamento Px** iniciou o ensaio com 52 sacos e o **Tratamento Ost** com 7 sacos, cada um com uma média de 1,2 Kg de ostras por saco. Em Junho e Setembro as ostras foram triadas para eliminar as ostras mortas e separadas de forma a reduzir as densidades dentro dos sacos, passando de 400 para 200 ostras por saco em Junho e de 200 para 80 ostras em Setembro.

### 3.6 Alimentação do peixe

Utilizou-se um alimentador automático com capacidade máxima de 150 Kg de ração por tanque. Os alimentadores tinham controlo de quantidade e número de refeições fornecidas por dia. Estas duas características, nº de refeições diárias e quantidade de

ração fornecida em cada refeição, variaram com a temperatura e o tamanho do peixe. As taxas de racionamento diárias foram ajustadas a cada duas semanas de acordo com estas duas variáveis baseando-se na Tabela do ANEXO 1, sendo em média 1,5% da biomassa total dos peixes com 4 refeições diárias em média. Utilizou-se ração seca extrudida comercial de peixe de tamanho 3,2 e 4,5 mm da marca Alpís, da empresa Coelho&Castro Lda, (Póvoa de Varzim, Portugal). A partir do dia 11 de Julho as dimensões dos grânulos da ração foram aumentadas para 5 mm, devido ao crescimento dos peixes, mantendo-se a composição nutricional descrita na Tabela 4.

**Tabela 4** – Informação nutricional da ração seca extrudida (Alpís, Coelho&Castro, Lda). Observa-se uma percentagem de proteína de 40,8% com 30% de incorporação de farinha de peixe e 3% de óleo de peixe.

Constituintes analíticos, %		Aditivos por Kg de alimento		Matérias primas, %	
Proteína bruta	40,8	Vitamina A (E 672)	6000 UI	Farinha de peixe	30,00
Gordura bruta	15,7	Vitamina C	50,0 mg	Bagação de soja	29,50
Humidade	8,3	Vitamina D3 (E671)	1200 UI	Trigo	16,00
Fósforo	0,9	Vitamina E (E 307)	100,0 mg	Óleo de soja	9,00
Cinzas	6,9	CU (E4)	3,0 mg	Farinha de colza	5,00
Celulose bruta	2,5			Hemoglobina	4,00
				Farinha de penas	3,00
				Óleo de peixe	3,00

### 3.7 Maneio diário e semanal

Durante o ensaio houve um conjunto de trabalhos diários essenciais que permitiam monitorizar e controlar as condições de cultivo nos tanques. A temperatura da água (em °C), o pH, a turbidez (em FNU, Formazin Nephelometric Units) e oxigénio dissolvido (em mg/L e em % de saturação) foram medidos com uma multisonda Hanna Instruments H9829 (Texas, EUA) duas vezes por dia: pela manhã (entre as 8:30 e 9:00) e à tarde (entre as 16:30 e 17:00). As sondas, bombas, arejadores, presença de peixes mortos, alimentadores e caudal de água eram verificados e observados também diariamente a semelhantes horas de modo a que não houvesse qualquer tipo de alteração que compromettesse os objetivos do ensaio. Da mesma forma a ração nos alimentadores, o correto funcionamento dos seus relógios automáticos e a apetência dos peixes pela ração foi verificada. A renovação de água diária, correspondente à percentagem do volume de água dos tanques que entra pela torneira por dia, foi verificada a cada duas semanas e ajustada à temperatura e às taxas de racionamento utilizadas. Esta medição foi obtida usando uma caixa de 85 L colocada na posição de queda da água de entrada em cada tanque e medindo com um cronómetro o seu tempo de enchimento. Foi assim

possível medir o caudal ( $L \cdot s^{-1}$ ) e por extrapolação determinar a % de renovação água diária.

De quinze em quinze dias os sacos das ostras, desde a sua introdução até ao final do ensaio, estiveram emersos durante um período de 24 horas, de modo melhorar a força e consistência do músculo da ostra e fazer uma desinfecção/inativação de bactérias, vírus, parasitas e outros organismos incrustantes pela radiação solar (Figura 10). Este tipo de intervenção permite fazer uma observação do estado das ostras e inspecionar a sua mortalidade.



**Figura 10** - Viragem manual dos sacos das ostras. (Fonte: IPMA)

### **3.8 Amostragens bióticas e abióticas**

#### **3.8.1 - Peixe e ostras**

O crescimento dos peixes foi estimado por amostragens periódicas de 50 a 100 indivíduos em Março, Junho e Setembro. A captura dos peixes foi feita com uma rede de pesca num arrasto de cerco. O peixe para amostragem foi anestesiado e cada indivíduo foi medido (comprimento total em cm) pesado (peso total em g) e devolvido ao tanque de terra de proveniência sendo a manipulação minimizada ao máximo.

O crescimento e a mortalidade das ostras foram monitorizados mensalmente em 5 sacos por tanque e pesando 50 ostras de cada saco ( $n=250$  ostras/tanque). A mortalidade foi estimada em cada saco e apresentada como a percentagem de ostras mortas em relação ao número inicial de ostras colocadas no saco.

### **3.8.2 - Nutrientes e clorofilas na água**

Foram recolhidas mensalmente amostras de água dos tanques para determinar a concentração de nutrientes (amónia, nitritos, nitratos, fosfatos e sílica), clorofila *a* e feopigmentos. Estas amostras foram recolhidas próximo do meio dia solar na camada superficial dos tanques (primeiros 30 cm da coluna de água) tendo-se obtido uma amostra integrada que correspondeu à zona junto à entrada, meio e saída da água nos tanques. As amostras foram refrigeradas de imediato e levadas para o laboratório para posterior análise.

A água para determinação da concentração de clorofila *a* foi filtrada imediatamente após chegada ao laboratório através de filtros de fibra de vidro Whatman de 0,47 mm de porosidade, segundo Boyd (1990). De seguida os filtros e as amostras de água para determinação da concentração em nutrientes (amónia, nitratos, nitritos, fosfatos e silicatos) foram armazenados a -20 °C até posterior determinação no laboratório.

A clorofila *a* foi extraída com acetona (90%) dos filtros durante 24 h, centrifugados de seguida a 300 rotações por minuto durante 10 minutos e o sobrenadante colocado numa cuvette de vidro e a clorofila *a* determinada por espectrofotometria de acordo com Lorenzen (1967).

Os nutrientes inorgânicos foram determinados por colorimetria (Grashoff, 1983) utilizando um auto-analisador “Skalar” com um limite de deteção de 0.2 µM para a amónia e 0.05 µM para os nitratos, nitritos, fosfatos e sílica.

### **3.9 Determinação da produção animal**

Os valores da sobrevivência e o peso médio das corvinas e ostras em cada tanque no final do ensaio foram utilizados para calcular a biomassa final de corvina ( $B_{\text{corv}}$ ) e de ostra ( $B_{\text{ost}}$ ) por tratamento e a correspondente Taxa de Conversão Alimentar (TCA). As biomassas finais foram utilizadas para calcular uma Taxa de Desperdício Alimentar (Kg de ração desperdiçada por Kg de biomassa criada) para cada tratamento de acordo com o raciocínio de Boyd (2005). Pode observar-se na Tabela 4 que a ração é composta de 91,7% de matéria seca (MS) e 8% de água. Ora na corvina o valor de matéria seca dos indivíduos vivos é próximo de 27%, independentemente da utilização de dietas com diferentes níveis de proteína animal (Ribeiro *et al.* 2015). Segundo Boyd (2005) e

considerando uma TCA de 1, então 0,917 Kg da matéria seca na ração produz apenas 0,27 Kg de matéria seca nas corvinas, ou seja, a produção de 1 Kg de corvina em fresco dará origem a 0,65 Kg de Matéria Seca da ração não retida (0,917 Kg de MS na ração – 0,27 Kg MS no peixe= 0.65 Kg). Com base neste raciocínio simples foram estimadas as Taxa de Desperdício Alimentar para cada tratamento do ensaio incluindo e excluindo a biomassa de ostras produzida na produção final. O cálculo normal da TCA não considera a biomassa de organismos acompanhantes. As equações utilizadas nesta secção são apresentadas no Anexo 2.

### **3.10 Estimativa de rentabilidade das produções**

Com base nos resultados obtidos para a Produção Total por hectare (Kg/ha), a Taxa de Conversão Alimentar (TCA), as Taxa de Desperdício Alimentar (TDA) e o tempo dos períodos de arejamento, estimou-se a rentabilidade (balanço entre receitas e custos) para uma produção de 1 Hectare. Foi considerado 1 ciclo de produção de corvina em sistema multitrófico com ostra durante dois anos que é o tempo que corvinas com peso inicial de 20 gramas levam a atingir um peso com valor no mercado e que é de 1kg. Durante estes dois anos de produção obtêm-se 2 ciclos anuais de ostras (pesos iniciais de 1 grama e final de 80 gramas). Os preços dos custos e da venda da produção considerados nos cálculos são apresentados na Tabela 5. As equações utilizadas nesta secção são apresentadas no Anexo 3.

**Tabela 5** - Preços de venda e de custos usados na estimativa da rentabilidade

Items	Valor	Referência
Corvinas de 1 Kg	4,5 €/Kg	André Cabrita, AtlantikFish, Lda, Castro Marim.
Ostras de 80 gramas	3 €/Kg	Despacho n.º 3521/2014
Custos ração	1 €/Kg	SORGAL, Lda
Custos arejamento	0,10 KWh	EDP
Consumo elétrico arejamento	1,4 KWh	AQUA&Co, Itália (informação na embalagem do equipamento)
Juvenis corvina 20 gramas	0.60 €/unidades	Despacho n.º 3521/2014
Juvenis ostra 1 grama	25 €/1000 unidades	Francisco Frazão, FORMOSO&ALEGRE, Lda, Marim, Olhão.
Créditos para emissão de Azoto	5 €/Kg	Ferreira & Bricker, 2016
Créditos para emissão de Fósforo	25 €/Kg	Ferreira & Bricker, 2016

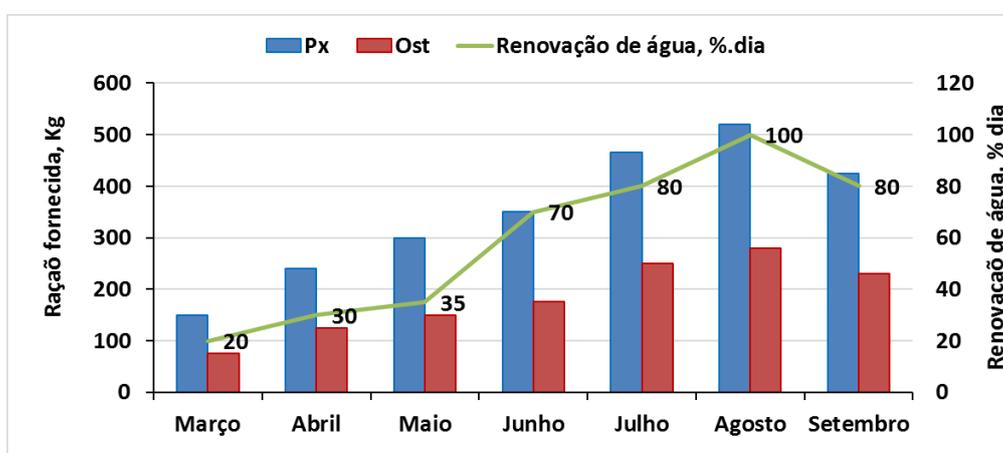
### 3.11 Tratamento e análise de dados

Os resultados obtidos para a temperatura, turbidez, oxigénio dissolvido, pH, nutrientes, clorofilas, peso médio das corvinas e ostras, sobrevivência e biomassa parcial e total foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. Para identificar as possíveis diferenças entre os dois sistemas de produção realizou-se uma análise de variância (ANOVA) a dois fatores (meses vs variáveis de qualidade de água) (Zar, 2009). Todos os pressupostos inerentes à realização do método foram devidamente validados (nomeadamente, a normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias). As diferenças foram consideradas estatisticamente significativas ao nível de 0.1% (isto é, sempre que valor de  $p < 0,001$ ).

## 4 Resultados

### 4.1 Ração distribuída e renovação de água

A Figura 11 mostra o aumento no fornecimento de ração por mês e a renovação de água nos tanques ao longo do ensaio. No total forneceram-se 2450 Kg por tanque ao **tratamento Px** e 1285 Kg de ração ao **tratamento Ost**. A percentagem de renovação de água acompanhou o aumento de ração tendo-se atingido os 100% de renovação da água nos tanques em Agosto. A percentagem de renovação foi igual nos dois tratamentos.



**Figura 11-** Ração distribuída mensalmente em cada tanque de cada tratamento e % renovação de água utilizada durante o ensaio. Px – Tratamento com maior densidade de peixes; Ost – Tratamento com maior densidade de ostras.

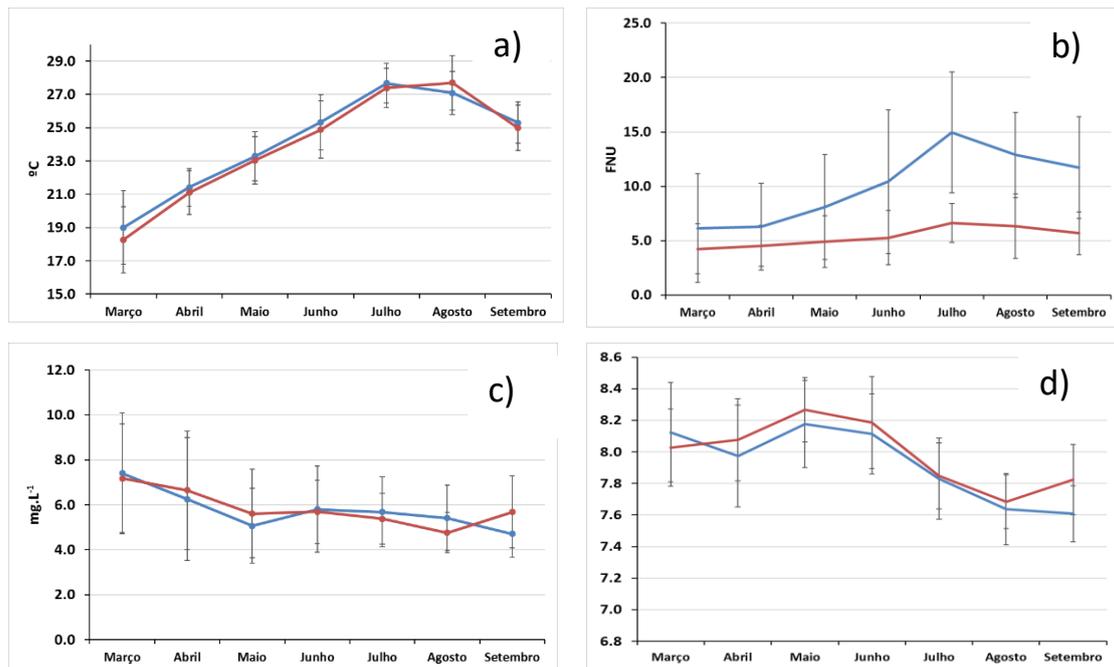
### 4.2 Parâmetros de qualidade de água

Durante o ensaio observou-se um aumento da temperatura média da água dos 19 °C em Março aos 29 °C durante os meses de Julho e Agosto, decrescendo em Setembro para os 25 °C (Figura 12 a). A média da temperatura para todo o ensaio foi de  $24,2 \pm 3,39$  °C e  $23,8 \pm 3,58$  °C para os **Tratamentos Px** e **Ost**, respetivamente e não foi significativamente diferente entre os dois tratamentos (Tabela 6). As comparações das médias entre tratamentos das medições diárias de Oxigénio Dissolvido (OD), pH e Turbidez mostraram que houve diferenças significativas entre os tratamentos. Os níveis de OD e de pH foram inferiores nos tanques com maior densidade de peixe (**Tratamento Px**) que apresentaram níveis mais elevados de turbidez (FNU).

**Tabela 6** - Médias mensais ( $\pm$  desvio padrão) da temperatura da água, turbidez, oxigênio dissolvido, e pH para ambos os tratamentos durante o ensaio. N = Número de medições. \* significância de  $p < 0,001$ .

Tratamento	N	Temp. (°C)	Turb. (FNU)	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	pH
<b>Px</b>					
Março	114	19,0 $\pm$ 2,20	6,1 $\pm$ 5,00	7,4 $\pm$ 2,69	8,1 $\pm$ 0,31
Abril	120	21,4 $\pm$ 1,12	6,3 $\pm$ 3,99	6,2 $\pm$ 2,73	8,0 $\pm$ 0,32
Maió	120	23,3 $\pm$ 1,48	8,1 $\pm$ 4,84	5,1 $\pm$ 1,66	8,2 $\pm$ 0,28
Junho	120	25,3 $\pm$ 1,65	10,4 $\pm$ 6,60	5,8 $\pm$ 1,91	8,1 $\pm$ 0,25
Julho	126	27,7 $\pm$ 1,19	15,0 $\pm$ 5,54	5,7 $\pm$ 1,56	7,8 $\pm$ 0,26
Agosto	120	27,1 $\pm$ 1,28	12,9 $\pm$ 3,90	5,4 $\pm$ 1,46	7,6 $\pm$ 0,23
Setembro	120	25,3 $\pm$ 1,25	11,7 $\pm$ 4,68	4,7 $\pm$ 1,04	7,6 $\pm$ 0,18
<b>Total</b>	<b>840</b>	<b>24,2 <math>\pm</math> 3,39</b>	<b>10,3 <math>\pm</math> 6,09 *</b>	<b>5,6 <math>\pm</math> 1,97</b>	<b>7,9 <math>\pm</math> 0,33</b>
<b>Ost</b>					
Março	114	18,3 $\pm$ 1,99	4,3 $\pm$ 2,29	7,2 $\pm$ 2,41	8,0 $\pm$ 0,25
Abril	120	21,1 $\pm$ 1,31	4,5 $\pm$ 1,89	6,6 $\pm$ 2,64	8,1 $\pm$ 0,26
Maió	120	23,0 $\pm$ 1,43	4,9 $\pm$ 2,37	5,6 $\pm$ 1,97	8,3 $\pm$ 0,20
Junho	120	24,9 $\pm$ 1,72	5,3 $\pm$ 2,50	5,7 $\pm$ 1,41	8,2 $\pm$ 0,29
Julho	96	27,4 $\pm$ 1,18	6,6 $\pm$ 1,79	5,4 $\pm$ 1,14	7,8 $\pm$ 0,21
Agosto	80	27,7 $\pm$ 1,64	6,3 $\pm$ 2,98	4,8 $\pm$ 0,90	7,7 $\pm$ 0,17
Setembro	80	25,0 $\pm$ 1,36	5,7 $\pm$ 1,97	5,7 $\pm$ 1,61	7,8 $\pm$ 0,22
<b>Total</b>	<b>730</b>	<b>23,8 <math>\pm</math> 3,58</b>	<b>5,3 <math>\pm</math> 2,36 *</b>	<b>5,9 <math>\pm</math> 1,92</b>	<b>8,0 <math>\pm</math> 0,30</b>

A Turbidez (Figura 12 b)) apresentou valores mais altos no tratamento com maior densidade de peixe (**Px**) desde o início do ensaio com valores máximos medidos em Julho. O oxigênio dissolvido (Figura 12 c)) diminuiu constantemente nos primeiros 3 meses mas nunca atingiu níveis críticos para a vida dos organismos ( $< 3 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Houve um aumento do valor médio do pH (Figura 12 d)) em ambos os tratamentos nos meses de Maio e Junho, possivelmente ligado com o aumento de produtividade na primavera, que decresceu depois gradualmente até ao final do ensaio.



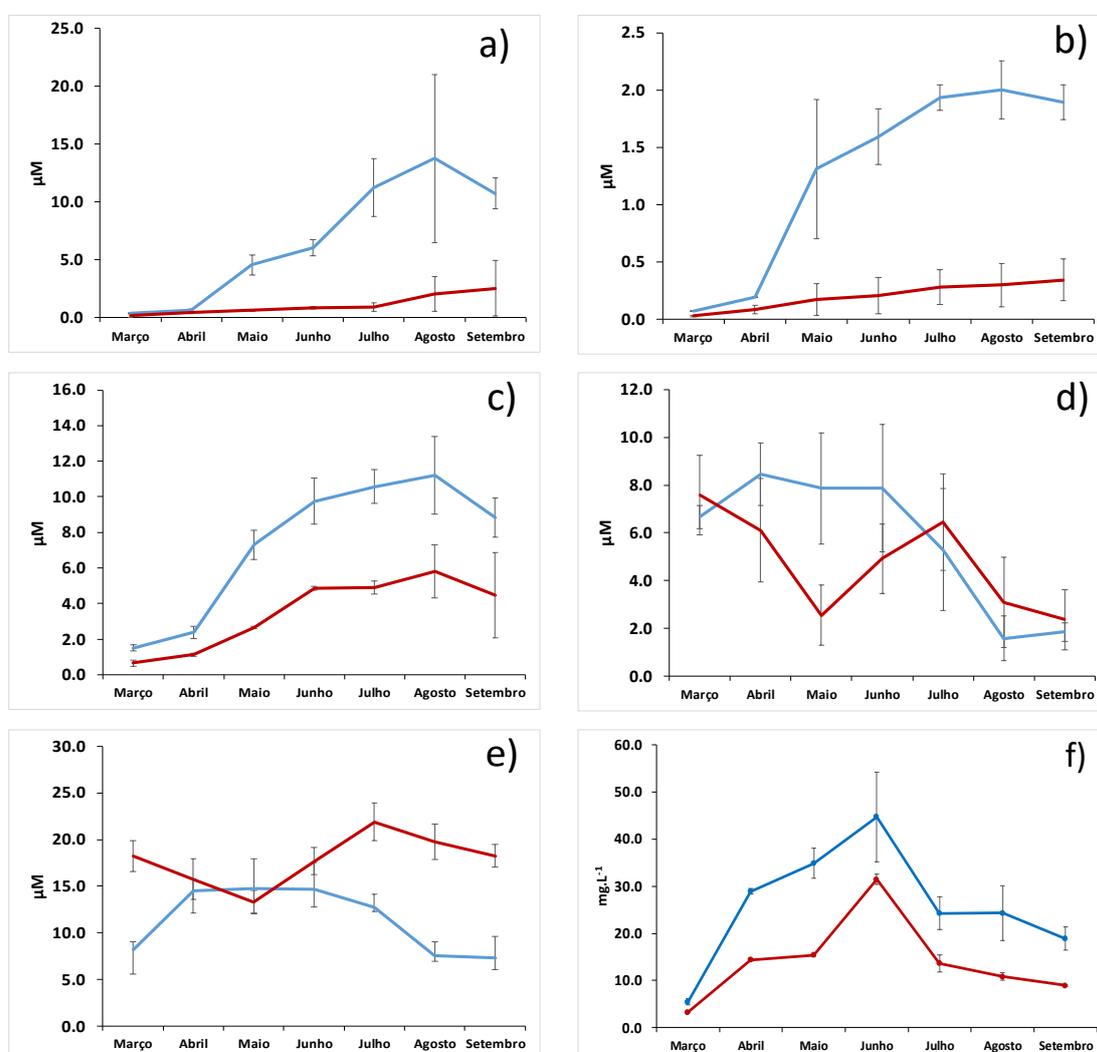
**Figura 12** - Evolução temporal da média mensal da a) temperatura, b) turbidez, c) oxigênio dissolvido d) pH nos dois tratamentos (Px e Ost) ao longo do ensaio. Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

A recolha mensal de água dos tanques para determinação dos nutrientes (amónia, nitratos, nitritos, silicatos, fosfatos) e das clorofilas presentes na água dos tanques permitiu conhecer a sua evolução ao longo do tempo do ensaio (Tabela 6 e Figura 13).

**Tabela 7** – Médias mensais ( $\pm$  desvio padrão) de amónia, nitratos, nitritos, fosfatos, silicatos, e clorofilas para ambos os tratamentos durante o ensaio. N = Número de medições \* significância de  $p < 0,001$ .

Tratamento	N	$\text{NH}_4^+$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_2^-$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_3^-$ $\mu\text{M}$	$\text{HPO}_4$ $\mu\text{M}$	$\text{Si(OH)}_4$ $\mu\text{M}$	Clor. $\text{mg.L}^{-1}$
<b>Px</b>							
Março	3	1,5 $\pm$ 0,16	0,1 $\pm$ 0,00	0,4 $\pm$ 0,04	6,7 $\pm$ 0,49	8,2 $\pm$ 0,85	5,5 $\pm$ 0,68
Abril	3	2,4 $\pm$ 0,35	0,2 $\pm$ 0,00	0,6 $\pm$ 0,09	8,5 $\pm$ 1,31	14,5 $\pm$ 1,30	28,9 $\pm$ 0,58
Maio	3	7,3 $\pm$ 0,81	1,3 $\pm$ 0,61	4,5 $\pm$ 0,86	7,9 $\pm$ 2,33	14,7 $\pm$ 3,21	34,9 $\pm$ 3,21
Junho	3	9,8 $\pm$ 1,31	1,6 $\pm$ 0,24	6,0 $\pm$ 0,72	7,9 $\pm$ 2,67	14,7 $\pm$ 2,85	44,8 $\pm$ 19,52
Julho	3	10,6 $\pm$ 0,95	1,9 $\pm$ 0,11	11,2 $\pm$ 2,48	5,3 $\pm$ 2,56	12,8 $\pm$ 1,36	24,3 $\pm$ 3,46
Agosto	3	11,2 $\pm$ 2,20	2,0 $\pm$ 0,25	13,8 $\pm$ 7,29	1,6 $\pm$ 0,95	7,6 $\pm$ 1,45	24,3 $\pm$ 5,82
Setembro	3	8,8 $\pm$ 1,10	1,9 $\pm$ 0,15	10,7 $\pm$ 1,31	1,8 $\pm$ 0,38	7,3 $\pm$ 2,37	18,9 $\pm$ 2,42
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>6,5 <math>\pm</math> 4,33*</b>	<b>1,1 <math>\pm</math> 0,86</b>	<b>5,9 <math>\pm</math> 5,69</b>	<b>5,2 <math>\pm</math> 3,15</b>	<b>10,8 <math>\pm</math> 3,94*</b>	<b>22,8 <math>\pm</math> 15,13</b>
<b>Ost</b>							
Março	3	0,6 $\pm$ 0,28	0,0 $\pm$ 0,01	0,2 $\pm$ 0,15	7,6 $\pm$ 1,67	18,3 $\pm$ 2,61	3,2 $\pm$ 0,08
Abril	3	1,1 $\pm$ 0,22	0,1 $\pm$ 0,04	0,4 $\pm$ 0,10	6,1 $\pm$ 2,17	15,8 $\pm$ 2,35	14,4 $\pm$ 0,30
Maio	3	2,6 $\pm$ 0,50	0,2 $\pm$ 0,14	0,6 $\pm$ 0,06	2,5 $\pm$ 1,25	13,3 $\pm$ 2,62	15,4 $\pm$ 0,31
Junho	3	4,8 $\pm$ 0,29	0,2 $\pm$ 0,16	0,9 $\pm$ 0,10	4,9 $\pm$ 1,46	17,7 $\pm$ 1,92	31,5 $\pm$ 11,13
Julho	3	4,9 $\pm$ 0,28	0,3 $\pm$ 0,15	0,9 $\pm$ 0,36	6,4 $\pm$ 2,02	21,9 $\pm$ 0,48	13,6 $\pm$ 1,81
Agosto	2	5,8 $\pm$ 1,21	0,3 $\pm$ 0,19	2,1 $\pm$ 1,49	3,1 $\pm$ 1,91	19,8 $\pm$ 0,65	10,8 $\pm$ 0,80
Setembro	2	4,5 $\pm$ 0,77	0,3 $\pm$ 0,18	2,5 $\pm$ 2,42	2,4 $\pm$ 1,25	18,3 $\pm$ 1,21	8,9 $\pm$ 0,16
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>2,8 <math>\pm</math> 2,13*</b>	<b>0,2 <math>\pm</math> 0,15*</b>	<b>0,8 <math>\pm</math> 1,01</b>	<b>4,4 <math>\pm</math> 2,44</b>	<b>16,1 <math>\pm</math> 4,53*</b>	<b>12,5 <math>\pm</math> 10,13</b>

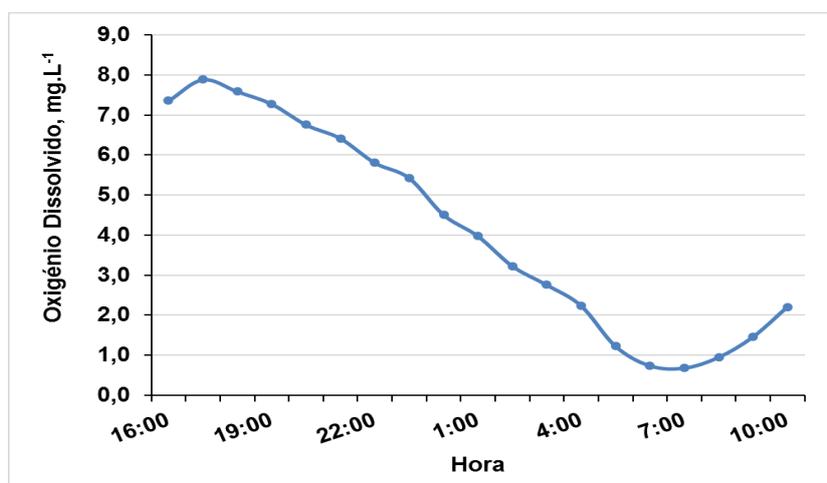
No **Tratamento Px** registaram-se, após o início do ensaio, valores mais altos nos níveis de amónia, nitratos e nitritos e clorofilas em comparação com o **Tratamento Ost** (Figura 13 a), b), c) e f)). Apenas os fosfatos e silicatos ((Figura 13 d), e e)) não obedeceram a este padrão. As concentrações de fosfatos foram mais baixas no tratamento com maior densidade de peixe com exceção dos meses de Abril, Maio e Junho. Com exceção de Maio os silicatos apresentaram sempre níveis mais baixos no **Tratamento Px**. A análise comparativa das médias do ensaio revelou níveis significativamente mais altos de amónia ( $p<0.001$ ), nitratos ( $p<0.001$ ), nitritos ( $p<0.001$ ), e clorofilas ( $p<0.001$ ), para o **Tratamento Px**. Apenas os silicatos ( $p<0.001$ ) apresentaram um valor significativamente mais baixo em comparação com o **Tratamento Ost** (Tabela 6).



**Figura 13** – Evolução da média mensal para a) amónia, b) nitritos, c) nitratos, d) fosfatos, e) silicatos e f) clorofilas nos tratamentos. Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

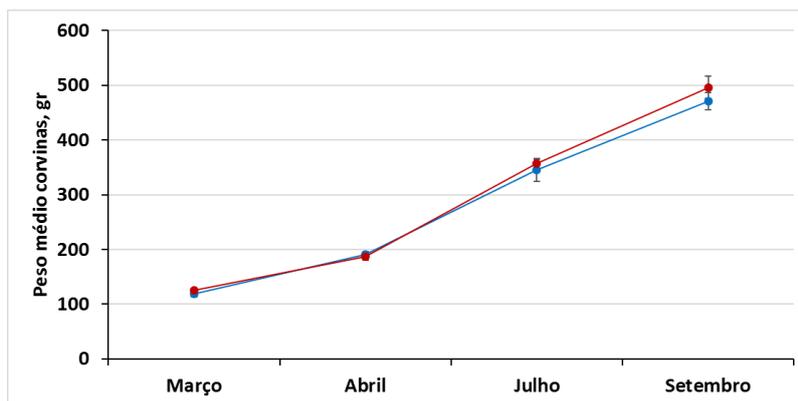
### 4.3 Produção de corvina e ostra

A 27 de Julho ocorreu mortalidade total de corvinas e ostras devido a avaria do injetor de ar de um dos 3 replicados do **Tratamento Px**. A Figura 14 mostra a evolução dos níveis de OD nesse tanque entre as 16h00 do dia 26 de Julho e as 10h do dia 27 onde é clara a redução do OD abaixo dos níveis críticos ( $<3\text{mg.L}^{-1}$ ). O valor médio da temperatura ( $28,3^{\circ}\text{C}$ ), Turbidez ( $15,4\text{ FNU}$ ) e pH ( $7,89$ ) no dia 26 apresentaram-se dentro de valores normais para ambas as espécies e semelhante aos restantes replicados do **Tratamento Ost**.



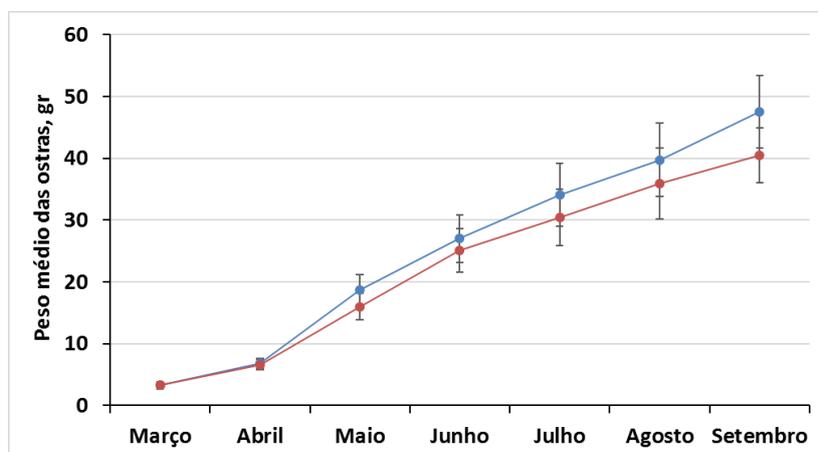
**Figura 14** - Evolução horária da concentração de Oxigênio Dissolvido na água do tanque em que ocorreu a mortalidade massiva dos animais (dias 26 e 27 de Julho 2015). (Registo do Sistema SINERGIA)

O crescimento das corvinas foi semelhante em ambos os tratamentos, mas observou-se um pequeno decréscimo nos meses de Verão no **Tratamento Px** (Figura 15). As corvinas atingiram o peso médio final de 471 gramas no **Tratamento Px** e 496 gramas no **Tratamento Ost** que não foram significativamente diferentes. A Taxa de Crescimento Específico foi de  $0,25\%.\text{dia}^{-1}$  nos dois tratamentos **Px** e **Ost**.

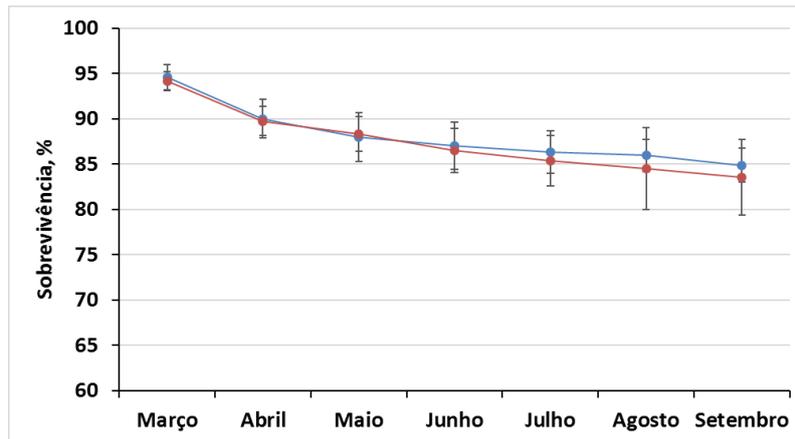


**Figura 15** – Evolução da média mensal do peso das corvinas ao longo dos ensaios: Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

Não houve diferenças significativas entre tratamentos no crescimento (Figura 16) e sobrevivência (Figura 17) das ostras. Notou-se um ligeiro decréscimo, não significativo, na Taxa de Crescimento Específico nas ostras do **Tratamento Ost** ( $Px= 0,57\%/dia$  vs **Ost**=  $0,51\%/dia$ ) com ostras a atingiram pesos médios finais de 47,53 gramas e 40,48 gramas nos tratamentos **Px** e **Ost**, respetivamente.

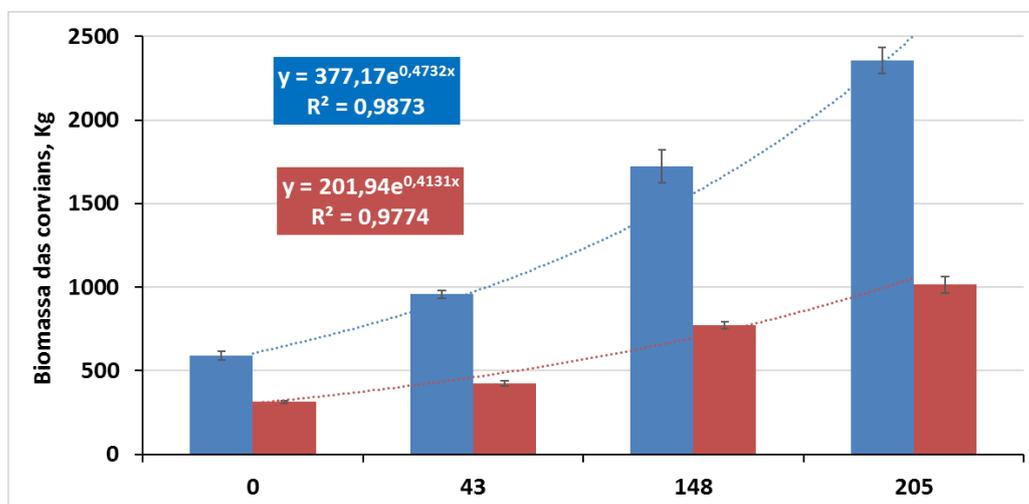


**Figura 16** – Evolução da média mensal do peso das ostras ao longo dos ensaios: Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

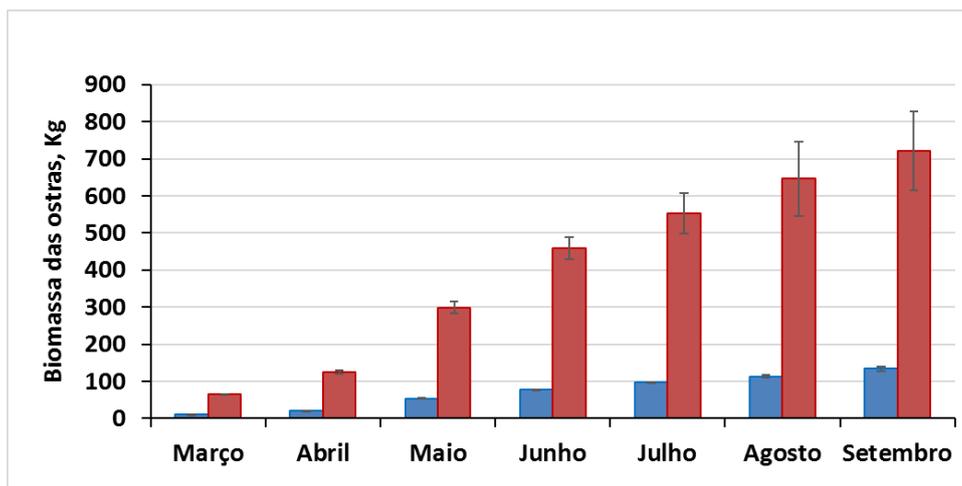


**Figura 17** – Evolução da média mensal da sobrevivência das ostras ao longo dos ensaios: Linha Azul – Tratamento Px; Linha vermelha – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

A evolução da média mensal da biomassa de corvians nos tanques mostra um aumento de 47,3% por mês no **Tratamento Px** enquanto o aumento da biomassa nos **Tratamento Ost** foi de 41,3% por mês (Fig. 18). No caso das ostras a evolução da média mensal da biomassa (Figura 19) foi de 42,1% no **Tratamento Px** e 39,9% no **Tratamento Ost**.

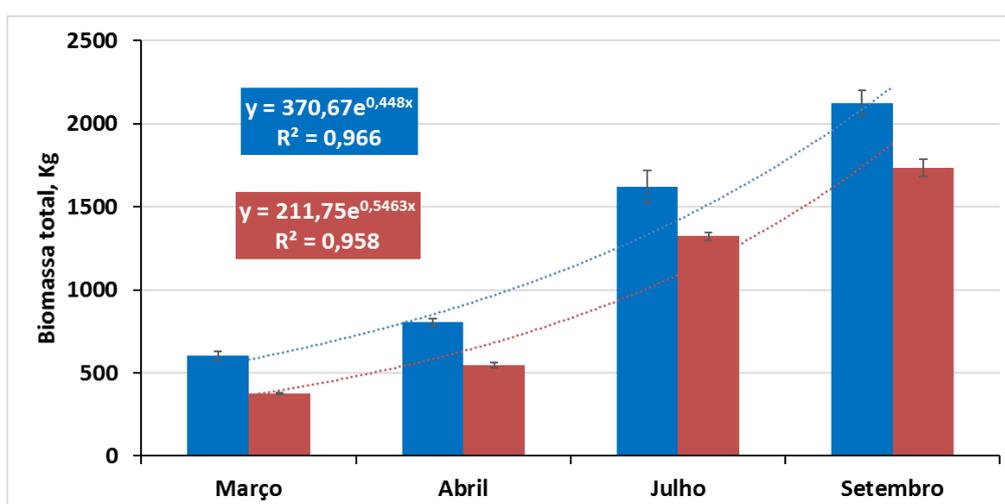


**Figura 18** – Evolução da média mensal da biomassa de corvians ao longo dos ensaios: Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.



**Figura 19** – Evolução da média da biomassa de ostras ao longo dos ensaios: Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

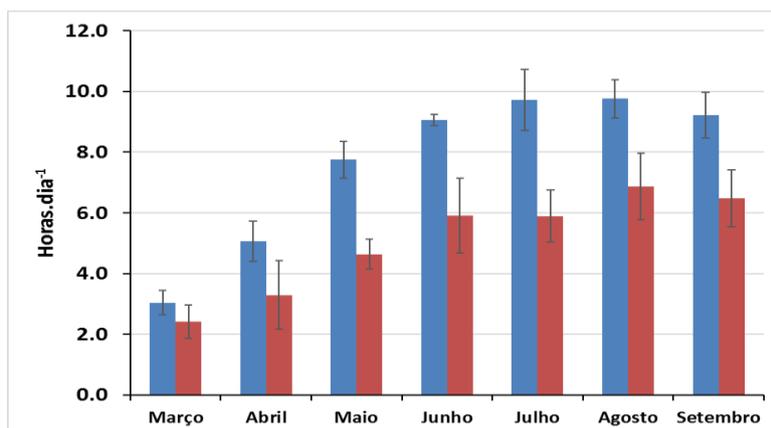
A Figura 20 mostra a evolução mensal da biomassa total em cada tratamento, com maior biomassa final no **Tratamento Px** (2122 Kg, 42,1% por mês) em relação ao **Tratamento Ost** (1735 Kg, 39,9% por mês). No **Tratamento Px** o aumento de biomassa foi de 1396 Kg para as corvinas e 124 Kg para as ostras passando estas no início de 1,7% da biomassa total a 6% da biomassa total no final do ensaio. No caso do **Tratamento Ost** o aumento de biomassa das corvinas foi de 701 Kg e das ostras de 731 Kg. Este aumento da biomassa das ostras correspondeu a 17% da biomassa total inicial para 43% no final.



**Figura 20** – Evolução da média da biomassa total ao longo dos ensaios: Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

#### 4.4 Consumo energético

Ao longo do ensaio houve um aumento gradual do tempo de funcionamento dos arejadores com valores mais elevados nos meses de Junho a Setembro (Figura 21). O **Tratamento Px** utilizou um maior consumo energético com uma utilização de arejamento que foi significativamente superior ( $p < 0.001$ ) ao do **Tratamento Ost** ( $7,7 \pm 1,76$  horas diárias contra  $4,8 \pm 2,54$  horas diárias).



**Figura 21** – Evolução do tempo de funcionamento dos injetores ao longo dos ensaios Barras azuis – Tratamento Px; Barras vermelhas – Tratamento Ost. : As barras de erro correspondem ao desvio padrão.

#### 4.5 Produção animal final

O **Tratamento Px** apresentou uma maior densidade no final do ensaio ( $3,32$  vs  $2,61$  Kg/m<sup>3</sup>), uma menor Taxa de Conversão Alimentar ( $1,75$  vs  $1,83$ ), e uma maior produção total por ha ( $49,8$  vs  $39,2$  Toneladas) (Tabela 8).

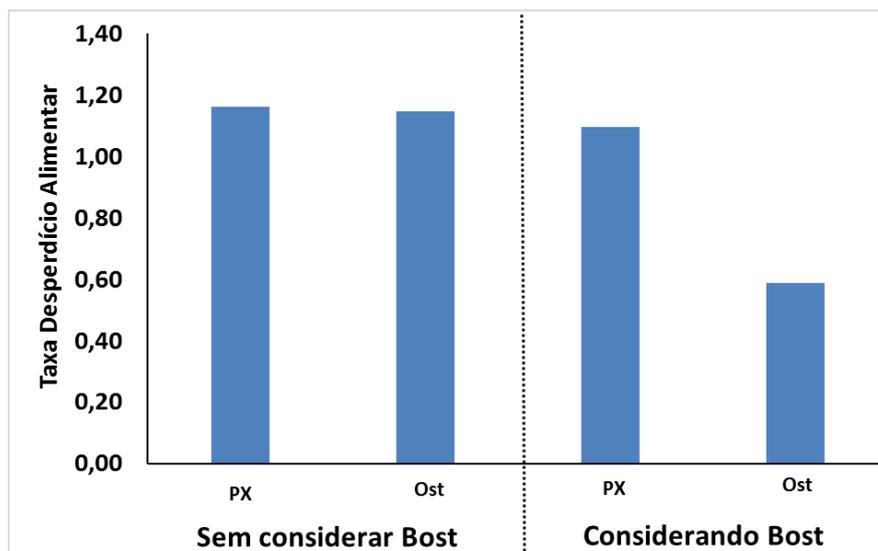
O total de ração desperdiçada ( $R_{n.ret}$ ) no **Tratamento Px** foi de  $2038$  Kg ( $83,2\%$ ) dos  $2450$  Kg fornecidos, e no **Tratamento Ost** de  $1079$  Kg ( $83,9\%$ ) dos  $1285$  Kg fornecidos (Tabela 9). Tendo em consideração a Biomassa final de ostras ( $B_{ost}$ ) no total da produção em cada tratamento, estas percentagens são de  $84,1\%$  para o **Tratamento Px** e de  $73\%$  no **Tratamento Ost**, uma diferença de  $11\%$  na percentagem de ração desperdiçada entre tratamentos. A Taxa de Desperdício Alimentar (Kg de ração não retida por Kg de biomassa criada) foi maior no **Tratamento Px** ( $1,10$ ) do que no **Tratamento Ost** ( $0,59$ ), uma diferença de  $0,51$  quando se considera a biomassa criada de ostras na análise de produtividade do sistema (Tabela 9 e Figura 22).

**Tabela 8** – Parâmetros de avaliação da produção final entre tratamentos.

Parâmetro	Tratamentos	
	Px	Ost
Sobrevivência das corvinas, $S_{corv}$	100 ± 0,0	100 ± 0,0
Sobrevivência das ostras, $S_{ost}$	83,6 ± 1,9	84,9 ± 3,1
Peso médio corvinas, $PM_{corv}$	471 ± 15,63	496 ± 20,51
Peso médio ostras, $PM_{ost}$	47,53 ± 5,84	40,4 ± 4,45
Biomassa de corvinas, $B_{corv}$	2355 ± 78,3	1240 ± 51,4
Biomassa de ostras, $B_{ost}$	134 ± 5,9	721 ± 57,9
Biomassa total, $B_{total}$	2489 ± 84,2	1961 ± 108,3
Densidade das corvinas, $D_{corv}$	3,14 ± 0,10	1,65 ± 0,07
Densidade das ostras, $D_{ost}$	0,18 ± 0,011	0,96 ± 0,142
Densidade total, $D_{total}$	3,32 ± 0,111	2,61 ± 0,212
Produção total, $P_{total}$	49,8 ± 1,67	39,2 ± 3,16
Taxa Crescimento Específico corvinas, $TCE_{corv}$	0,25 ± 0,008	0,25 ± 0,012
Taxa Crescimento Específico ostras, $TCE_{ost}$	0,57 ± 0,013	0,54 ± 0,023
Taxa de Conversão Alimentar, $TCA_{corv}$	1,75 ± 0,122	1,83 ± 0,159
Tempo funcionamento arejadores	7,7 ± 2,54	4,6 ± 1,76

**Tabela 9** - Valores para determinação da Taxa de Desperdício Alimentar entre os tratamentos com exclusão e inclusão da biomassa criada de ostras.

Variável	Sem considerar Bost		Considerando Bost	
	Px	Ost	Px	Ost
Taxa de Conversão Alimentar (TCA)	1,75	1,83	1,61	0,95
Matéria seca ração ( $MS_r$ ), %	91,7	91,7	91,7	91,7
Taxa de conversão alimentar da MS da	1,60	1,68	1,48	0,87
MS do organismo vivo, ( $MS_{org}$ ), %	27,0	27,0	23,5	23,5
Retenção de MS da ração em B criada (	16,8	16,1	15,9	27,0
% Ração não retida, % da $TCAMS_r$	83,2	83,9	84,1	73,0
Perdas de ração (Kg ração n retida/Kg B	1,33	1,41	1,24	0,64
Biomassa criada, Kg	1520	1387	1520	1387
Ração fornecida ( $R_{forn}$ ), Kg	2450	1285	2450	1285
Ração não retida ( $R_{n.ret}$ ), Kg	2038	1079	2060	938
<b>Taxa de Desperdício Alimentar, TDA</b>	<b>1,34</b>	<b>0,78</b>	<b>1,36</b>	<b>0,68</b>



**Figura 22** - Comparação da Taxa de Desperdício Alimentar entre os tratamentos com exclusão e inclusão da biomassa de ostras  $B_{ost}$ : Biomassa final de ostras.

#### 4.6 Estimativas de rentabilidade das produções

A produção extrapolada para 1 ha de um ciclo de corvinas (2 anos) e dois ciclos de ostras resultaram numa produção de 47,1 toneladas de corvina e 5,4 toneladas de ostras para **Tratamento Px** e 24,75 toneladas de corvina e 28,8 toneladas de ostra para o **Tratamento Ost** (Tabela 10). No **Tratamento Px** houve maior quantidade de ração fornecida (82,4 Ton vs 45,3 Ton), maior tempo de arejamento (5621h vs 3358h), maior ração não retida (56,6 Ton vs 31,1 Ton) e maior libertação de azoto (8,89 Ton vs 4,88 Ton) e fósforo desperdiçado (0,17 Ton vs 0,093 Ton) do que o **Tratamento Ost**.

A rentabilidade estimada para os dois tratamentos (Tabela 10) indicou que o **Tratamento Ost** apresentou uma rentabilidade mais alta (75481 Euros) com cerca de 50,9 mil Euros acima da rentabilidade do **Tratamento Px** (21540 Euros).

Dividindo os custos totais na Tabela 11 pela biomassa total produzida na Tabela 10 resultou num custo total por Kg de produção de 3,94€ e 2,28€ nos **Tratamentos Px** e **Ost** respetivamente, uma diferença de 1,66 €.

**Tabela 10** - Valores para a avaliação de rentabilidade para uma produção de 1 ha com inclusão ou exclusão da biomassa de ostras para avaliação da eficiência na utilização da ração.

Produtividade hectare	Tratamentos	
	Parametro	Px
Tempo de cultivo, (2 anos)	730	730
Nº juvenis iniciais corvina	47100	24750
Nº juvenis iniciais ostra	79505	424028
Nº final corvinas	47100	24750
Nº final ostras	66466	360000
Biomassa final de corvinas (1 ciclo), Kg	47100	24750
Biomassa final de ostras (2 ciclos), Kg	5400	28800
Biomassa total produzida, Kg	52500	53550
Total Ração fornecida, R <sub>form</sub>	82425	45293
Taxa de Conversão Alimentar, TCA	1,75	1,83
Taxa de Desperdício Alimentar, TDA	1,10	0,59
Tempo total de arejamento, Horas	5621	3358
Total Ração não retida, Kg	56626	31052
Total Azoto desperdiçado, Kg	8890	4875
Total Fósforo Desperdiçado, Kg	170	93

**Tabela 11** - Rentabilidade dos dois tratamentos considerando os custos dos juvenis, ração fornecida e desperdiçada (azoto e fósforo) e de arejamento. Os preços usados nesta estimativa encontram-se na Tabela 5.

Parametro	Tratamentos	
	Px	Ost
Receitas corvinas ( $\epsilon_{\text{corv}}$ ), Euros	211950	111375
Receitas ostras ( $\epsilon_{\text{ost}}$ ), Euros	16200	86400
<b>Receitas totais (<math>\epsilon_{\text{totais}}</math>), Euros</b>	<b>228150</b>	<b>197775</b>
Custos juvenis corvina, euros	28260	14850
custos juvenis ostra, euros	1988	10601
Custos da Ração Fornecida ( $C_{\text{rform}}$ ), Euros	82425	45293
Custos de arejamento ( $C_{\text{arej}}$ ), Euros	787	470
Custos azoto desperdiçado, euros	88903	48752
Custos fósforo desperdiçado, euros	4247	2329
<b>Custos totais (<math>C_{\text{totais}}</math>), Euros</b>	<b>206610</b>	<b>122294</b>
<b>Lucro total, Euros</b>	<b>21540</b>	<b>75481</b>
<b>Custo por Kg produzido, €</b>	<b>3,94</b>	<b>2,28</b>

## 5 Discussão

### 5.1 Qualidade de água

Durante o ensaio as medições dos parâmetros de qualidade da água permitiram conhecer a sua progressiva variação diária, semanal e mensal informação esta que foi utilizada no manejo do cultivo, em especial na gestão dos níveis de renovação de água e da ração fornecida. Desta forma houve uma relação direta entre o aumento da temperatura (Fig 12 a)), o fornecimento de ração aos peixes e o aumento das necessidades de renovação de água (Fig. 11) pois o metabolismo dos animais cultivados varia diretamente com a temperatura (Boyd & Tucker, 1998).

Não se observou uma diferença significativa nos níveis de OD entre os dois tratamentos (Tabela 6) mas houve maior tempo de arejamento no **Tratamento Px** (Figura 21) o que está de acordo com o teoricamente esperado devido à maior biomassa de peixe presente. Apenas 10-20% do peso das ostras tem atividade metabólica (o miolo), sendo que apenas esta parte contribuiu para o consumo de oxigénio da biomassa de ostras em cada tratamento. A biomassa combinada de corvina e miolo de ostra no **Tratamento Px** foi de 2469,5 kg (2450 Kg de peixe + 19,5 Kg de ostra) enquanto que este valor foi de 1347,3 kg (1240 kg de peixe + 107,3 Kg de ostra) no **Tratamento Ost**, uma diferença de 1122,2 Kg.

A variação temporal da concentração do OD na água (Fig. 12 c)) dependeu não só de uma menor disponibilidade de OD relacionada com o aumento da temperatura como também de um maior consumo pelas corvinas e ostras. Este efeito duplo nos níveis de OD nos tanques resultou num aumento de horas de funcionamento dos injetores de ar em especial durante os meses de Julho e Agosto, quando os valores máximos de temperatura nos tanques estiveram próximos dos 30°C e a média de temperatura nos tanques foi de 27°C. A estes níveis de temperatura existe um maior risco de que o sistema não consiga suportar todo o consumo de OD necessário à sustentação de vida dos organismos cultivados e das bactérias presentes no sedimento e na água. Um exemplo deste consumo excessivo foi o da mortalidade total das corvinas e ostras num dos replicados do **Tratamento Ost** devido a uma queda abrupta dos níveis de oxigénio quando um dos injetores de ar se variou durante a noite. A utilização de injetores de ar permite que a capacidade de carga dos sistemas seja aumentada pois contribui para uma maior segurança na sobrevivência dos organismos a elevadas temperaturas e densidades utilizadas.

O pH não foi diferente entre os dois tratamentos indicando processos biogeoquímicos semelhantes. A dinâmica do pH nos tanques esteve fortemente afetada pelo equilíbrio entre os consumidores que libertam dióxido de carbono e retiram OD diminuindo o pH da água e os produtores primários como o fitoplâncton que fazem o processo inverso com conseqüente aumento do pH. As variações do pH estiveram relacionadas com variações na temperatura, OD e produção fitoplanctónica nos tanques ao longo do ensaio tendo-se observado um aumento gradual dos níveis médios de pH a partir do início do ensaio que subiram até Junho ao mesmo tempo que os níveis de clorofilas e amónia. Valores de elevado pH, elevada produção fitoplanctónica e baixos níveis de OD são característicos de sistemas enriquecidos em nutrientes (Chen and Durbin, 1994) como é o caso dos tanques de produção animal em aquacultura.

Em paralelo aos valores mais elevados de pH houve aumento de compostos azotados no **Tratamento Px** (Tabela 6 e Fig 13). A este tratamento, com maior quantidade de peixe, foi fornecida maior quantidade de ração pelo que deverá ter maior quantidade de produtos de excreção e de material particulado proveniente de ração não ingerida. Este aumento de produtos de excreção pode justificar o aumento de turbidez e da clorofila nos tanques com maiores quantidades de peixe. A turbidez da água foi mais elevada no tratamento com maior densidade de peixe (**Tratamento Px**) e em especial nos meses de Junho a Setembro (Fig 12 b)). Esta relação pode estar ligada à maior produção fitoplanctónica como sugerem os valores de pH que foram igualmente mais baixos neste período de tempo (Fig 12 d)). Embora as ostras também contribuam com compostos azotados e particulados nas suas fezes e pseudofezes (Shpigel, 2005), a sua biomassa viva é muito menor e portanto também o seu impacto.

Outro fator que poderá ter reduzido os níveis de turbidez de forma diferenciada entre os tratamentos foi a filtração de matéria orgânica por parte das ostras, padrão de alimentação descrito largamente na literatura (Shpigel, 2005). Para além do fitoplâncton, as ostras filtram ativamente matéria orgânica em suspensão de forma a retirar daí elementos nutricionais. Esta filtração é, em muitos locais, usada como tratamento biológico para diminuir a elevada turbidez em baías e lagoas em zonas costeiras. Neste ensaio não é possível saber com exatidão se os valores mais baixos de turbidez no **Tratamento Ost** se deve mais a essa filtração ou apenas ao facto de haver uma menor biomassa de peixes. Mas a presença em maior número de ostras neste tratamento poderá ter contribuído efetivamente para essa redução nos valores de turbidez.

A principal fonte de amónia em regime semi-intensivo com fornecimento de ração provém da sua digestão pelos organismos cultivados (Hargreaves, 1998). A decomposição bacteriana da amónia presente na coluna de água e na água intersticial

dos sedimentos por processos de nitrificação e desnitrificação originam os nitritos e nitratos (Hargreaves, 1998). Hussenot (2003) demonstra que as concentrações de azoto nos efluentes, ao contrário dos silicatos e fosfatos, aumentam com a intensificação. Isto foi observado nos níveis de fosfatos no ensaio que apresentaram uma fraca relação com o aumento da biomassa dos sistemas testados.

No entanto os silicatos apresentam-se em maiores concentrações no tratamento com maiores densidades de ostra (**Tratamento Ost**). Um fator que poderá ter contribuído para este aumento dos silicatos e em especial nos meses de Verão poderá ter tido origem no distúrbio do sedimento dos tanques (sedimentos parcialmente arenosos, com silicatos naturais) por parte do movimento dos peixes, mais ativos no Verão a temperaturas acima dos 25°C.

## 5.2 Produção de corvinas e ostras

As corvinas tiveram uma sobrevivência de 100% em ambos os tratamentos sugerindo que a qualidade de água no ensaio se manteve em boas condições para o seu cultivo em tanques de terra. Este valor de sobrevivência está acima do reportado para o cultivo de corvina em tanques de terra no Egito (84%, El-Shebly *et al.*, 2007) e em jaulas costeiras na Croácia (60-80%, Kružić *et al.*, 2016). No entanto o crescimento obtido foi inferior ao referido por Kružić *et al.* (2016) e apresentado na Tabela 1, com as corvinas deste ensaio a pesarem em média 484 gramas no final de 8 meses de cultivo em tanques de terra. De notar, no entanto, que o valor médio de 700 gramas descrito por Kružić *et al.* (2016) correspondeu a um crescimento de 12 meses a temperatura média de 24°C, semelhante a este ensaio. Este crescimento menor a temperaturas médias semelhantes poderá estar relacionado com a utilização no ensaio de rações para dourada com menor percentagem proteica (42%) do que o ideal para um crescimento otimizado da corvina, acima de 55% (Martínez-Llorens *et al.*, 2011; Duncan *et al.*, 2013; Ribeiro *et al.*, 2015). As taxas de crescimento da corvina usando igualmente rações de dourada, entre 0,12 e 0,34% dia<sup>-1</sup> no Verão (comunicação pessoal de Pedro Pousão-Ferreira), obtidas em recentes ensaios na EPPO não foram superiores aos valores agora referidos. Também, no Algarve, a empresa AtlantikFish de Castro Marim reportou um ciclo de 24 meses para a corvina atingir 1 Kg de peso médio (comunicação pessoal de André Cabrita), à semelhança dos dados obtidos na EPPO e com taxas de crescimento semelhantes a este ensaio.

A Taxa de Conversão Alimentar(TCA) obtida nos Tratamentos Px e Ost do ensaio, 1,75 e 1,83, foi mais elevada do que em testes laboratoriais (Martínez-Llorens *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2015) mas mais baixa do que os 2,5 obtidos em jaulas na costa da Croácia (Kružić *et al.* 2016) e uma TCA de 3 no cultivo em tanques de terra no Egito (El-Shebly *et al.*, 2007). Isto revelou uma boa gestão da alimentação das corvinas durante o ensaio mas ainda com margem para aumentar a eficiência alimentar. A utilização de ração de dourada/robalo para corvina no ensaio poderá ser responsável pela maior TCA no ensaio comparada com ensaios em laboratório, onde os níveis proteicos estão otimizados para as necessidades da corvina (Martínez-Llorens *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2015). A adoção de ração específica para corvina poderá reduzir a TCA do cultivo de corvinas em tanques de terra, aproximando a eficiência alimentar dos valores obtidos em condições ótimas.

A taxa de crescimento das ostras neste ensaio foi semelhante nos dois tratamentos,  $0,54 \text{ \%}.\text{dia}^{-1}$ , perto dos valores médios da comparação de Gangnery *et al.* (2003), que observou taxas de crescimento entre  $0,22$  e  $1,52 \text{ \%}.\text{dia}^{-1}$ , geralmente com valores abaixo de  $0,60 \text{ \%}.\text{dia}^{-1}$  (apenas dois valores acima de  $0,80 \text{ \%}.\text{dia}^{-1}$ ). Isto pode refletir que no ensaio houve uma elevada disponibilidade de fitoplâncton e matéria em suspensão para as ostras atingirem um rápido crescimento, demonstrado pelos valores de clorofilas. O pequeno decréscimo não significativo na taxa de crescimento das ostras no **Tratamento Ost** nos últimos meses, com uma densidade próxima de  $1\text{Kg}/\text{m}^3$ , poderá estar relacionado com efeito filtrador das ostras na limitação da abundância de fitoplâncton nos tanques deste tratamento (Pietros *et al.*, 2003). Este resultado poderá indicar que a densidade de ostras estaria perto da capacidade de carga do sistema no que toca à disponibilidade de fitoplâncton.

Neste ensaio atingiu-se as 40 gramas em apenas 6 meses de cultivo, prevendo-se que atingiriam as 80 gramas de peso comercial dentro do tempo de cultivo observado na Ria Formosa de 12 a 15 meses (Cardoso *et al.*, 2013). Este padrão indicia condições adequadas para um bom crescimento deste bivalve em cultivo integrado em tanques de terra usando densidades de peixe entre 1 e  $2,5 \text{ Kg}/\text{m}^3$  no final do cultivo. De realçar que foi usada uma técnica de cultivo diferente daquela usada em zonas intertidais na Ria Formosa.

### 5.3 Estimativa de rentabilidade das produções

Utilizando a ideia base dos créditos de nutrientes referida no ponto 1.2.5 e quantificando o azoto e fósforo desperdiçado resultante da não incorporação da ração fornecida (Tabela 10) foi possível calcular o valor monetário associado à descarga destes nutrientes para o ambiente. Incorporando estes valores, que não são habitualmente contabilizados nos custos de uma empresa, no balanço da rentabilidade da produção observou-se que os custos do azoto desperdiçado e da ração fornecida foram a maior contribuição para os custos totais nos dois tratamentos pelo que o **Tratamento Ost** teve uma rentabilidade de 54 mil Euros acima do **Tratamento Px**. Esta diferença elevada na rentabilidade explica-se pelos elevados custos no **Tratamento Px**, que não são compensados pelas receitas. No **Tratamento Ost** as receitas dos dois ciclos de ostras e os menores custos com a ração (fornecida e desperdiçada) compensaram a menor receita das corvinas neste tratamento.

O custo por Kg produzido mostra também como o **Tratamento Ost** consegue ter um valor abaixo dos 2,5€ em contraste com o valor próximo de 4€ (3,94€) do **Tratamento Px**. Este tratamento apenas teria uma rentabilidade igual ao **Tratamento Ost** se o preço da corvina passasse de 4,5€ para 5,64€ mantendo o preço de venda das ostras em 3€. É essencial uma avaliação cuidada dos preços de venda a praticar quando se define o nível de produção aplicada e as combinações nos cultivos integrados.

Estes resultados tornam também evidente que nem sempre uma maior densidade de peixe resulta em maiores lucros quando se compara com uma combinação multitrófica onde existe maior aproveitamento da ração fornecida por todos os níveis tróficos. É também evidente a importância da incorporação da biomassa criada de ostras e dos custos de azoto e fósforo desperdiçado numa avaliação ampla da eficiência alimentar num cultivo de peixe e ostras.

Considerando também o aspeto da rentabilidade numa perspectiva de serviço de ecossistema o **Tratamento Ost** revelou uma capacidade elevada de retenção de azoto e fósforo que de outra forma seriam libertados na Ria Formosa demonstrando assim um efeito benéfico para este ecossistema. A sua quantificação e transformação em crédito passível de trocas comerciais cria por outro lado uma mais valia para a rentabilidade do produtor e assim benefícios conjuntos da prática de cultivos integrados.

## 6 Conclusão

Os resultados demonstram que a ração fornecida aos sistemas de aquacultura em tanques de terra é o elemento que mais influencia a qualidade de água e os custos operacionais, onde a presença de mais peixes e menos ostras no **Tratamento Px** originou valores significativamente mais elevados de nutrientes ricos em azoto e fósforo (amónia, nitritos, nitratos, fosfatos, à exceção de silicatos), pH, turbidez e tempo de funcionamento dos arejadores em comparação com o **Tratamento Ost**.

Através de cálculos simples foi possível estimar o aproveitamento da ração em ambos os sistemas comparados e estimar a sua rentabilidade. Observou-se uma clara vantagem na presença elevada de ostras no cultivo dos peixes (**Tratamento Ost**) no aproveitamento dos compostos libertados pelo metabolismo do peixe associado à ração fornecida e com isto poupança nos custos de ração e maior rentabilidade. Com base nisto recomenda-se que sejam adicionados organismos que pelas suas características biológicas consigam recuperar algum dos nutrientes não retidos pelo peixe e libertados no sistema para uma melhor produtividade e rentabilidade a qualquer nível de produção de peixe. A aplicação da Taxa de Conversão Alimentar em cultivos multitróficos não permitirá contabilizar esta recuperação pelo que a Taxa de Desperdício Alimentar pode complementar essa análise para cultivos multitróficos. Isto permitirá definir com maior exatidão o equilíbrio entre maior rentabilidade e menor impacto ambiental na implementação de sistemas integrados e o aperfeiçoamento dos sistemas tradicionais de monocultura e policultura. É também importante internalizar os custos dos nutrientes libertados pelos efluentes das aquaculturas uma vez que os resultados mostram que essa contabilização melhora a avaliação da eficiência alimentar entre sistemas distintos e dos impactos ambientais de cada sistema.

Numa perspetiva de serviço ecossistémicos a utilização de cultivos multitróficos poderá ajudar a melhorar o estado de conservação do habitat de zonas húmidas costeiras restaurando as áreas de habitat mais degradadas e aumentando a sua rentabilidade.

É necessário no entanto mais estudos que avaliem diferentes proporções entre as espécies de diferentes níveis tróficos, com possíveis adições de macroalgas para a recuperação de amónia e fósforo do sistema, ajudando a minimizar o desperdício elevado em nutrientes da ração e a aumentar a produtividade do sistema.

Este trabalho poderá contribuir para um melhor dimensionamento dos cultivos integrados em tanques de terra através de um melhor conhecimento da complexa dinâmica ecológica destes sistemas.

## 7 Referências

- Barrington, K., Chopin, T., Robinson, S. (2009). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 529: 7-46.
- Bosman, R. H., Verdejem, M. C. (2011). Sustainable aquaculture in ponds: principles, practices and limits. *Livestock Science*, 139(1): 58-68.
- Boyd, C. E. (1986). Comments on the development of techniques for management of environmental quality in aquaculture. *Aquaculture Engineering* 5: 135-146.
- Boyd, C. E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, AL, United States of America.
- Boyd, C. E. (2005). Feed Efficiency Indicators for Responsible Aquaculture. *Global Aquaculture Advocate*, December issue.
- Boyd C. E., Tucker C. S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 720 pp.
- Branosky E., Jones C., Selman M., (2011). Comparison tables of state nutrient trading programs in the Chesapeake Bay Watershed. Washington, DC: World Resources Institute. <http://www.wri.org/publication/comparison-tables-of-state-chesapeake-baynutrient-trading-programs> (Acedido a 23-6-2016).
- Byron, C. J., Costa-Pierce, B. (2013). Carrying capacity tools for use in the implementation of an ecosystems approach to aquaculture. Site selection and carrying capacity for inland and coastal aquaculture: 87-101.
- Byron, C., Link, J., Costa-Pierce, B., Bengtson, D. (2011). Calculating ecological carrying capacity of shellfish aquaculture using mass-balance modeling: Narragansett Bay, Rhode Island. *Ecological Modelling* 222(10): 1743-1755.
- Cárdenas, S. (2011). Acuicultura mundial de corvinas. IPac. Noticia. [http://www.ipacuicultura.com/noticias/divulgacion/13246/acuicultura\\_mundial\\_de\\_corvinas.html](http://www.ipacuicultura.com/noticias/divulgacion/13246/acuicultura_mundial_de_corvinas.html) (Acedido a 05-09-2016).
- Cardoso, J. F., Peralta, N., Machado, J. P., Veer, H. (2013). Growth and reproductive investment of introduced Pacific oysters *Crassostrea gigas* in southern European waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 118: 24-30.
- Chen, Y., Durbin, E.G. (1994). Effects of pH on the growth and carbon uptake of marine phytoplankton, *Marine Ecology Progress Series*, 109:83-94.

Christo, S. (2006). Biologia reprodutiva e ecologia de ostras do género *Crassostrea* Sacco, 1897 na baía de Guaratuba (Paraná – Brasil): um subsídio ao cultivo. Tese apresentada à universidade Federal do Paraná para obtenção do grau de doutor em ciência biológica – zoologia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

Conte, F. S. (2004). Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science* 86(3): 205-223.

Coutinho, A. (2012). Influência da variação sazonal no valor nutricional e avaliação da estabilidade da ostra do sado. Dissertação apresentada à Escola Superior de Turismo e Tecnologia e Mar, para obtenção do Grau de Mestre em Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar. Leiria: Instituto Politécnico de Leiria.

Culberson S., Piedrahita R. (1996). Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction – mechanism and application. *Ecological Modelling* 89: 231-258.

Deudero, S., Blanco, A., Tor, A., Alomar, C., Valencia, J. M., Sarriera, P. (2011). Integrated multitrophic aquaculture: filter feeders bivalves as efficient reducers of wastes derived from coastal aquaculture assessed with stable isotope analyses. INTECH Open Access Publisher.

DGRM, 2015. Plano Estratégico para a Aquacultura Portuguesa. Direção Geral dos Recursos Marinhos, Portugal.

Diana, J. S., 2012. Is lower intensity aquaculture a valuable means of producing food? An evaluation of its effects on near-shore and inland waters *Reviews in Aquaculture* 4: 234–245.

Diana, J. S. (2009). Aquaculture production and biodiversity conservation. *Bioscience* 59(1): 27-38.

Duncan N., Estevez A., Fernández-Palacios, H., Gairin, I., Hernández-Cruz, C. M., J. Roo, D. Schuchardt, R. Vallés. (2013). Aquaculture production of meagre (*Argyrosomus regius*): hatchery techniques, ongrowing and market. In: *Advances in aquaculture hatchery technology*. Ed. By G. Allan and G. Burnell, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 242.

El-Shebly, A. A., El-Kady, M. A., Hussin, A. B., e Hossain, M. Y. (2007). Preliminary observations on the pond culture of meagre, *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) (Sciaenidae) in Egypt. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2(5), 345-352.

European Comission, 2016. The EU fish market. 2016 Edition ([www.eufoma.eu](http://www.eufoma.eu)).

Fang, J., Zhang, J., Xiao, T., Huang, D., e Liu, S. (2016). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Sanggou Bay, China. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 201-205.

FAO (2009). Integrated mariculture. A global review. Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Doris Soto, No. 529. Rome.

FAO (2016a). The state of world fisheries and aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all. FAO Fisheries Department. Food and Agriculture organizations of the United Nations. Rome. 200 pp.

FAO (2016b). Cultured aquatic species information programme. Fisheries and Aquaculture Department. [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Argyrosomus\\_regius/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Argyrosomus_regius/en) (Acedido a 28-08-2016).

FAO (2016c). Cultured aquatic species information programme. Fisheries and Aquaculture Department. [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea\\_gigas/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas/en) (Acedido a 05-09-2016).

Ferreira, J. G., Hawkins, A. J. S., Monteiro, P., Moore, H., Service, M., Pascoe, P. L., Sequeira, A. (2008). Integrated assessment of ecosystem-scale carrying capacity in shellfish growing areas. *Aquaculture*, 275(1), 138-151.

Ferreira, J.G., Andersen, J.H., Borja, A., Bricker, S.B., Camp, J., Cardoso da Silva, M., Garce´s, E., Heiskanen,, A. S., Christoph Humborg, L., Ignatiades, C., Lancelot, A., Menesguen, P., Tett, N., Hoepffner, U., (2011). Indicators of human-induced eutrophication to assess the environmental status within the European marine strategy framework directive. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 93:117–131.

Ferreira, J. G. & Bricker, S. B. (2016). Goods and services of extensive aquaculture: Shellfish culture and nutrient trading. *Aquacult. Int.* 24:803–825.

Fezzardi, D., Massa, F., Àvila-Zaragoza, P., Rad, F., Gier, G., Deniz, H., Salem, M., Hamza, H., e Salem, S. (2013). Indicators for sustainable aquaculture in Mediterranean and black sea countries. Guide for the use of indicators to monitor sustainable development of aquaculture. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No 93. Rome, FAO. 60 pp.

- Gangnery, A, Chabirand, JM, Lagarde, F, Le Gall, P, Oheix, J, Bachar, C, Buestel, D. 2003. Growth model of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* cultured in Thau Lagoon (Méditerranée France). *Aquaculture* 215: 267–290.
- Gonçalves, A. S. R. (2012). Comportamento agonístico nos juvenis de sargo (*Diplodus sargus*): implicações na aquacultura. Tese de Doutoramento em Ciência Animal, Especialidade em Sistemas de Produção, submetida ao Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto.
- Grasshoff, K. (1983). *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, New York, United States of America, 317 pp.
- Hargreaves, J. A. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture* 166: 181-212.
- Higuera-Ruiz, R.; Elorza J. (2009). Biometric, microstructural, and high-resolution trace element studies in *Crassostrea gigas* of Cantabria (Bay of Biscay, Spain): Anthropogenic and seasonal influences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82: 201-213.
- Hughes, A. e Black, K. (2016). “Going beyond the search for solutions: understanding tradeoffs in European integrated multi-trophic aquaculture development”. *Aquaculture Environment Interactions*, Vol. 8:191-199.
- Hussenot, J. M. E. (2003). Emerging effluent management strategies in marine fish-culture farms located in European coastal wetlands. *Aquaculture* 226: 113–128.
- INE, (2016). *Estatísticas da Pesca 2015*. Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Estatística, I. P.
- Jones C, Branosky E, Selman M, Perez M (2010) How nutrient trading could help restore the Chesapeake Bay. Washington, DC: World Resources Institute. <http://www.wri.org/publication/how-nutrienttrading-could-help-restore-chesapeake-bay> (Acedido a 23-6-2016).
- Kluger, L. C., Taylor, M. H., Mendo, J., Tam, J., e Wolff, M. (2016). Carrying capacity simulations as a tool for ecosystem-based management of a scallop aquaculture system. *Ecological Modelling*, 331, 44-55.
- Krom, M. D., Porter C., Gordin H. (1985). Description of the water quality conditions in a semi-intensively cultured marine fish pond in Eilat, Israel. *Aquaculture* 49, 141-157.
- Kružić, N., Mustačić, B., Župan, I., e Čolak, S. (2016). Meagre (*Argyrosomus regius* Asso, 1801) aquaculture in Croatia. *Croatian Journal of Fisheries*, 74(1), 14-19.

- Kumar, D. (1992). Fish culture in undrainable ponds. A manual for extension. FAO Fisheries Technical Paper No. 325. Rome, FAO, 239 p.
- Lal, H., (2010). Nutrient credit trading - a market-based approach for improving water quality. In: Delgado JA, Follett RF (eds) Advances in nitrogen management for water quality. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, pp 344–361.
- Lazzari, R., Baldisserotto B., (2008). Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. Boletim Instituto Pesca, São Paulo, 34(4): 591 – 600.
- Lindahl, O., Hart R., Hernroth B., Kollberg S., Loo L., Olrog L., Rehnstam-Holm A., (2005). Improving marine water quality by mussel farming: a profitable solution for Swedish Society. *Ambio* 34(2):131–138.
- Lorenzen, C. (1967). Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12: 343–346.
- Lucas, J. S., e Southgate, P. C. (2012). Aquaculture: Farming aquatic animals and plants. 2<sup>o</sup> edition. John Wiley & Sons.
- Martínez Llorens, S., Espert Real, J., Moya, V. J., Salvador, M., Javier, V., Jover Cerdá, M., e Tomas Vidal, A. N. A. (2011). Growth and Nutrient Efficiency of Meagre (*Argyrosomus regius*, Asso, 1801) fed Extruded Diets with Different Protein and Lipid levels. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 195-203.
- Martinez-Cordova, I.; Martinez-Porchas, M. (2006). Polyculture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas* and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, Mexico. *Aquaculture*, 258: 321-326.
- Martinez-Porchas, M., e Martinez-Cordova, L. R. (2012). World aquaculture: environmental impacts and troubleshooting alternatives. *The Scientific World Journal*, 2012.
- McKindsey, C. W., Thetmeyer, H., Landry, T., e Silvert, W. (2006). Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, 261(2), 451-462.
- Milstein, A., Zoran, M., Kochba, M., Avnimelech, Y. (2001). Effect of different management practices on water quality of intensive tilapia culture systems in Israel. *Aquaculture International*, 9: 133-152.
- Milstein, A. (1992). Ecological aspects of fish species interactions in polyculture ponds. *Hydrobiologia*, 231(3), 177-186.

Ministério da Agricultura e do Mar, (2014). Despacho n.º 3521/2014. Diário da República, N.º 45. Portugal.

Monfort, M. C. (2010). Present market situation and prospects of meagre (*Argyrosomus regius*), as an emerging species in Mediterranean aquaculture. Studies and Reviews-General Fisheries Commission for the Mediterranean, (89).

Navarrete-Mier, F., Sanz-Lázaro, C., Marín, A. (2010). Does bivalve mollusc polyculture reduce marine fin fish farming environmental impact?. *Aquaculture*, 306(1), 101-107.

Ning, Z., Liu, S., Zhang, G., Ning, X., Li, R., Jiang, Z., e Zhang, J. (2016). Impacts of integrated multi-trophic aquaculture system on benthic nutrient fluxes: a case study in Sanggou Bay, China. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 221-232.

Nunes, J. P., Ferreira, J. G., Gazeau, F., Lencart-Silva, J., Zhang, X. L., Zhu, M. Y., e Fang, J. G. (2003). A model for sustainable management of shellfish polyculture in coastal bays. *Aquaculture*, 219(1), 257-277.

Peixoto, M. J., Salas-Leitón, E., Brito, F., Pereira, L. F., Svendsen, J. C., Baptista, T., e de Almeida Ozório, R. O. (2016). Effects of dietary *Gracilaria* sp. and *Alaria* sp. supplementation on growth performance, metabolic rates and health in meagre (*Argyrosomus regius*) subjected to pathogen infection. *Journal of Applied Phycology*, 1-15.

Pereira, L. e Correia, F. (2015). Macroalgas Marinhas da Costa Portuguesa – biodiversidade, ecologia e utilizações. Nota de Rodapé Edições.

Piccolo, G., Bovera, F., De Riu, N., Marono, S., Salati, F., Cappuccinelli, R., e Moniello, G. (2008). Effect of two different protein/fat ratios of the diet on meagre (*Argyrosomus regius*) traits. *Italian Journal of Animal Science*, 7(3), 363-371.

Pietros, J. M. & Rice, M. A. (2003). The impacts of aquacultured oysters, *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) on water column nitrogen and sedimentation: results of a mesocosm study. *Aquaculture* 220: 407–422.

Pomeroy, R., Dey, M. M., e Plesha, N. (2014). The social and economic impacts of semi-intensive aquaculture on biodiversity. *Aquaculture Economics & Management*, 18(3), 303-324.

Prista, N.; Costa, J.L.; Costa, M.J. e Jones, C., (2009). Age determination in meagre *Argyrosomus regius*. Relatórios Científicos e Técnicos do IPIMAR, nº49, 54 pp.

- Prista, N. M. G. G. (2014). *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) fishery and ecology in Portuguese waters, with reference to its relationships to other European and African populations. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Rahman, M. M., Nagelkerke, L. A., Verdegem, M. C., Wahab, M. A., e Verreth, J. A. (2008). Relationships among water quality, food resources, fish diet and fish growth in polyculture ponds: A multivariate approach. *Aquaculture*, 275(1), 108-115.
- Ramalho, A., Dinis, M. T., 2010. Portuguese aquaculture: current status and future perspectives. *Aquaculture Europe magazine*, Vol. 35, (3).
- Reid, G. K., Cranford, P. J., Robinson, S. M. C., Filgueira, R., Guyondet, T. (2011). Open water integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): modelling the shellfish component. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 109(2), 3-12.
- Ribeiro, L., Moura, J., Santos, M, Colen, R., Rodrigues V., Bandarra, N., Soares, F., Ramalho, P., Barata, M., Moura, P., Pousão-Ferreira, P., Dias J. 2015. Effect of vegetable based diets on growth, intestinal morphology, activity of intestinal enzymes and haematological stress indicators in meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture*, 447 (1), 116-128.
- Robinson, S. M. C., Martin, J. D., Cooper, J. A., Lander, T. R., Reid, G. K., Powell, F., Griffin, R. (2011). The role of three dimensional habitats in the establishment of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) systems. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 109(2), 23-29.
- Ross, L. G., Telfer, T. C., Falconer, L., Soto, D., e Aguilar-Majarrez, J. (2013). Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. FAO. Rome.
- Sasikumar, G., Viji, C. S. (2015). *Integrated Multi-Trophic Aquaculture Systems (IMTA)*. Central Marine Fisheries Research Institute.
- Serpa. D. 2011. Study of the physical, chemical and biological processes in semi-intensive fishponds: development of a mathematical model as a tool for managing white seabream (*Diplodus sargus*) production. PhD thesis in Marine Science, Universidade do Algarve, Faro.
- Sharma, K. R., Leung, P., Chen, H., e Peterson, A. (1999). Economic efficiency and optimum stocking densities in fish polyculture: an application of data envelopment analysis (DEA) to Chinese fish farms. *Aquaculture*, 180(3), 207-221.

Shpigel, M. (2005). Bivalves as biofilters and valuable byproducts in land-based aquaculture systems. In *The comparative roles of suspension-feeders in ecosystems*. Springer Netherlands pp. 183-197.

Shpigel, M. (2013). Mariculture Systems, Integrated Land-Based. In *Sustainable Food Production* (pp. 1111-1120). Springer New York.

Smith, D. W., Piedrahita, R. H. (1988). The relation between phytoplankton and dissolved oxygen in fish ponds. *Aquaculture*, 68: 249-365.

STAC (Chesapeake Bay Program Scientific and Technical Advisory Committee) (2013). Evaluation of the use of shellfish as a method of nutrient reduction in the Chesapeake Bay. STAC Publ. #13-005, Edgewater, MD. 65 pp.

Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A. H., e Fang, J. G. (2009). Ecological engineering in aquaculture - potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(1), 1-9.

Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey, United States of America, 663 pp.

**8 - Anexo 1: Tabela de racionamento para corvina usada na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (3.6 da metodologia).**

<b>CORVINA</b>	<b>% peso vivo/dia</b>
----------------	------------------------

Tam. Peixe (g)	12 °C	15 °C	18 °C	21 °C	24 °C	26 °C	28 °C
50-100	0,4	1,5	2	3	3,4	3,8	4
100-150	0,4	1,2	1,6	2,4	2,8	3	3,2
150-200	0,4	1,1	1,5	2,2	2,6	2,8	3
200-250	0,4	1	1,4	2	2,4	2,6	2,8
250-300	0,3	0,8	1,1	1,6	2	2	2,4
300-350	0,3	0,8	1,1	1,6	1,8	2	2,2
350-400	0,3	0,8	1,1	1,6	1,8	2	2,2
400-450	0,2	0,8	1,1	1,6	1,8	2	2,2
450-500	0,2	0,8	1	1,6	1,8	2	2

## 9 - Anexo 2: Equações usadas na comparação da produtividade entre tratamentos (3.10 da metodologia)

- Sobrevivência final em percentagem ( $S_{final}$ ):

$$S_{final} = (N_i - N_f) * 100$$

onde o  $N_i$  é o número de indivíduos introduzidos em cada tanque e  $N_f$  o número de indivíduos no final. Este foi obtido pela contagem total dos peixes e ostras após finalização do ensaio.

- Peso médio corvinas ( $PM_{corv}$ ) (grama):

$$PM_{corv} = \sum_1^n P_i / n;$$

em que  $P_i$  é o peso individual (grama) e  $n$  foi de 100 indivíduos

- Peso médio ostras ( $PM_{ost}$ ) (grama):

$$PM_{ost} = (\sum_1^n P/n)/N / n;$$

em que  $P$  é o peso de 50 ostras (grama) de cada saco;  $n$  foi de 50 indivíduos e  $N$  o nº de sacos amostrados em cada tanque, i.e. 5sacos

- Biomassa corvinas ( $B_{corv}$ ) (quilograma):

$$B_{corv} = (N_{corv} * PM_{corv})/1000$$

onde  $N_{corv}$  foi o numero total de corvinas em cada tanque no final da experiência;  $PM_{corv}$  o peso médio das corvinas (grama) e 1000 o factor de conversão de g para kg

- Biomassa ostras ( $B_{ost}$ ) (quilograma):

$$B_{ost} = (N_{ost} * PM_{ost})/1000$$

onde  $N_{ost}$  foi o numero total de ostras em cada tanque no final da experiência  $PM_{ost}$  o peso médio das ostras (grama) e 1000 o factor de conversão de g para kg

- Biomassa total ( $B_{total}$ ) (quilograma):

$$B_{total} = B_{corv} + B_{ost}$$

- Densidade de cultivo das corvinas ( $D_{corv}$ ) (quilograma por metro cúbico):

$$D_{corv} = B_{corv} / V$$

onde  $V$  foi o volume de água dos tanques (750m<sup>3</sup>)

- Densidade de cultivo das ostras ( $D_{ost}$ ) (quilograma por metro cúbico):

$$D_{ost} = B_{ost} / V$$

onde  $V$  foi o volume de água dos tanques (750m<sup>3</sup>)

- Densidade total ( $D_{total}$ ) (quilograma por metro cúbico):

$$D_{total} = D_{corv} + D_{ost}$$

- Produção total ( $P_{total}$ ) (toneladas por ha):

$$P_{total} = (B_{total} \times (10000/A_t)) / 1000,$$

onde a  $A_t$  área dos tanques (500 m<sup>2</sup>), 10000 a área de 1 ha em m<sup>2</sup> e 1000 a redução de quilogramas para toneladas.

- Taxa de crescimento Específico (TCE) (percentagem por dia):

$$TCE = (\ln (P_{final}-P_{inicial})/T) * 100,$$

onde  $P_{final}$  e  $P_{inicial}$  são respetivamente os pesos médios nas amostragens finais e iniciais para corvinas e ostras e T é o tempo de cultivo em dias

- Taxa de Conversão Alimentar (TCA) das corvinas:

$$TCA = R_{for} / (B_{final}-B_{inicial}),$$

onde  $R_{for}$  = Total de ração fornecida no ensaio em kg;  $B_{final}$  = Biomassa no fim do ensaio em kg;  $B_{inicial}$  = Biomassa no início do ensaio em kg

- Taxa de Conversão Alimentar da Matéria Seca da ração ( $TCA_{MSr}$ ):

$$MS_r * TCA,$$

onde  $MS_r$  é a percentagem de matéria seca na ração usada no ensaio (91,7%) e TCA a Taxa de Conversão Alimentar obtida;

- Retenção de Matéria Seca da ração na Biomassa criada ( $MS_{ret}$ ), em %:

$$MS_{org} / TCA_{MSr},$$

onde  $MS_{org}$  é a % de Matéria Seca no organismo (corvina ou ostra);

- Total de ração não retida  $R_{n,ret}$ , Kg:

$$(100-MS_{ret}) * R_{for},$$

onde  $MS_{ret}$  é a retenção de MS da ração na biomassa criada em % e  $R_{for}$  é o total de ração fornecida;

- Taxa de Desperdício Alimentar:

$$R_{n,ret} / (B_{final} - B_{inicial}),$$

onde  $R_{n,ret}$  é o total de ração não retida e  $B_{final}$  e  $B_{inicial}$  são a biomassa final e inicial.

## 10 - Anexo 3: Equações usadas na estimativa da rentabilidade (3.11 da metodologia)

- Ração fornecida por ha ( $R_{\text{forn.ha}}$ ), Toneladas:

$$TCA * P_{\text{total}},$$

onde TCA é a Taxa de Conversão Alimentar e  $P_{\text{total}}$  é a produção total por ha;

- Ração não retida por ha ( $R_{\text{n.ret.ha}}$ ), Toneladas:

$$R_{\text{forn.ha}} * (MS_{\text{n.ret}}),$$

onde  $R_{\text{forn.ha}}$  é a ração fornecida por ha e  $MS_{\text{n.ret}}$  é a percentagem de MS de ração não retida;

- Custos totais da ração, Euros:

$$R_{\text{n.ret.ha}} * \text{€}_r$$

onde  $R_{\text{n.ret.ha}}$  é a ração não retida por ha e  $\text{€}_r$  é o preço em euros por uma tonelada de ração (1000);

- Custos energéticos do arejamento, Euros:

$$T_{\text{arej}} * AR_{\text{kw}} * \text{€}_{\text{kw}} * N^{\circ}\text{dias},$$

onde  $T_{\text{arej}}$  é o tempo de funcionamento dos arejadores (horas por dia),  $AR_{\text{kw}}$  é o consumo em KWh do injetor de ar,  $\text{€}_{\text{kw}}$  é o custo da energia ativa em média tensão para utilizações médias e  $N^{\circ}$  dias é o número de dias do ensaio (205).

- Custos dos juvenis, Euros:

$$N^{\circ}_{\text{juv}} * \text{€}_{\text{juv}},$$

onde  $N^{\circ}_{\text{juv}}$  é o número de corvinas ou ostras e  $\text{€}_{\text{juv}}$  é o preço dos juvenis de corvina ou ostra;

- Total de azoto desperdiçado ( $Az_{\text{n.ret}}$ ), Kg:

$$R_{\text{n.ret.ha}} * (\text{Protração}/100) * (Az_{\text{Prot}} / 100),$$

onde  $R_{\text{n.ret.ha}}$  é a ração não retida por ha em Kg,  $\text{Protração}$  é a percentagem de proteína na ração (40,8%) e  $Az_{\text{Prot}}$  é a percentagem de azoto na proteína (16%).

- Total de fósforo desperdiçado ( $\text{Fosf}_{\text{n.ret}}$ ), Kg:

$$R_{\text{n.ret.ha}} * (\text{Fosfracão} / 100),$$

onde  $\text{Fosfracão}$  é a percentagem de fósforo na ração (3%).

- Custos de azoto desperdiçado ( $\text{€Az}_{n.\text{ret}}$ ), Kg:

$$\text{Az}_{n.\text{ret}} * \text{€}_{\text{azt}},$$

onde  $\text{€}_{\text{azt}}$  é o preço por Kg de azoto.

- Custos de fósforo desperdiçado ( $\text{€Fosf}_{n.\text{ret}}$ ), Kg:

$$\text{Fosf}_{n.\text{ret}} * \text{€}_{\text{fosf}},$$

onde  $\text{€}_{\text{fosf}}$  é o preço por Kg de fósforo.