



UAAlg

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Macroalgas Verdes Produzidas em
Aquacultura na Região Algarvia: Potencial
Terapêutico/Propriedades biológicas**

Fábio de Jesus Carmo Santos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências
Farmacêuticas

Trabalho efetuado sob orientação da Doutora Florbela Soares e co-
orientação da Professora Doutora Maria Graça Miguel

2017



UAAlg

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Macroalgas Verdes Produzidas em
Aquacultura na Região Algarvia: Potencial
Terapêutico/Propriedades biológicas**

Fábio de Jesus Carmo Santos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências
Farmacêuticas

Trabalho efetuado sob orientação da Doutora Florbela Soares e co-
orientação da Professora Doutora Maria Graça Miguel

2017

MACROALGAS VERDES EM AQUACULTURA NA REGIÃO ALGARVIA: POTENCIAL TEREPÊUTICO/PROPRIEDADES BIOLÓGICAS

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam na listagem de referências incluída.

(Assinatura do Autor)

Copyright© Fábio Santos

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o 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

Quero agradecer, primeiramente, aos meus pais por todo o apoio incondicional que me deram durante este longo percurso (e durante toda a minha vida). As palavras de agradecimento não chegam perante tudo o que fazem e fizeram por mim. Obrigado mãe, obrigado pai!

Aos meus restantes familiares, agradeço pelo apoio e reconhecimento ao longo de todo o meu percurso académico.

Um profundo agradecimento à Doutora Florbela Soares e à Professora Doutora Maria Graça Miguel, por terem aceite o meu convite para serem minhas orientadoras e por todo o tempo e apoio despendidos mesmo nos momentos de maior aperto ao longo deste último ano, no desenvolvimento e realização desta tese.

À equipa dos serviços farmacêuticos das Gambelas, agradeço por toda a disponibilidade e ensinamentos que foram realmente importantes para o meu enriquecimento profissional. À equipa da farmácia Rocha, sob orientação da Dra. Isabel, agradeço do fundo do coração toda a disponibilidade, todos os ensinamentos que me transmitiram, bem como o companheirismo e integração na equipa. Saliento um agradecimento especial à Dra. Margarida Sousa, não só pela excelente orientadora que foi, como pela grande pessoa que me deu o prazer de conhecer e de se tornar minha amiga.

Agradeço também à minha namorada, Catarina, por estar sempre a meu lado e nunca me deixar desistir de nada. Agradeço a sua compreensão, preocupação, dedicação e amor para comigo.

Aos meus amigos, sempre preocupados comigo, agradeço todas as horas de alegria que me proporcionaram com o intuito de desanuviar durante este período intensivo e desgastante. Raquel, obrigado pela paciência, pela amizade e por todas as horas dispendidas. A todos os meus amigos, muito obrigado por tudo o que fazem por mim!

A todos vocês, um enorme obrigado! Esta conquista é para vocês!

Resumo

Ao longo dos anos, a população mundial tem vindo a aumentar resultando numa maior procura dos recursos disponíveis. Estima-se que este fenómeno irá continuar e por isso, é importante fazer uma gestão responsável dos recursos disponíveis para ser possível as futuras gerações fazer uso destes. Dada a vasta variedade de seres vivos que se podem encontrar no oceano, este representa uma grande riqueza biológica, que deve ser aproveitada da melhor forma.

As algas marinhas são uma fonte de produção primária e exercem um papel fundamental na estrutura e sustentação dos habitats. A pesquisa de produtos naturais com propriedades farmacológicas tem vindo a crescer, destacando-se a descoberta de moléculas vindas de organismos marinhos.

As macroalgas são facilmente encontradas no oceano, onde crescem naturalmente. As macroalgas são utilizadas em várias indústrias, com destaque para indústria alimentar, cosmética e farmacêutica. Contudo para obter substâncias com benefícios para a saúde estas têm de ser produzidas em quantidades que permitam a rentabilização da sua extracção. O aumento da procura de macroalgas ultrapassou a capacidade de fornecimento dos stocks naturais. Devido a esta necessidade a investigação sobre ciclos de vida destas algas intensificou-se e levou ao desenvolvimento das indústrias de cultivo. A aquacultura tem uma importante atividade na produção de macroalgas, no entanto são ainda poucos os países que se dedicam a esta, sendo um recurso natural pouco explorado nos países europeus. Em Portugal as espécies de macroalgas mais comuns encontradas na região algarvia, e produzidas em aquacultura para fins científicos na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão são a *Ulva rigida*, *Ulva lactuca* e *Chaetomorpha linum*, e embora a investigação relativa à sua ação farmacológica seja escassa, existem alguns aspetos interessantes dos seus extratos e metabolitos isolados. Assim, esta monografia contém informação relativa às propriedades e constituintes presentes nestas macroalgas verdes.

Palavras-chave: Macroalgas, Aquacultura, *Ulva rigida*, *Ulva lactuca*, *Chaetomorpha linum*.

Abstract

Over the years, world population has increased resulting in an increased demand for available resources. It is estimated that this phenomenon will continue and that is why, it is important to make a responsible management of the resources available to be able to future generations to make use of these. Given the wide variety of living beings that can be found in the ocean, this represents a great biological wealth, which must be harnessed in the best way.

Marine algae are a source of primary production and play a fundamental role in the structure and support of habitats. The survey of natural products with pharmacological properties has been growing, especially with the discovery of molecules from marine organisms.

The macroalgae are easily found in the ocean, where they grow naturally. The macroalgae are used in various industries, with emphasis on the food industry, cosmetic and pharmaceutical. However for substances with health benefits, these need to be produced in quantities that allow the profitability of its extraction. The increase in demand of macroalgae has exceeded the capacity of the supply of natural stocks. Due to this need, the research on life cycles of these algae has intensified and led to the development of growth industries. Aquaculture has an important activity in the production of macroalgae, however there are still few countries that dedicate to this, being a natural resource little explored in European countries. In Portugal the species of macroalgae commonly found in the Algarve region, and produced in aquaculture for scientific purposes in the Pilot Plant of pisciculture in Olhão are the *Ulva rigida*, *Ulva lactuca* and *Chaetomorpha linum*, and although the research related to their pharmacological action is scarce, there are some interesting aspects of their extracts and isolated metabolites. Thus, this monograph contains information concerning the properties and constituents present in these green macroalgae.

Keywords: Macroalgae, Aquaculture, *Ulva rigida*, *Ulva lactuca*, *Chaetomorpha linum*.

Índice

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas.....	ix
Lista de abreviaturas e siglas.....	x
1. Introdução.....	1
2. Macroalgas - Caracterização	4
2.1. Macroalgas verdes	6
2.1.1. Género <i>Ulva</i>	6
2.1.2 Género <i>Chaetomorpha</i>	7
2.2 Macroalgas e as suas aplicações	7
3. Produção de macroalgas em aquacultura.....	10
3.1. Produção mundial	10
3.2. Produção nacional.....	15
3.2.1. <i>Ulva rigida</i>	16
3.2.1.1. Caracterização.....	16
3.2.1.2. Constituintes e propriedades.....	17
3.2.2. <i>Ulva lactuca</i>	20
3.2.2.1. Caracterização.....	20
3.2.2.2. Constituintes e propriedades.....	22
3.2.3. <i>Chaetomorpha linum</i>	29
3.2.3.1. Caracterização.....	29
3.2.3.2. Constituintes e propriedades.....	30
4. Conclusão	33
5. Bibliografia	35

Índice de Figuras

Figura 1 – Exemplo de macroalga vermelha- <i>Rhodophyta</i>	5
Figura 2 – Exemplos de macroalgas verdes - <i>Chlorophyta</i>	5
Figura 3 – Exemplo de macroalga castanha - <i>Phaeophyceae</i>	5
Figura 4- Produção mundial dos principais grupos taxonómicos em aquacultura.....	12
Figura 5 – Produção de macroalgas a nível mundial a partir da aquacultura no período de 2003 a 2012, por país/território.....	14
Figura 6 – Fixação da <i>Ulva</i> spp. nos compartimentos de rede para posterior colocação das estruturas tanques na EPPO (Estação Piloto de piscicultura de olhão)	16
Figura 7 – Macroalga verde <i>Ulva rigida</i> produzida em aquacultura, na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).....	17
Figura 8 - Macroalga verde <i>Ulva lactuca</i> produzida em aquacultura, na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).....	21
Figura 9 – Macroalga verde <i>Chaetomorpha linum</i> produzida em aquacultura, na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).....	29

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores da população mundial e das respectivas regiões nos anos 2017, 2030, 2050 e 2100.....	10
Tabela 2 - Valor da produção mundial de aquacultura de animais e plantas aquáticas em 2013.....	12
Tabela 3 – Extratos, constituintes e algumas propriedades da espécie <i>Ulva rigida</i>	20
Tabela 4 – Extratos, constituintes e algumas propriedades da espécie <i>Ulva lactuca</i>	28
Tabela 5 – Extratos, constituintes e algumas propriedades da espécie <i>Chaetomorpha linum</i>	32

Lista de abreviaturas e siglas

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ARN	Ácido Ribonucleico
Cd	Cádmio
Cu	Cobre
DM	Diabetes <i>Mellitus</i>
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
EPPO	Estação Piloto de Piscicultura de Olhão
EU	União Europeia
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Ferro
FTD	Furaltadona
MMC	Mitomicina-C
MN	Micronúcleos
Mn	Manganês
Pb	Chumbo
SCE	Troca de Cromatídeos Irmãos
URE	Extrato Etanólico de <i>Ulva rigida</i>
Zn	Zinco

1. Introdução

O aumento da população mundial ao longo dos anos irá resultar numa maior necessidade a nível de recursos e a nível dos cuidados de saúde prestados a toda a comunidade (United Nations, 2017). Consequentemente, as necessidades alimentares irão sofrer um aumento significativo, não só devido ao aumento da população nos países em desenvolvimento mas também uma maior exigência e ingestão alimentar nos países desenvolvidos.

Desta forma, garantir o fornecimento a nível alimentar e de cuidados de saúde a toda a população representará um desafio global. Assim, surge a importância do conceito de sustentabilidade que, atualmente já não envolve apenas a noção ambiental e social de responder às necessidades das gerações atuais sem comprometer as futuras como também envolve uma vertente económica (Bond & Morrison-Saunders, 2011).

Atualmente, observa-se que muitos dos recursos disponíveis estão a ser explorados de forma abusiva não promovendo assim um desenvolvimento sustentável, enquanto outros recursos não estão a ser aproveitados devidamente e são descartados. Assim, torna-se fundamental explorar de forma controlada os recursos naturais existentes e torná-los úteis para diversos setores, bem como encontrar novas fontes sustentáveis e matérias-primas que respondam às necessidades crescentes da população, tanto a nível alimentar como medicinal.

O oceano surge como um habitat com uma grande riqueza biológica, onde se pode encontrar uma grande variedade de seres vivos, pelo que deve ser aproveitado da melhor forma. As macroalgas são algas marinhas que se podem encontrar numa grande variedade de habitats (Araújo et al., 2016). Estas são organismos conhecidos por apresentarem uma larga diversidade de biomoléculas, com uma grande variedade de propriedades biológicas, tais como: atividade antibacteriana, anti-inflamatória, antiproliferativa, antiviral (Cabrita et al., 2010; Xu et al., 2004), anticoagulante, antifúngica (Mohamed et al., 2012), antineoplásica (Xu et al., 2004), anticancerígena,

anti-hipertensiva, anti-hiperlipidémica e antioxidante (Shalaby, 2011) entre outras potencialidades.

As macroalgas podem assim ser úteis para a saúde, e na procura de novos alimentos de modo a solucionar futuras necessidades. Estas algas têm um grande potencial não só para as indústrias alimentares e farmacêuticas, como também podem ser úteis em indústrias relacionadas como a produção de biocombustíveis, biofertilizantes, cosméticos, têxteis e no tratamento de solos ou efluentes (Cardozo et al., 2007).

Segundo a FAO (2012), alimentar 9 biliões de pessoas no ano de 2050 e fornecer uma alimentação com alta qualidade nutricional, será um desafio para a agricultura e aquacultura mundial. Tendo em conta o desenvolvimento da sustentabilidade, surge a aquacultura que tem crescido mundialmente com uma média anual de 9% desde 1970 até 2010.

O interesse industrial das algas marinhas começou com a aquacultura (FAO, 2014). O desenvolvimento destas técnicas e a sua aplicação, surgiu da necessidade de produzir peixe e pelo facto das macroalgas crescerem naturalmente nos tanques de produção, sendo também utilizadas como fonte de alimento direto para algumas espécies. O desenvolvimento da aquacultura é o caminho para uma produção sustentável dos organismos aquáticos, uma vez que os povos asiáticos os consomem em grandes quantidades, impossíveis de obter através da recolha dos recursos naturais.

Apesar das macroalgas poderem ser recolhidas da natureza, tem-se observado uma crescente produção em aquacultura (McHugh, 2003). Esta é uma importante atividade no que respeita à produção de macroalgas, no entanto são ainda poucos os países que se dedicam a esta produção, sendo um recurso natural pouco explorado nos países europeus, possivelmente devido ao reduzido valor comercial que estas algas ainda apresentam. A exportação de algas em Portugal cresceu 326% em 2015, passando de 234,5 toneladas, em 2014, para 1000 toneladas, em 2015, e representou uma faturação de 2,35 milhões de euros, de acordo com os dados do Instituto

Nacional de Estatística (INE, 2014). Com a potencialidade de crescimento do setor da aquacultura em Portugal, é expectável um aumento na produção das várias espécies incluindo as macroalgas.

Posto isto, pela necessidade de compreender e explorar o potencial farmacológico das algas, esta monografia visa fazê-lo em macroalgas verdes produzidas em aquacultura na região do Algarve, nomeadamente algumas espécies do género *Ulva* e a espécie *Chaetomorpha linum*, que são as que apresentam maior ocorrência nesta região e são produzidas experimentalmente na Estação Piloto de Piscicultura de Olhão (EPPO). A EPPO é um local onde estas se encontram a ser alvo de estudos para determinar os seus constituintes e são utilizadas na biorremediação do meio onde são produzidos os peixes, e ainda são utilizadas para alimentação de ouriços-do-mar.

2. Macroalgas - Caracterização

A zona costeira é um habitat onde uma grande diversidade de organismos marinhos tem atraído muita atenção na procura de compostos bioativos, estes podem ser úteis como novos medicamentos ou produtos alimentares com elevados benefícios para a saúde (Araújo et al., 2016). Esta característica tão importante da costa portuguesa deve ser explorada e aproveitada, uma vez que se podem obter grandes quantidades de biocompostos, com interesse comercial impulsionando a economia nacional.

O aumento do custo de vida e dos cuidados de saúde, assim como a preocupação da população por uma melhor qualidade de vida, faz com que indústrias entre as quais a alimentar e a farmacêutica tenham vindo a desenvolver estudos com vista à obtenção de compostos com atividade biológica e alimentos de baixo custo, que promovam a saúde. As algas marinhas são um exemplo deste tipo de recurso marinho. As macroalgas são macroscópicas facilmente observadas a olho nu e são organismos multicelulares fotoautotróficos (Rout & Kumar, 2015). As macroalgas marinhas constituem um grupo altamente diversificado, que não possui ancestral em comum (Oliveira, 2002). Por esta razão não constituem uma categoria taxonómica definida, sendo a sua classificação baseada em várias propriedades como a pigmentação, natureza química de produtos fotossintéticos de reserva, organização das membranas fotossintéticas e outros critérios morfológicos (Carlsson et al., 2007). De acordo com a sua pigmentação as macroalgas podem ser agrupadas em três grandes filos: *Rhodophyta* (macroalgas vermelhas), *Chlorophyta* (macroalgas verdes) e *Phaeophyceae* (macroalgas castanhas) (Rout & Kumar, 2015). As Figuras 1, 2 e 3 apresentadas abaixo representam respetivamente um exemplo de macroalgas pertencentes aos três grandes filos.

Macroalgas Verdes Produzidas em Aquacultura na Região Algarvia: Potencial Terapêutico/Propriedades biológicas



Figura 1. Exemplo de macroalga vermelha - *Rhodophyta*.



Figura 2. Exemplos de macroalgas verdes - *Chlorophyta*.



Figura 3. Exemplo de macroalga castanha - *Phaeophyceae*.

2.1. Macroalgas verdes

Relativamente às macroalgas verdes são muitas as espécies existentes, no entanto estas são as menos estudadas relativamente à sua composição, quando comparadas com as macroalgas vermelhas (*Rhodophyta*) e castanhas (*Phaeophyta*). Ainda assim, uma grande variedade de compostos já foram relatados como pertencentes às macroalgas verdes, nomeadamente terpenos, compostos polifenólicos e esteróis (Chakraborty et al., 2010a; Chakraborty et al., 2010b). A composição química destas macroalgas pode sofrer variações dependendo da localização geográfica, das estações do ano, e de certos fatores ambientais como a temperatura da água, a salinidade, a luz, e a disponibilidade de nutrientes (Silva et al., 2013).

2.1.1. Género *Ulva*

O género *Ulva* pertence à Família *Ulvaceae*, Ordem *Ulvales*, Classe *Ulvophyceae* e Filo *Chlorophyta*, e foi identificado pela primeira vez por Linnaeus em 1753 (Kong et al., 2011). Desde então, muitos dos taxonomistas envolvidos na identificação de espécies de *Ulva* (Wolf et al., 2012) consideraram que estas são difíceis de classificar devido à plasticidade morfológica expressa por muitos membros, e também devido ao facto de haver poucos caracteres confiáveis disponíveis para uma diferenciação das espécies. A sua morfologia pode ser fortemente influenciada pelas condições ambientais, idade e estilo de vida, dificultando assim a identificação das espécies pelas características morfológicas isoladas (Heesch et al., 2009; Silva et al., 2013; Yaich et al., 2011).

As algas verdes pertencentes ao género *Ulva* são um grupo de algas que se encontram facilmente ao longo das costas nos oceanos em todo o mundo e têm uma composição química muito interessante, que faz com que seja importante para a promoção da saúde e seja um grande atrativo comercial (Rodríguez et al., 2011; Satpati & Pal, 2011).

Os organismos pertencentes ao género *Ulva* têm potencial para um crescimento rápido e uma grande proliferação (Heech et al., 2009). Estes podem ser encontrados numa grande variedade de habitats e ambientes, nomeadamente em águas salgadas ou águas doces (Silva et al., 2013). A capacidade destes organismos em tolerar uma vasta gama de condições torna-os candidatos ideais para a dispersão mediada por humanos, uma vez que estes podem facilmente encontrar-se incrustados em navios. Deste modo, o transporte marítimo continua a ser um vetor para a proliferação destas macroalgas por todo o mundo (Heesch et al., 2009; Schaffelke et al., 2006).

2.1.2 Género *Chaetomorpha*

O género *Chaetomorpha* pertence à Família *Cladophoraceae*, Ordem *Cladophorales*, Classe *Ulvophyceae* e Filo *Chlorophyta*, e foi identificado pela primeira vez por Kützing em 1845. As espécies características deste género são cosmopolitas, ocorrendo em águas marinhas e salobras mas raramente em água doce, são também muito comuns em aquários de água salgada, sendo utilizadas para a eliminação de nutrientes, especialmente nitratos. Os filamentos característicos das espécies deste género são robustos, unisseriados e não ramificados. O crescimento pode ser difuso ou generalizado, e estas surgem normalmente no fundo do mar, formando extensas camadas de filamentos entrelaçados, embora possam também aparecer muitas vezes anexadas a rochas.

As espécies pertencentes a este género apresentam células de grande tamanho e são facilmente cultivadas tornando este género interessante para estudos morfológicos e fisiológicos e também para várias indústrias, nomeadamente a farmacêutica e cosmética (Kützing, 1845).

2.2 Macroalgas e as suas aplicações

De acordo com Rout & Kumar, (2015) as macroalgas são dos recursos vivos mais importantes que se pode encontrar no oceano. Sendo plantas de estrutura única e com uma ampla composição bioquímica, as macroalgas devem ser exploradas devido

às suas propriedades multifuncionais. Assim, estas são muito utilizadas em várias indústrias entre as quais a alimentar, cosmética e farmacêutica sendo ainda utilizadas como fertilizante e como aditivo na alimentação animal (McHugh, 2003; Yaich et al., 2011).

Dentro da indústria alimentar as macroalgas são muito utilizadas em países asiáticos, sobretudo em sushi, como temperos, e são também utilizadas na confeção de alimentos como espessantes e gelificantes (Yaich et al., 2011).

As macroalgas apresentam benefícios para a saúde pois são uma fonte rica de componentes valiosos entre os quais ficocoloides como ágar, carragenina ou alginato, outros polissacáridos, polifenóis, carotenoides, flavonoides, fibras dietéticas, vitaminas nomeadamente A, B1, B2, B6, C e E e alguns minerais, tais como cálcio, potássio, magnésio, ferro (Fe) e iodo (McHugh, 2003; Rout & Kumar, 2015). Apresentam ainda na sua constituição proteínas com aminoácidos essenciais e baixo teor em gorduras (McHugh, 2003).

Entre os compostos bioativos presentes nas macroalgas os polissacáridos sulfatados presentes na matriz da parede celular têm sido referidos como compostos com capacidade para controlar trombose (Quinderé et al., 2014; Rodríguez et al., 2011), nocicepção (Araújo et al., 2011; Assreuy et al., 2008) e inflamação (Batista et al., 2014; Quinderé et al., 2013; Quinderé et al., 2015). Estruturalmente, estes polissacáridos sulfatados variam de espécie para espécie, e por vezes em diferentes partes da mesma macroalga (Batista et al., 2014; Farias et al., 2000; Wang et al., 2014). A complexidade na estrutura destes compostos é devido a muitas possibilidades de ligações entre os monossacáridos e a distribuição dos grupos sulfato, são estas características intrínsecas que os tornam importantes biomateriais industriais para muitos alimentos e aplicações farmacêuticas em todo o mundo (Campo et al., 2009).

Os ficocoloides como o ágar, carragenina e alginato são polissacáridos solúveis em água que são usados para aumentar a viscosidade das soluções aquosas, para formar e para estabilizar alguns produtos usados na indústria farmacêutica e alimentar, por exemplo nos gelados impedem a formação de cristais de gelo para que

o gelado possa manter uma textura suave (McHugh, 2003; Mohamed et al., 2012; Roohinejad et al., 2016).

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento dos estudos relativos a aplicações de macroalgas como resultado da identificação dos constituintes acima referidos e por elas sintetizadas, conferindo-lhes diversas atividades produzidas por estes metabolitos, nomeadamente: antibacteriana, anti-inflamatória, antiproliferativa, antiviral (Cabrita et al., 2010; Xu et al., 2004), anticoagulante, antifúngica (Mohamed et al., 2012), antineoplásica (Xu et al., 2004), anticancerígena, anti-hipertensiva, anti-hiperlipidémica e antioxidante (Shalaby, 2011).

Sendo cada vez mais difícil o tratamento de infeções bacterianas pela capacidade das bactérias desenvolverem resistências contra os agentes antibacterianos é importante a contínua descoberta e desenvolvimento de novos compostos antibacterianos para assegurar um futuro sustentável do ponto de vista da saúde pública (Palma, 2011). Os antibióticos foram considerados uma das melhores descobertas a nível científico, mas a sua popularidade rapidamente conduziu a um consumo excessivo e têm vindo a perder eficácia no tratamento de infeções bacterianas. Assim, as macroalgas podem ter um contributo benéfico na medida que muitas delas apresentam propriedades antibacterianas.

Existe também um grande interesse a nível mundial em encontrar novos e seguros antioxidantes a partir de fontes naturais, de modo a evitar a deterioração oxidativa dos alimentos e para minimizar danos oxidativos para as células do nosso organismo. Segundo evidências experimentais e epidemiológicas é sugerido que radicais livres resultantes da oxidação das células provocam danos nos tecidos e patologias como doenças cardiovasculares, neurodegenerativas e cancro. No entanto, a ausência de danos estruturais nas macroalgas leva a considerar que estes organismos são capazes de gerar os compostos necessários para se protegerem contra a oxidação. Assim, as macroalgas podem ser consideradas como uma fonte importante de compostos antioxidantes que podem ser adequados também para proteger o nosso organismo contra as espécies reactivas resultantes da oxidação provocado pelo nosso organismo ou induzido por fatores externos (Shalaby, 2011).

3. Produção de macroalgas em aquacultura

3.1. Produção mundial

Segundo o relatório World Population Prospects (2017), publicado pela Organização das Nações Unidas, a população humana tem vindo a aumentar e estima-se que irá continuar a aumentar nos próximos anos, embora mais devagar do que no passado recente. Há dez anos, a população global crescia 1,24 por cento por ano. Atualmente cresce 1,10 por cento por ano, produzindo mais 83 milhões de pessoas por ano. Prevê-se assim que a população mundial aumente um pouco mais de um bilião de pessoas nos próximos 13 anos, atingindo 8,6 biliões em 2030 e aumentando para mais de 9,8 biliões em 2050 e 11,2 biliões em 2100. A estimativa, em milhões, da população nos anos 2017, 2030, 2050 e 2100, em todo o mundo e respetivas regiões, encontram-se representadas na Tabela 1. Consequentemente, muitos dos recursos, para além de serem mal aproveitados e descartados, são também consumidos mais rapidamente do que a sua capacidade de produção, podendo alguns destes que ainda estão disponíveis acabar por desaparecer a médio e longo prazo.

Tabela 1. Valores da população mundial e das respetivas regiões nos anos 2017, 2030, 2050 e 2100. Adaptado de: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017).

Região	População (milhões)			
	2017	2030	2050	2100
Mundo	7550	8551	9772	11184
África	1256	1704	2528	4468
Ásia	4504	4947	5257	4780
Europa	742	739	716	653
América Latina e Caraíbas	646	718	780	712

**Macroalgas Verdes Produzidas em Aquacultura na Região Algarvia: Potencial
Terapêutico/Propriedades biológicas**

América do Norte	361	395	435	499
Oceânia	41	48	57	72

Deste modo, para que seja possível às futuras gerações habitar no planeta, a prioridade deverá passar por alcançar uma relação sustentável e equilibrada entre a capacidade de produção e o consumo destes recursos. Para este fim, é necessário controlar o crescimento da população, educar no que respeita ao uso excessivo destes recursos, desenvolver fontes sustentáveis, permitir a regeneração dos nutrientes e de outros materiais e ainda requalificar os habitats degradados (Marques & Jeffman, 2003).

A aquacultura tem sido a indústria que mais tem refletido um rápido crescimento pelo significativo aumento da procura de pescado no mundo (Cao et al., 2007). No ano de 2013, no que diz respeito às espécies produzidas em aquacultura por grupos taxonómicos, os peixes representaram quase metade da produção mundial com 47 071 mil toneladas, seguindo-se as plantas aquáticas com 26 978 mil toneladas, os moluscos atingindo 15 514 mil toneladas, e em quarto os crustáceos com 6 712 mil toneladas conforme é apresentado na Figura 4 (FAO, 2016a). Por outro lado, no que diz respeito ao meio aquático, as águas marinhas e doces representam 46.9% e 46.6%, respetivamente, do total da produção, enquanto o restante corresponde a águas salobras (MAGRAMA, 2014). Relativamente ao valor monetário, gerado pela produção de cada um destes grupos, as posições alteram-se conforme é possível observar na Tabela 2.

Produção mundial por grupos taxonómicos

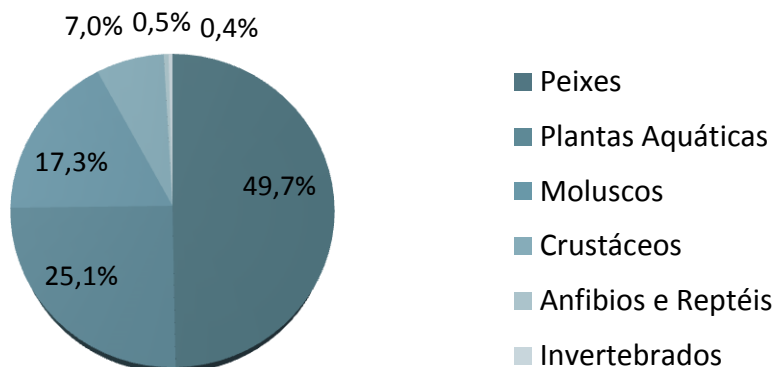


Figura 4. Produção mundial dos principais grupos taxonómicos em aquacultura (fonte:MAGRAMA, 2014).

Tabela 2. Valor da produção mundial de aquacultura de animais e plantas aquáticas em 2013 (Unidad. milhões de USD) (fonte: FAO, 2016b).

	Aquacultura costeira	Aquacultura marinha	Subtotal
Peixes	67 834	26 229	94 062
Crustáceos	14 237	17 616	31 852
Moluscos	227	20 521	20 748
Outros animais aquáticos	2 560	1 125	3 685
Total Animais aquáticos	84 857	65 490	150 348
Plantas aquáticas	46	6 655	6 701
TOTAL Aquacultura	84 904	72 145	157 049

As macroalgas podem ser recolhidas da natureza, mas são cada vez mais produzidas em aquacultura (McHugh, 2003). A cultura de algas não tem sido atrativa em muitos países e a última década não foi fácil para esta indústria. Os custos da sua produção têm vindo a aumentar, principalmente os energéticos e químicos (Porse &

Bixler, 2010), e os seus produtos tem um valor relativamente baixo. No entanto, ao combinar diferentes espécies nos sistemas de aquacultura, poderá fornecer um maior lucro e ter vantagens ecológicas concomitantes (Fang et al., 2016).

Apesar do valor económico das macroalgas marinhas ser relativamente baixo, mas existir um grande potencial para a sua produção, a caracterização enquanto matéria-prima para extração de produtos tem vindo a ganhar cada vez mais destaque. As macroalgas produzidas em aquacultura utilizadas como matéria-prima incluem uma grande capacidade de sintetizar e armazenar grandes quantidades de lípidos, possuem elevadas taxas de crescimento e uma grande produtividade durante todo o ano. Estas não necessitam de uma grande quantidade e qualidade de água, podendo a sua produção ser feita numa grande variedade de fontes de águas residuais, sem necessidade de recorrer a pesticidas e herbicidas para o seu crescimento (Fonseca, 2016). É necessário investir no desenvolvimento e aperfeiçoamento dos sistemas de produção em escala industrial, a fim de tornar as macroalgas e os produtos derivados destas comercialmente viáveis e desenvolver mercados específicos para os mesmos (Fonseca, 2016).

A aquacultura de macroalgas marinhas tem vindo a desenvolver-se à medida que se procuram soluções para problemas de sustentabilidade ambiental, incluindo a gestão das zonas costeiras onde estas surgem em grande escala e a eliminação de efluentes das atividades de aquacultura, podendo reduzir o impacto das atividades agrícolas nas águas costeiras, de modo a que a aquacultura e a produção de macroalgas seja uma atividade ecossustentável. Algumas macroalgas têm a capacidade de absorver sais de fósforo e azoto, tendo a capacidade de reduzir fortemente concentrações de sais nos efluentes de peixes, onde geralmente são muito altas e quando descarregados nas águas costeiras podem causar eutrofização assim como outros acontecimentos indesejáveis (Hernández et al., 2002; McHugh, 2003). Além disso, a biomassa das macroalgas resultante do processo de biorremediação pode ser utilizada na preparação de alimentos inovadores (Valente et al., 2006), e medicamentos (Cecere et al., 2010; Neori, 2009).

A maior parte das algas produzidas em todo o mundo provêm da aquacultura e segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2014) as macroalgas vermelhas, castanhas e verdes, no período de 2003 a 2012 e ainda que a produção de algas verdes tenha sido mínima, tiveram uma produção total cerca de 96% (23,8 milhões de toneladas- peso húmido) a partir da aquacultura. A China é o principal produtor e fornecedor de macroalgas em todo o mundo, seguido da Indonésia que é o segundo maior produtor, ultrapassando assim em 2006 as Filipinas. Os valores de produção mundial de macroalgas em toneladas ao longo dos anos (2003 a 2012) por país/território encontram-se representados na Figura 5.

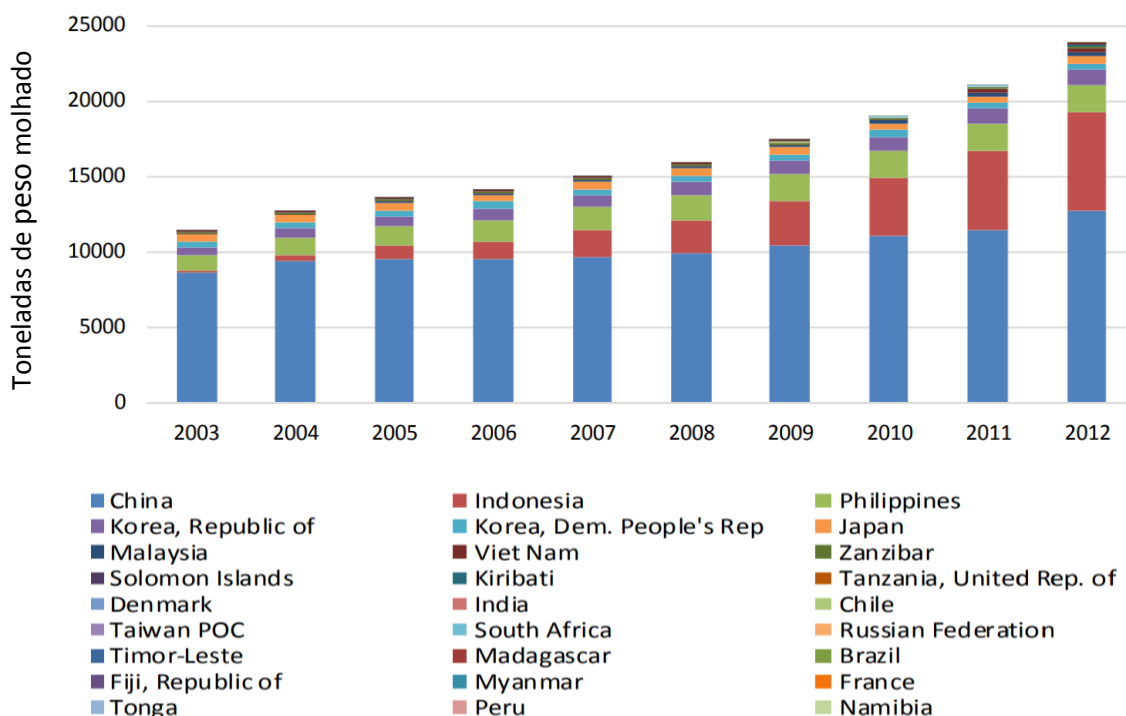


Figura 5. Produção de macroalgas a nível mundial a partir da aquacultura no período de 2003 a 2012, por país/território. Adaptado da FAO (2014).

As espécies de macroalgas mais produzidas em todo o mundo são: *Saccharina sp.*, *Laminaria sp.*, *Porphyra sp.*, *Gracilaria sp.*, *Eucheuma sp.* e *Undaria sp.* representando 98,9% da produção mundial (FAO, 2012).

3.2. Produção nacional

São escassas as espécies de macroalgas produzidas em Portugal, nomeadamente as espécies *Pterocladia capilacea* (Patarra et al., 2011) e *Gelidium sesquipedale* (Santos et al., 2003). No entanto, as espécies mais comuns nas aquaculturas da região algarvia pertencem ao género *Ulva* e à espécie *Chaetomorpha linum*. Muito embora a investigação relativa à sua ação farmacológica seja escassa, existem alguns aspetos interessantes dos seus extratos e metabolitos isolados (Rodríguez et al., 2011). Em Portugal a produção de macroalgas surge como uma atividade onde diversas espécies de macroalgas crescem naturalmente nos tanques de produção de peixes. No entanto, estas são extraídas regularmente sem qualquer aproveitamento.

Na EPPO têm sido efectuados diversos ensaios onde se avalia o crescimento das macroalgas verdes (*Ulva rigida*, *Ulva lactuca* e *Chaetomorpha linum*) para avaliação da biomassa produzida em tanques de produção de peixes (cultura integrada). Na Figura 6 encontra-se representada a fase inicial da produção de macroalgas, na qual consiste a fixação de uma espécie nos compartimentos de rede, para serem colocadas posteriormente nos tanques de produção. Foi verificado que as taxas de crescimento das macroalgas aumentam normalmente com a disponibilidade de nutrientes e temperatura. Vários fatores, como a luz, disponibilidade de nutrientes, temperatura da água, salinidade, densidade e predação podem regular o crescimento das macroalgas (Yu et al., 2016).

A produção integrada de macroalgas com peixes e bivalves tem sido provada como vantajosa. Segundo Rocha et al. (2009) as macroalgas desenvolvem-se melhor quando integradas em produção com peixes, para além de promoverem uma melhor qualidade da água por absorção de azoto, amónia e fósforo. De acordo com Jones et al. (2001), a qualidade da água pode ser melhorada combinando ostras e macroalgas no mesmo tanque de produção. No entanto, se certos parâmetros, como a temperatura, o fluxo de água e a disponibilidade de luz, não forem os mais apropriados para o crescimento das macroalgas, pode haver uma maior diminuição da biomassa comparativamente àquela que é produzida.



Figura 6. Fixação da *Ulva* spp. nos compartimentos de rede para posterior colocação das estruturas tanques na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).

3.2.1. *Ulva rigida*

3.2.1.1. Caracterização

A *U. rigida*, representada na Figura 7, é uma macroalga verde brilhante pertencente ao filo *Chlorophyta*, ordem *Ulvales* e género *Ulva*. Esta apresenta várias formas de crescimento, podendo atingir até 10 cm de altura. O tamanho e a forma das lâminas que a constituem são altamente variáveis, podendo as lâminas ser planas ou irregulares, e às vezes apresentarem pequenas perfurações (Agardh, 1823). Já foram realizados alguns estudos relativos aos seus constituintes e propriedades, e verificou-se que esta macroalga verde pode ter bastante interesse e um grande impacto sobretudo devido aos benefícios que pode trazer para a saúde.



Figura 7 – Macroalga verde *Ulva rigida* produzida em aquacultura, na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).

3.2.1.2. Constituintes e propriedades

Num estudo realizado por Roussis et al. (2000) foi analisado a libertação de metabolitos voláteis produzidos por *U. rigida*. A análise foi efetuada em condições naturais na presença de luz e no escuro, e após a morte biológica da planta. Verificou-se então que metabolitos oxigenados principalmente aldeídos e álcoois são os constituintes libertados a partir desta macroalga para a atmosfera, sendo ainda libertados hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos em quantidades significativas. Quantidades vestigiais de compostos halogenados e sulfatados foram também detetados (Medeiros et al., 1999; Silva et al., 2013).

Num estudo realizado foi ainda obtido o extrato metanólico, assim como um extrato obtido com éter dietílico a partir da *U. rigida*. Estes mostraram possuir atividade antimicrobiana quando testados contra algumas bactérias (*Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, e *Escherichia coli*), sendo o extrato éter dietílico o que apresentou uma atividade mais forte e contra um maior número de bactérias (Tüney et al., 2006). A partir do extrato

metanólico desta espécie foi isolado ácido gálico, dehidrocolesterol e isofucoesterol (Yildiz et al., 2012).

Verificou-se que o extrato metanólico da *U. rigida* possui uma marcante atividade antipirética quando comparada ao paracetamol padrão, proporcionando atividades antipiréticas mais elevadas dependendo da dose. Doses como 200 mg/kg e 40 mg/kg conseguiram reduzir a temperatura corporal até 4 h após a sua administração em ratos albinos (Rout & Kumar, 2015).

Num estudo realizado por Celikler et al. (2009), foi avaliado o potencial efeito genotóxico/antigenotóxico do extrato etanólico de *Ulva rigida* (URE) em ratos com diabetes *mellitus* (DM), assim como o seu efeito na redução dos níveis de glicemia e o potencial antioxidante.

Em 30 dias verificou-se que o tratamento com o URE em ratos diabéticos provocou um aumento dos níveis de insulina assim como a diminuição dos níveis de glucose no sangue, pelo que os possíveis mecanismos pelo qual a *U. rigida* exerce a sua ação anti-hiperglicémica em ratos diabéticos são devido à possível regeneração das células beta nas ilhotas de Langerhans do pâncreas e/ou devido a esta potenciar a libertação de insulina (Celikler et al., 2009).

A avaliação da genotoxicidade em ratos foi feita com base na análise de micronúcleos (MN) (técnica citogenética utilizada para mostrar a ocorrência de mutações a nível cromossómico, causada pela fragmentação do cromossoma) e os resultados verificados foram que o tratamento com o URE não induz a formação de MN e tem pouco ou nenhum efeito supressor da medula óssea nos primeiros dias, no entanto, durante 30 dias de tratamento apresenta um efeito relativamente supressor. Estes resultados indicam assim a ausência de qualquer efeito genotóxico, e que apresenta pouca atividade citotóxica causada pelo extrato apenas para o tratamento a longo prazo, sendo que este é também eficaz na redução do dano cromossómico induzido pela DM.

O URE mostrou também uma notável atividade antioxidante devido ao seu alto conteúdo polifenólico, e que pode ter efeitos positivos sobre doenças relacionados

com o *stress* oxidativo (Tas et al., 2005; Urquiaga & Leighton, 2000). Assim, os componentes fenólicos no extrato de *U. rigida* podem desempenhar um papel importante na atividade antígeno-tóxica referida (Celikler et al., 2009).

Esta espécie mostrou ainda possuir efeitos anticlastogénicos/antígeno-tóxicos e quimio-preventivos na mutagenicidade em culturas de linfócitos humanos *in vitro* induzida por mitomicina-C (MMC), um antimetabolito que atua a nível celular, bloqueando a replicação de Ácido Desoxirribonucleico (ADN) e Ácido Ribonucleico (ARN), inibindo a síntese proteica (Celikler et al., 2008).

Verificou-se em ensaios com diversas concentrações (10, 20 e 40 µg/mL) do URE, que não tiveram atividade mutagénica na cultura de células de linfócitos humanos e que as três doses de URE diminuíram o número de aberração cromossómica, a troca de material genético entre dois cromátídeos irmãos (SCE) e MN quando comparadas com a cultura tratada com MMC (Celikler et al., 2008).

As frequências de SCE tratadas com MMC e/ou URE mostraram que as SCE diminuíram significativamente para as três doses de URE utilizadas e induzidas pela MMC quando comparadas com o controlo de MMC. Os resultados do teste MN para a culturas tratadas com URE na presença e na ausência de MMC demonstraram que todas as doses de URE não afetaram a formação de MN, no entanto os resultados deste teste indicaram haver atividades clastogénicas causadas pela mutagenicidade da MMC mas, no entanto, houve uma redução desta atividade quando as três doses de URE foram aplicadas em combinação com MMC. O uso de protetores de quimioterapia representa uma estratégia para melhorar o índice terapêutico em quimioterapia e o URE mostrou ter importância e que pode ser útil em casos de patologias humanas (Celikler et al., 2008).

As propriedades relativas à espécie *U. rigida* e aos seus extratos/constituintes referidas ao longo do texto, encontram-se apresentadas abaixo na Tabela 3.

Tabela 3 – Extratos, constituintes e propriedades da espécie *Ulva rigida*.

Extratos/Constituintes	Propriedades	Referências
Metabolitos oxigenados- Aldeídos		Roussis et al. 2000
Metabolitos oxigenados- Álcoois		Roussis et al. 2000
Hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos		Roussis et al. 2000
Halogenados e Sulfatados		Roussis et al. 2000
Extrato metanólico (Ácido Gálgico, Dehidrocolesterol, Isofucosterol)	Antimicrobiana, Antipirética	Rout & Kumar, 2015; Tüney et al.,2006; Yildiz et al. 2012
Extrato etanólico (polifenólico)	Antigenotóxica, Anti-hiperglicémica, Antioxidante, Antimutagénica	Celikler et al. 2009; Celikler et al. 2008; Tas et al. 2005; Urquiaga & Leighton, 2000
Éter dietílico	Antimicrobiana	Tüney et al. 2006

3.2.2. *Ulva lactuca*

3.2.2.1. Caracterização

A *U. lactuca*, representada na Figura 8, conhecida também por alface-do-mar, pertence ao género *Ulva*, ordem *Ulvales* e filo *Chlorophyta*, e é das macroalgas verdes mais utilizadas em todo mundo (Linnaeus, 1753). Estudos já realizados demonstraram que esta macroalga apresenta alguns constituintes com propriedades interessantes e que pode ser muito útil em várias indústrias, nomeadamente na indústria farmacêutica e alimentar.



Figura 8 – Macroalga verde *Ulva lactuca* produzida em aquacultura, na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).

A sua cor pode variar de verde amarelado claro a um verde mais escuro mas o mais comum é um verde vivo quando esta se apresenta dentro da água. Quando exposta na maré baixa ou quando lavada na praia geralmente é mais escura. Esta espécie de *Ulva* pode crescer até um diâmetro de 20 a 30 cm, embora frequentemente seja muito menor e tenha um aspeto geral redondo parecendo mesmo uma alface, as suas folhas crescem com uma lâmina única, com as bordas ligeiramente irregulares, e muitas vezes rasgadas, podendo haver vários pequenos orifícios e perfurações espalhadas por todo o lado (Linnaeus, 1753).

A *U. lactuca* pode ser encontrada numa grande variedade de habitats, e está presente durante todo o ano, sendo mais abundante no verão e no outono. Esta espécie cresce abundantemente em zonas ricas em nutrientes que sobre certas condições pode levar à formação de flores maciças que se espalham por grandes áreas (Araújo et al., 2016).

3.2.2.2. Constituintes e propriedades

Esta macroalga verde tem uma excelente composição nutricional que a torna uma ótima alga para ser utilizada na alimentação humana como um alimento saudável. Esta geralmente apresenta elevados níveis de proteína, elevados níveis de fibras, baixo teor de lípidos totais e níveis relativamente elevados de aminoácidos essenciais, constituindo assim uma boa fonte alternativa de aminoácidos e de alguns ácidos gordos polinsaturados essenciais, tais como o ácido oleico, linoleico e linolénico, vitaminas e minerais, especialmente o Fe (Margret et al., 2009; Tabarsa et al., 2012; Toskas et al., 2012; Yaich et al., 2011). O componente mais abundante observado nesta alga foi a fibra alimentar total que representa 54,9% do seu peso seco, sendo 20,53% correspondente a fibras alimentares solúveis e 34,37% a fibras alimentares insolúveis (Yaich et al., 2011).

O teor proteico encontrado foi relativamente alto, 8,46% do peso seco da alga (Fleurence, 1999). O teor proteico desta alga foi notavelmente superior ao da mesma espécie encontrado noutras regiões (Portugal et al., 1983). Estas variações no teor de proteínas podem ser atribuídas a diferenças de espécies e períodos sazonais (Fleurence, 1999). O conteúdo lipídico obtido foi de 7,87% do peso seco da alga, variações neste valor podem ser atribuídas a fatores como o clima, o local onde a macroalga se desenvolve (Ortiz et al., 2006). As proteínas desta alga contêm um elevado nível de aminoácidos, especialmente aminoácidos essenciais como valina, leucina, lisina e treonina. Os aminoácidos não essenciais, como o ácido aspártico e glutâmico, constituem uma quantidade substancial dos aminoácidos totais (26% do teor total de aminoácidos) e são os responsáveis pelo sabor das algas marinhas.

A composição lipídica insolúvel foi de 31,29% do peso seco desta macroalga e mostrou que a hemicelulose (20,6%) foi a fração mais abundante, seguida pela celulose (9,13%) e lignina (1,56%). Através de amostras desta alga em pó verificou-se a existência de diferentes tipos de açúcares, como a glicose, ramnose, xilose, galactose, manose e arabinose. A glicose foi o composto mais abundante nesta alga pois originou-se da hemicelulose e da celulose e a ausência de frutose confirmou a ausência de sacarose (Yaich et al., 2011).

Relativamente à composição de ácidos gordos do óleo da *U. lactuca* as porções saturadas e polinsaturadas representaram 68,97% e 6,73% dos ácidos gordos totais, respetivamente, e verificou-se assim que o ácido gordo mais abundante foi o ácido palmítico. O teor de ácidos gordos monoinsaturados representou 24,32% dos ácidos gordos totais e os principais ácidos monoinsaturados presentes na amostra de *U. lactuca* foram oleico, palmitoleico e eicosenóico. As variações nos teores de ácidos gordos são atribuíveis a diferenças ambientais e genéticas (Ortiz et al., 2006).

Foram ainda determinados diferentes elementos minerais e observou-se que a *U. lactuca* continha quantidades significativas de elementos minerais essenciais, o magnésio foi o elemento mais abundante seguido de cálcio, potássio, sódio e fósforo (Yaich et al., 2011).

O alto teor de minerais para esta alga é devido aos elementos nutritivos que se encontram no meio onde esta se insere (Hassine et al., 2010). Entre esses elementos, os metais pesados foram considerados como uma das principais causas da poluição do meio ambiente dada a sua toxicidade, a sua persistência e o seu potencial de bioacumulação (Dauvalter & Rognerud, 2001). A composição da *U. lactuca* em metais pesados tais como o Fe, zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb), cobre (Cu) e cádmio (Cd) foi analisada e verificou-se que o Fe foi o metal pesado mais abundante (41 mg / 100 g de peso seco) e que esse valor estava em conformidade com o obtido noutros estudos para esta espécie. A quantidade de Zn foi de 6,8 mg / 100 g de peso seco e dos restantes elementos foram Mn 1,3 mg / 100 g de peso seco, Pb 1,26 mg / 100 g de peso seco, Cu 0,8 mg / 100 g de peso seco e Cd 0,12 mg / 100 g de peso seco. A bioacumulação destes metais na parede celular da alga depende de fatores bióticos, como espécies, idade, estado fisiológico e fatores abióticos, como o grau de poluição, salinidade, pH, temperatura e estação do ano (Kaimoussi et al., 2004).

U. lactuca desenvolve-se bem em áreas poluídas como os esgotos, pois é uma espécie oportunista e funciona como um bom biofiltro pois é boa na remoção de nutrientes dos efluentes de esgotos, da indústria e dos tanques de produção de peixes (Neori et al., 2003). Devido a esta característica, alguns investigadores usam-na como indicadores de poluição devido à sua capacidade de acumulação quando crescem em

águas altamente poluídas (Lahaye, 1998; Largo et al., 2004; Wolf et al., 2012). Esta capacidade oportunista e estas características fazem com que esta seja importante na reciclagem de nutrientes dos sistemas de aquacultura e de águas urbanas (Silva et al., 2013).

Num estudo realizado por Abirami & Kowsalya, (2011), foram estudados os potenciais nutricionais e nutracêuticos da *U. lactuca* e verificou-se que esta continha uma concentração de metais pesados dentro do valor admitido como critério de qualidade para ser uma alga comestível, que possuía uma fonte rica em vitaminas antioxidantes, nomeadamente vitamina C, carotenoides totais, betacaroteno e polifenóis e nutrientes como polissacáridos onde se incluem as gomas, mucilagens e amido, proteínas e quinonas. Os autores verificaram ainda que apresentava atividade antibacteriana contra várias estirpes de bactérias, como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus*, *Klebsiella pneumoniae* e *Salmonella typhimurium*.

Um dos principais polissacáridos encontrados na parede celular das algas verdes é o ulvano, cujos principais constituintes são a ramnose, ácido glucorónico, xilose, glucose, ácido idurónico, sulfato e pequenos vestígios de galactose, e representa 8 a 29% do peso seco destas macroalgas (Boopathy & Kathiresane, 2010; Lahaye, 1998; Lahaye & Axelos, 1993; Lahaye et al., 1998; Lahaye et al., 1999; Quemener et al., 1997; Ray & Lahaye, 1995; Robic et al., 2009; Stengel et al., 2011; Wijesekara et al., 2011). Este polissacárido sulfatado complexo tem assim um potencial interesse para as indústrias alimentar, farmacêutica, cosmética e agrícola (Alves et al., 2012; Costa et al., 2010; Lahaye & Robic, 2007; Stengel et al., 2011; Wijesekara et al., 2011) e dada a sua composição e estrutura representa uma potencial fonte como biopolímero funcional tendo uma grande utilização como biomaterial na engenharia de tecidos em medicina regenerativa. Este polissacárido sulfatado pode ainda possuir importantes atividades biológicas, como anticoagulantes, antivirais, antioxidantes, anti-inflamatórios (Costa et al., 2010) e antiproliferativo (Mohamed et al., 2012).

A atividade do ulvano em cosmética, está relacionada com os componentes presentes na matriz extracelular da pele e envolvidos no processo de envelhecimento

da pele, duas biomoléculas têm grande interesse, o colagénio e o ácido hialurónico, cuja qualidade e quantidade diminuem com o avançar da idade. O ácido hialurónico é sintetizado principalmente por fibroblastos e queratinócitos e desempenha um importante papel biológico na pele sobretudo na derme (Stern & Maibach, 2008). Uma diminuição dependente da idade no conteúdo de ácido hialurónico foi identificada como um dos principais fatores responsáveis pela aparência física da pele envelhecida (Ghersetich et al., 1994; Longas et al., 1987).

Assim, segundo um estudo realizado por Adrien et al. (2016) foi possível avaliar o efeito de dois tipos de ulvano sobre a proliferação de fibroblastos dérmicos humanos e a produção de colagénio e ácido hialurónico. Os dados obtidos demonstraram que o ulvan-01 reduziu a taxa de proliferação de fibroblastos enquanto o ulvan-dep (ulvano de baixo peso molecular) não teve efeito significativo, que houve um aumento muito significativo na quantidade total de ácido hialurónico produzido e libertado pelos fibroblastos e que ambos os extratos não tiveram nenhuma alteração significativa em relação à produção de colagénio. Outra característica interessante foi a produção de ácido hialurónico por célula pois, embora o ulvan-01 tenha efeitos inibitórios sobre a proliferação de fibroblastos os seus efeitos estimuladores sobre a produção de ácido hialurónico foram tão significativos que, apesar de uma diminuição no número de células, a concentração de ácido hialurónico produzido pelos fibroblastos dérmicos humanos foi superior. De acordo com os resultados obtidos, o ulvan-01 e ulvan-dep parecem extratos com um elevado interesse para o desenvolvimento adicional e para a aplicação de cosméticos com base nos cuidados da pele mas com diferentes modos de ação.

O ulvano presente na parede celular da *U. lactuca* mostrou ainda estabilizar o estado funcional da membrana mitocondrial e microssomal (Devaki et al., 2009), e agir como antioxidante (Meenakshi et al., 2012) e tensioativo (Araújo et al., 2016).

A capacidade de captação da furaltadona (FTD) por parte da *U. lactuca* e o efeito no seu crescimento tem sido avaliado. A FTD é um derivado de nitrofurano e um fármaco quimioterapêutico altamente eficaz, utilizado como agente antibacteriano para combater infecções bacterianas e protozoárias (Balizs & Hewitt, 2003; Vass et al.,

2008), sendo usado ilegalmente para fins veterinários. É rapidamente metabolizado, resultando em metabolitos muito estáveis que foram associados a efeitos cancerígenos, mutagênicos e teratogênicos em humanos (Barbosa et al., 2007; Bartel et al., 2009; Chadfield & Hinton, 2003; Jager et al., 1997). Por esta razão, o uso de FTD foi proibido de ser utilizado em animais pela União Europeia (UE) (Barbosa et al., 2007; Regulamento da Comissão Europeia, 2010; Vass et al., 2008; Verdon et al., 2007).

Os antibióticos podem facilmente entrar em ambientes aquáticos, como resultado de um tratamento inadequado dos efluentes ou negligência das normas de segurança em relação à disposição das águas residuais, representando uma ameaça potencial para a biotecnologia aquática. Os antibióticos são substâncias potencialmente prejudiciais, uma vez que são especialmente adaptados para serem biologicamente ativos (Edlund et al., 2006; Halling- Sørensen et al., 1998; Kümmerer, 2009; Wollenberger et al., 2000). Tendo em conta os resultados obtidos no estudo verificou-se que a *U. lactuca* mostrou-se eficiente na remoção da FTD envolvendo processos de absorção e/ou adsorção e que é capaz de absorver FTD em ambos os tratamentos (profilático e terapêutico). A *U. lactuca* é capaz de diminuir a concentração interna de FTD o que faz com que este não seja passado ao longo da cadeia alimentar em grandes quantidades. Todos os dados obtidos sugerem que esta macroalga possa ser considerada como bom indicador para a deteção de nitrofuranos em ecossistemas naturais (Leston et al., 2011).

As propriedades do extrato etanólico da *U. lactuca* foram avaliadas por Allmendinger et al. (2010). Os autores verificaram que o extrato mostrou possuir propriedades antimicrobianas contra *Mycobacterium tuberculosis* assim como propriedades antiparasitárias contra *Trypanosoma brucei rhodesiense*, *Trypanosoma cruzi* e *Leishmania donovani*, impedindo a sua proliferação. Ainda num outro estudo relativo ao extrato etanólico/diclorometano obtidos da *U. lactuca* foi identificada a propriedade antioxidante, devido a uma notável eliminação de radicais livres 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), quando comparado com os antioxidantes sintéticos α -tocoferol, hidroxianisol butilado, e hidroxitolueno butilado e a atividade antimicrobiana impedindo a proliferação de bactérias como *Bacillus subtilis*, *Bacillus*

cereus, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Klebsiella pneumoniae*, e *Serratia marcescens*. No entanto, esta atividade mostrou que não era tão efetiva quando comparada com o antibiótico padrão testado, o cloranfenicol (El-Baky et al., 2009).

Num estudo realizado por Lee et al. (2004) verificou-se que o extrato metanólico da *U. lactuca* apresentou propriedades antitumorais, antimicrobianas, antivirais e ainda imunoestimuladoras, quando sujeitas a determinadas condições. Estas propriedades verificaram-se sobretudo devido ao efeito deste extrato sobre a linhagem celular humana tumoral, inibindo-a em 50%, estimulando as atividades dos esplenócitos e aumentando o monóxido de azoto produzido pelos macrófagos.

Segundo o estudo realizado por Araújo et al. (2016), a *U. lactuca* através dos seus polissacáridos sulfatados mostraram possuir efeitos anti-inflamatórios e analgésicos quando aplicados sobre ratos em doses 1, 3 ou 9 mg/kg. As mesmas doses do polissacárido sulfatado foram testadas no edema da pata dos ratos provocado por carragenina, dextrano, bradicinina, histamina ou serotonina. Verificam que o polissacárido sulfatado atenuou significativamente a resposta nociceptiva induzida pelo ácido acético apenas nas doses mais baixas (até 3 mg/kg), enquanto na dose elevada (9 mg/kg) o seu papel inibitório foi invertido. No caso do polissacárido sulfatado (1 e 3 mg/kg), verificou-se que foi alterada significativamente a nocicepção química, mostrando um importante nível de inibição semelhante aos anti-inflamatórios não esteróides (Bruno et al., 2014). A falta de efeito do polissacárido sulfatado para concentrações mais elevadas indica que sua ação antinociceptiva ocorre através de um mecanismo periférico (Carneiro et al., 2014; Quinderé et al., 2015; Ribeiro et al., 2014).

Com a utilização de diferentes agentes inflamatórios, e induzindo um edema na pata dos ratos, verificou-se que o polissacárido utilizado, em todas as doses testadas, não os protegeu contra a inflamação provocada pela carragenina, não se observando assim a redução do edema. O polissacárido sulfatado (1 mg/kg; subcutânea) reduziu o edema provocado por dextrano, mostrando assim um efeito anti-inflamatório vascular, uma vez que a sua melhor capacidade de redução do edema na pata surgiu quando o edema foi induzido pela bradicinina, quando não foi eficaz na redução dos edemas da

pata provocados pela serotonina e histamina. Assim, o polissacárido sulfatado mostrou o seu efeito analgésico por mecanismo periférico e efeito anti-inflamatório pela inibição do edema osmótico, caracterizado pela ação da bradicinina, mostrando que os componentes estruturais da fracção deste polissacárido sulfatado de *U. lactuca* atingem o controlo desta via (Araújo et al., 2016).

As propriedades relativas à espécie *U. lactuca* e aos seus extratos/constituintes referidas ao longo do texto, encontram-se apresentadas abaixo na Tabela 4.

Tabela 4 – Extratos, constituintes e algumas propriedades da espécie *Ulva lactuca*.

Extratos/Constituintes	Propriedades	Referências
Polissacárido Sulfatado – Ulvano	Estabilizador das membranas mitocondrial e microsomal, Antioxidante, Tensioativo	Araújo et al. 2016; Devaki et al. 2009
	Antibacteriana	Balizes & Hewitt, 2003; Vass et al. 2008
	Antioxidante	Abirami & Kowsalya, 2011; Meenakshi et al. 2012; Yaich et al. 2011
Polissacárido Sulfatado	Anti-inflamatória, Analgésica	Araújo et al. 2016
Extrato etanólico	Antimicrobiana, Antiparasitária	Allmendinger et al. 2010
Extrato metanólico	Antitumorais, Antimicrobiana, Antiviral, Imunoestimulador	Lee et al. 2004
Diclorometano/Etanol	Antimicrobiana, Antioxidante	El-Baky et al. 2009

3.2.3. Chaetomorpha linum

3.2.3.1. Caracterização

A macroalga verde *C. linum*, representada na Figura 9, é outra das espécies que surge com grande abundância na costa algarvia e também cresce naturalmente em aquacultura nos tanques de produção de peixes. Esta macroalga pertence ao género *Chaetomorpha*, ordem *Cladophorales* e filo *Chlorophyta* (Kützing, 1845). Tem havido uma crescente procura desta espécie por parte de diversas indústrias devido aos seus constituintes e propriedades. Apesar de se tratar de uma espécie pouco estudada até à data, os estudos já realizados mostram que esta pode ser bastante promissora.



Figura 9 – Macroalga verde *Chaetomorpha linum* produzida em aquacultura, na EPPO (Estação Piloto de Piscicultura de Olhão).

A *C. linum* é uma macroalga verde brilhante e flutuante que, por vezes, se encontra agarrada a rochas e conchas. O seu corpo é constituído por filamentos duros, rígidos e não ramificados. Normalmente não ultrapassa os 30 cm de comprimento, a cor pode variar entre um verde-claro a verde-amarelado, as paredes celulares são grossa e aparecem juntas ou articuladas com faixas de cor verde-escuro. Esta alga é

muito frequente em aquários de recife pela sua capacidade de remover nitratos, ajudar a equilibrar o pH e a quantidade de oligoelementos, e fornecer espaços escondidos para espécies de peixes mais pequenas (Kützing, 1845).

3.2.3.2. Constituintes e propriedades

Relativamente à composição desta macroalga verificou-se ainda que o ácido palmítico é o ácido gordo saturado mais abundante encontrado nesta espécie e que entre os ácidos gordos polinsaturados o ácido araquidónico é o mais abundante. O ácido eicosapentaenóico e o ácido docosa-hexenoico são ainda os constituintes mais abundantes na espécie *C. linum* quando comparados com outras espécies.

Num estudo realizado por Sutour et al. (2015) foi analisada a composição química de dois extratos de *C. linum*: extrato obtido com pentano e extrato obtido com acetato de etilo. Os principais compostos do extrato com pentano observados foram os ácidos gordos, principalmente saturados, ao passo que no extrato de acetato de etilo foram identificados esteróis. No total, os autores identificaram dezoito componentes, doze dos quais foram identificados pela primeira vez numa espécie de *Chaetomorpha*, entre eles destacam-se três diterpenos com esqueleto abietano que foram identificados pela primeira vez a partir de uma fonte marinha.

O extrato de pentano contém na sua maioria ésteres metílicos de ácidos gordos sendo os mais abundantes o ácido palmítico (10,2%), oleico (5,5%), mirístico (5,3%), linolelaídico (2,1%), palmitoleico (0,9%) e esteárico (0,5%). O extrato de acetato de etilo contém apenas ésteres metílicos do ácido palmítico e esteárico. Entre os compostos derivados de esterol, foram identificados o β -sitosterol e colesterol como principais compostos do extrato de acetato de etilo, ainda que também estejam presentes no extrato de pentano, assim como três diterpenos que têm um esqueleto abietano. A partir dos extratos de pentano e acetato de etilo foram ainda identificados dois compostos derivados do fenol, um aldeído e uma nucleobase. Os extratos extraídos foram testados *in vitro* para avaliar a sua toxicidade e verificou-se que estes não apresentaram qualquer citotoxicidade contra os queratinócitos humanos mesmo quando testados na maior concentração (Sutour et al., 2015).

A ampla atividade biológica dos compostos com esqueleto abietano, principalmente os ácidos e seus derivados, faz com que o extrato de *C. linum* possa ser utilizado como antimicrobiano, antialérgico, tensoativo, ter benefício a nível cardiovascular e ainda possa ser utilizado em cosmética (Feliciano et al., 1993).

Através de um estudo realizado por Senthilkumar & Sudha (2012) verificou-se que o extrato metanólico desta macroalga tem potencial como antioxidante natural e tem capacidade antibacteriana contra uma grande variedade de bactérias.

Neste estudo a atividade antioxidante de *C. linum* foi avaliada utilizando várias técnicas [atividade de eliminação de radicais livres DPPH e redução do Fe]. Através da comparação da atividade antioxidante dos extratos com diferentes concentrações (1, 2, 4, 8 e 16 µg/mL), verificou-se que o extrato metanólico tinha capacidade de captar os radicais DPPH e que essa atividade era dependente da dose. Segundo os autores, os resultados obtidos são bons o que poderá ser promissor no tratamento de doenças relacionadas com *stress* oxidativo.

Relativamente à propriedade antibacteriana, o extrato metanólico mostrou atividade, quando comparado com o cloranfenicol (antibiótico padrão), contra uma série de estirpes bacterianas patogénicas (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae* e *Salmonella typhimurium*), sendo esta mais elevada contra *Bacillus cereus* e *Proteus mirabilis*, a atividade mais baixa contra *Escherichia coli*. Não foi encontrada qualquer atividade ontra *Klebsiella pneumoniae*.

Outra propriedade observada foi a atividade antimicrobiana contra várias espécies do género *Vibrio* (Cecere et al., 2010).

A *C. linum* demonstrou que pode ser útil na capacidade de remoção de nutrientes em diferentes tipos de águas residuais, provando assim ser um bom biorremediador. A sua biomassa pode ser utilizada para a produção de biocombustíveis, ainda que a biomassa produzida varia em função das características do meio de cultivo (águas residuais) (Ge & Champagne, 2017).

As propriedades relativas à espécie *C. linum* e aos seus extratos/constituintes referidas ao longo do texto, encontram-se apresentadas abaixo no Tabela 5.

Tabela 5 – Extratos, constituintes e algumas propriedades da espécie *Chaetomorpha linum*.

Extratos/Constituintes	Propriedades	Referências
Extrato metanólico	Antioxidante, Antibacteriana	Senthilkumar & Sudha, 2012
Extrato de pentano e Extrato de acetato de etilo – Abietano	Antimicrobiana, Antialérgica, Tensioativa, “Cosmética”	Feliciano et al. 1993; Sutour et al. 2015
	Antimicrobiana	Cecere et al. 2010

4. Conclusão

A informação compilada nesta monografia permite mostrar a importância das macroalgas, considerando a sua diversidade e aplicabilidade em diversos sectores, nomeadamente na indústria alimentar, farmacêutica e cosmética. Isto permite afirmar que estas são uma fonte rica de componentes valiosos entre os quais ficocoloides como ágar, carragenina ou alginato, outros polissacáridos, polifenóis, carotenoides, fenóis, fibras dietéticas, vitaminas nomeadamente A, B1, B2, B6, C e E e alguns minerais, tais como cálcio, potássio, magnésio, Fe e iodo (McHugh, 2003; Rout & Kumar, 2015). Apresentam ainda na sua constituição proteínas com aminoácidos essenciais e baixo teor em gorduras (McHugh, 2003).

A maioria das atividades biológicas das macroalgas referidas ao longo do trabalho foram encontradas a partir do estudo das atividades de extratos, destacando-se as atividades antimicrobiana, antipirética (Rout & Kumar, 2015; Tüney et al., 2006; Yildiz et al. 2012) antiparasitária (Allmendinger et al. 2010), antitumoral, antiviral, imunoestimuladora (Lee et al. 2004), antigenotóxica. anti-hiperglicémica (Celikler et al. 2009), antimutagénica (Celikler et al., 2008) e antioxidante (Senthilkumar & Sudha, 2012).

Com mercados cada vez mais globalizados e diversificados, apostar no aproveitamento de espécies que ocorrem naturalmente na produção em aquacultura, como são as macroalgas marinhas, criando novos produtos, identificando novas utilizações e caracterizando os seus extratos para identificação de compostos bioativos, será um incentivo à sustentabilidade sendo uma boa aposta para uma maior valorização destes produtos.

Torna-se, no entanto, difícil de compreender a falta de desenvolvimento nos países europeus, incluindo Portugal, no que respeita à produção e utilização de macroalgas tendo em conta as suas propriedades e aplicações, sobretudo a sua introdução na alimentação tendo em conta que poderia trazer muitos benefícios. A costa portuguesa tendo em conta a sua grande extensão, é uma fonte rica em organismos que apresentam grandes vantagens, assim poder-se-ia aproveitar os

recursos naturais existentes, promovendo uma exploração sustentável destas espécies marinhas da costa nacional, dando resposta às crescentes necessidades da população e impulsionando a economia nacional através da exportação destas.

Futuramente, deverão ser realizados estudos relativos às macroalgas encontradas na costa portuguesa com capacidade de produção em aquacultura e avaliar a capacidade de produção/extração dos constituintes/extratos identificados como possuírem propriedades farmacológicas, entre outras. Uma avaliação dos custos associados à sua produção, bem como viabilidade de extração dos seus constituintes em larga escala é primordial.

O farmacêutico pode ter um papel importante na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos não só com aplicação alimentar, mas também com aplicação em farmácia e cosmética a partir de macroalgas. O farmacêutico integrado numa equipa pluridisciplinar da qual façam parte empresários, biólogos, engenheiros, técnicos de marketing, entre outros, pode contribuir na pesquisa dos metabolitos com potencial atividade, elaborando protocolos e concretizando metodologias de avaliação química e biológica dos referidos compostos.

5. Bibliografia

- Abirami, R.G. & Kowsalya, S. (2011). Nutrient and nutraceutical potentials of seaweed biomass *Ulva lactuca* and *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 5: 109-115.
- Adrien, A., Bonnet, A., Dufour, D., Baudouin, S., Maugard, T., & Bridiau, N. (2016). Pilot production of ulvans from *Ulva sp.* and their effects on hyaluronan and collagen production in cultured dermal fibroblastos. *Carbohydrate Polymers*, 157: 1306-1314.
- Agardh, C.A. (1823). Species algarum rite cognitae, cum synonymis, differentiis specificis et descriptionibus succinctis. Gryphiswaldiae, Sumtibus Ernesti Mauriti, 1: 1820-1828.
- Allmendinger, A., Spavieri, J., Kaiser, M., Casey, R., Hingley-Wilson, S., Lalvani, A., Guiry, M., Blunden, G., & Tasdemir, D. (2010). Antiprotozoal, antimycobacterial and cytotoxic potential of twenty-three British and Irish red algae. *Phytotherapy Research*, 24: 1099-103.
- Alves, A., Sousa, R.A., & Reis, R.L. (2012). *In Vitro* Cytotoxicity Assessment of Ulvan a Polysaccharide Extracted from Green Algae. *Phytotherapy Research*, 27: 1143-8.
- Araújo, I.W.F., Rodrigues, J.A.G., Quinderé, A.L.G., Silva, J.F.T., Maciel, G.F., Ribeiro, N.A., Vanderlei, E.S.O., Ribeiro, K.A., Chaves, H.V., Pereira, K.M.A., Bezerra, M.M., Benevides, N.M.B. (2016). Analgesic and anti-inflammatory actions on bradykinin

route of a polysulfated fraction from alga *Ulva lactuca*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92: 820–830.

Araujo, I.W.F., Vanderlei, E.D.O., Rodrigues, J.A.G., Coura, C.O., Quindere, A.L.G., Fontes, B.P., et al. (2011). Effects of a sulfated polysaccharide isolated from the red seaweed *Solieria filiformis* on models of nociception and inflammation. *Carbohydrate Polymers*, 86: 1207–1215.

Assreuy, A.M.S., Gomes, D.M., Silva, M.S.J., Torres, V.M., Siqueira, R.C.L., Pires, A.F., et al. (2008). Biological effects of a sulfated-polysaccharide isolated from the marine red algae *Champia feldmannii*. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 31, 691–695.

Balizo, G., & Hewitt, A. (2003). Determination of veterinary drug residues by liquid chromatography and tandem mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 492: 105–131.

Barbosa, J., Ferreira, M.L., Ramos, F., & Noronha da Silveira, M.I. (2007). Determination of the furaltadone metabolite 5-methylmorpholino-3-amino-2-oxazolidinone (AMOZ) using liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry during the nitrofurantoin crisis in Portugal. *Accreditation and Quality Assurance*, 12: 543–551.

Bartel, L.C., Montalto de Mecca, M., & Castro, J.A. (2009). Nitroreductive metabolic activation of some carcinogenic nitro heterocyclic food contaminants in rat mammary tissue cellular fractions. *Food and Chemical Toxicology*, 47: 140–144.

- Batista, J.A., Dias, E.G.N., Brito, T.V., Prudêncio, R.S., Silva, R.O., Ribeiro, R.A., Souza, M.H.L.P., Paula, R.C.M., Feitosa, J.P.A., Chaves, L.S., Melo, M.R.S., Freitas, A.L.P., Medeiros, J.V.R., & Barbosa, A.L.R. (2014). Polysaccharide isolated from *Agardhiella ramosissima*: chemical structure and anti-inflammation activity. *Carbohydrate Polymers*, 99: 69–77.
- Bond, A. e Morrison-Saunders, A. (2011). Re-evaluating sustainability assessment: aligning the vision and the practice. *Environmental Impact Assessment Review*, 31: 1-17.
- Bruno, A., Tacconelli, S., & Patrignani, P. (2014) Variability in the response to non-steroidal anti-inflammatory drugs: mechanisms and perspectives. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 114: 56–63.
- Boopathy, N.S., & Kathiresan, K. (2010). Anticancer Drugs from Marine Flora: An overview. *Journal of Oncology*, 1-18.
- Cabrita, M.T., Vale, C., & Rauter, A.P. (2010). Halogenated Compounds from Marine Algae. *Marine Drugs*, 8: 2301-2317.
- Campo, V.L., Kawano, D.F., Silva, D.B., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: biological properties, chemical modifications and structural analysis—a review. *Carbohydrate Polymers*, 77: 167–180.
- Cardozo, K.H.M., Guaratini, T., Barros, M.P., Falcão, V.R., Tonon, A.P., Lopes, N.P., Campos, S., Torres, M.A., Souza, A.O., Colepicolo, P., & Pinto, E. (2007). Metabolites from algae with economical impact. *Comparative Biochemistry and*

Physiology, Part C, 146: 60–78.

Carlsson, A., Beilen van, J., Möller, R., Clayton, D. & Bowles, D. e. (2007). Microand macroalgae - utility for industrial applications Bioproducts, E. R. t. E. P. o. S. R.-. and Crops, f. N.-f., CNAP, University of York: 86.

Carneiro, J.C., Rodrigues, J.A.G., Vanderlei, E.S.O., Souza, R.B., Quinderé, A.L.G., Coura, C.O., Araújo, I.W.F., Chaves, H.V., Bezerra, M.M., & Benevides, N.M.B. (2014). Peripheral antinociception and anti-inflammatory effects of sulphated polysaccharides from the alga *Caulerpa mexicana*. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 115: 335–342.

Cao, L., Wang, W., Yang, Y., Yang, C., Yuan, Z., Xiong, S., & Diana, J. (2007). Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research-International*, 14: 452-462.

Cecere, E., Acquaviva, M., Belmonte, M., Biandolino, F., Cavallo, R.A., Lo Noce, R., Narracci, M., Petrocelli, A., Ricci, P., Stabili, L., & Alabiso, G. (2010). Seaweeds and aquaculture: an indispensable alliance for the integrated management of coastal zone. *Biologia Marina Mediterranea*, 17: 138-141.

Celikler, S., Tas, S., Vatan, O., Ziyank-ayvalik, S., Yildiz, G., & Bilaloglu, R. (2009). Anti-hyperglycemic and antigenotoxic potential of *Ulva rigida* ethanolic extract in the experimental diabetes mellitus. *Food and Chemical Toxicology*, 47: 1837–1840.

Celikler, S., Yildiz, G., Vatan, O., & Bilaloglu, R. (2008). *In vitro* Antigenotoxicity of *Ulva*

rigida C. Agardh (Chlorophyceae) Extract against Induction of Chromosome Aberration , Sister Chromatid Exchange and Micronuclei by Mutagenic Agent MMC. *Biomedical and Environmental Sciences*, 21: 492–498.

Chadfield, M.S., & Hinton, M.H. (2003). Evaluation of treatment and prophylaxis with nitrofurans and comparison with alternative antimicrobial agents in experimental *Salmonella enterica*, Serovar enteritidis infection in chicks. *Veterinary Research Communications*, 27: 257–273.

Chakraborty, K., Lipton, A.P., Paulraj, R., & Viajayan, K.K. (2010a). Antibacterial labdane diterpenoids of *Ulva fasciata* Delile from south western coast of the Indian Peninsula. *Food Chemistry*, 119: 1399-1408.

Chakraborty, K., Lipton, A.P., Paulraj, R., & Chakraborty, R.D. (2010b). Guaiane sesquiterpenes from seaweed *Ulva fasciata* Delile and their antibacterial properties. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 45: 2237-2244.

Costa, L.S., Fidelis, G.P., Cordeiro, S.L., Oliveira, R.M., Sabry, D.A., et al. (2010). Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweeds. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 64: 21-28.

Dauvalter, V., & Rognerud, S. (2001). Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage. *Chemosphere*, 42: 9–18.

Devaki, T., Sathivel, A., & Raghvendra, H.R.B. (2009). Stabilization of mitochondrial and microsomal function by polysaccharide of *Ulva lactuca* on d-galactosamine induced hepatitis in rats. *Chemical-Biological Interactions*, 177: 83–88.

- Edhlund, B.L., Arnold, W.A., & McNeill, K. (2006). Aquatic photochemistry of nitrofurano antibiotics. *Environmental Science & Technology*, 40: 5422–5427.
- El-Baky, H.H.A., El-Baz, F.K., & El-Baroty, G.A. (2009). Natural preservative ingredient from marine alga *Ulva lactuca*. *Internacional Journal of Food Science and Technology*, 44: 1688-1695.
- Fang, J., Zhang, J., Xiao, T., Huang, D., & Liu, S. (2016). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Sanggou Bay, China. *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 201-205.
- FAO. (2012). The State of Food and Agriculture 2012. Food and Agriculture Organization of the United States, Rome.
- FAO. (2014). The State of World Fisheries and Aquaculture- Opportunities and Challenges. Food and Agriculture Organization of the United States, Rome.
- FAO (2016a). The state of world fisheries and aquaculture 2016. *Contributing to food security and nutrition for all*. FAO Fisheries Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 200 pp.
- FAO (2016b). FAO Aquaculture Newsletter. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Farias, W.R.L., Valente, M.S., Pereira, M.S., & Mourão, P.A.S. (2000). Structure and anticoagulant activity of sulfated galactans — isolation of a unique sulfated galactan from the red algae *Botryocladia occidentalis* and comparison of its anticoagulant action with that of sulfated galactans from invertebrates.

Journal of Biological Chemistry, 275: 29299–29307.

Feliciano, A.S., Gordaliza, M., Salinero, M.A. & del Corral, J.M.M. (1993). Abietane Acids: Sources, Biological Activities, and Therapeutic Uses. *Planta Medica*, 59: 485-490

Fleurence, J. (1999). Seaweed proteins : biochemical , nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science and Technology*, 10: 26–29.

Fonseca, J. A. (2016). *Aplicação de Algas na Indústria Alimentar e Farmacêutica*. Universidade Fernando Pessoa, Porto.

Ge, S., & Champagne, P. (2017). Cultivation of the Marine Macroalgae *Chaetomorpha linum* in Municipal Wastewater for Nutrient Recovery and Biomass Production. *Environmental Science and Technology*, 21: 3558-3566

Ghersetich, I., Lotti, T., Campanile, G., Grappone, C., & Dini, G. (1994). Hyaluronic acid in cutaneous intrinsic aging. *International Journal of Dermatology*, 33: 119-22.

Halling-Sørensen, B., Nors Nielsen, S., Lansky, P.F., Ingerslev, F., Holten Lützhøft, H.C., & Jørgensen, S.E. (1998). Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment – a review. *Chemosphere*, 36: 357–393.

Hassine, M., Sdiri, k., Riabi, S., Beji, A., Aouni, Z., & Aouni, Z. (2010). Detetion of enteric viruses in wastewater of Monastir region by RT-PCR method. *La Tunisie Medicale*, 88: 57-62.

Heesch, S., Broom, J. E. S., Neill, K. F., Farr, T. J., Dalen, J. L., & Nelson, W. A. (2009). *Ulva* , *Umbraulva* and *Gemina* : genetic survey of New Zealand taxa reveals diversity and introduced species. *European Journal of Phycology*, 44: 143-154.

Hernández, L.P., Barresi, M.J. F., & Devoto, S.H. (2002). Functional Morphology and Developmental Biology of Zebrafish : Reciprocal Illumination from an Unlikely Couple. *Integrative and Comparative Biology*, 231: 222–231.

INE, 2014. Estatísticas da Pesca 2013, Lisboa: INE.

Jager, L.P., de Graaf, G.J., & Widjaja-Greefkes, H.C.A. (1997). Differential effects of nitrofurans on the production/release of steroid hormones by porcine adrenocortical cells *in vitro*. *European Journal of Pharmacology*, 331: 325–331.

Jones, A. B., Dennison, W. C., & Preston, N. P. (2001). Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture*, 193(1), 155-178.

Kaimoussi, A., Mouzdahir, A., & Saih, A. (2004). Variations saisonnières des teneurs en métaux (Cd, Cu, Fe, Mn et Zn) chez l'algue *Ulva lactuca* prélevée au niveau du littoral de la ville d'El Jadida (Maroc). *Comptes Rendus Biologies*, 327: 361–369.

Kong, F., Mao, Y., Cui, F., Zhang, X., & Gao, Z. (2011). Morphology and Molecular Identification of *Ulva* Forming Green Tides in Qingdao China. *Journal of Ocean University of China*, 10: 73-79.

Kümmerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment – a review – part I. *Chemosphere*, 75: 417–434.

Kützing, F.T. (1845). *Phycologia germanica*, d. i. Deutschlands Algen in bündigen Beschreibungen. *Nebst einer Anleitung zum Untersuchen und Bestimmen dieser Gewächse für Anfänger*, 1-340.

- Lahaye, M. (1998). NMR spectroscopic characterisation of oligosaccharides from two *Ulva rigida* ulvan samples (Ulvales, Chlorophyta) degraded by a lyase. *Carbohydrate Research*, 314: 1-12.
- Lahaye, M., & Axelos, M.A.V. (1993). Gelling properties of water-soluble polysaccharides from proliferating marine green seaweeds (*Ulva spp.*). *Carbohydrate Polymers*, 22: 261-265.
- Lahaye, M., & Robic, A. (2007). Structure and Functional Properties of Ulvan a Polysaccharide from Green Seaweeds. *Biomacromolecules*, 8: 1765-1774.
- Lahaye, M., Cimadevilla, E.A.C., Kuhlenkamp, R., Quemener, B., Lognoné, V., et al. (1999). Chemical composition and ¹³C NMR spectroscopic characterisation of ulvans from *Ulva* (Ulvales, Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology*, 11: 1-7.
- Lahaye, M., Inizan, F., & Vigouroux, J. (1998). NMR analysis of the chemical structure of ulvan and of ulvan-boron complex formation. *Carbohydrate Polymers*, 36: 239-249.
- Largo, D.B., Sembrano, J., Hiraoka, M., Ohno, M. (2004). Taxonomic and ecological profile of 'green tide' species of *Ulva* (Ulvales Chlorophyta) in central Philippines. *Hydrobiology*, 512: 247-253.
- Lee, D., Hyun, J., Kang, K., Lee, J., Lee, S., Ha, B., Ha, J., Lee, E. Y., & Lee, J. (2004). *Ulva lactuca*: A Potencial Seaweed for Tumor Treatment and Immune Stimulation. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 9: 236-238.
- Leston, S., Nunes, M., Viegas, I., Lemos, M. F. L., Freitas, A., Barbosa, J., Ramos, F., &

- Pardal, M. A. (2011). The effects of the nitrofurantoin furaltadone on *Ulva lactuca*. *Chemosphere*, 82: 1010–1016.
- Linnaeus, C. (1753). *Species plantarum*, exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas. Holmiae :Impensis Laurentii Salvii, 2: 561-1200
- Longas, M.O., Russell, C.S., & He, X.Y. (1987). Evidence for structural changes in dermatan sulfate and hyaluronic acid with aging. *Carbohydrate Research*, 159: 127-36.
- M.A.G.R.A.M.A. (2014). Plan Estratégico Plurianual de la Acuicultura Española 2014-2020. Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid, Espanha, 72.
- Margret, R.J., Kumaresan, S., & Ravikumar, S. (2009). A preliminary study on the anti-inflammatory activity of methanol extract of *Ulva lactuca* in rat. *Journal of Environmental Biology*, 30: 899-902.
- Marques, R. V., & Jeffman, J. (2003). Princípios de conservação ambiental que necessitam ser respeitados para que seja possível uma real sustentabilidade da atividade de aquacultura. *Revista Ciências Administrativas*, 9: 220-228.
- McHugh, D. (2003). A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries, Technical Paper*, 441. FAO, Rome, Italy.

- Medeiros, J., Macedo, M., Constancia, J., LoDuca, J., Cunningham, G., et al. (1999). Potential anticancer activity for plants and marine organisms collected in the Azores. *Açoreana*, 9: 55-61.
- Meenakshi, S., Umayaparvathi, S., Arumugam, M., & Balasubramanian, T. (2012). *In vitro* antioxidant properties and FT-IR analysis of two seaweeds of Gulf of Mannar. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1: S66–S70, supplement.
- Mohamed, S., Hashim, S. N., & Rahman, H. A. (2012). Seaweeds : A sustainable functional food for complementary and alternative therapy. *Trends in Food Science & Technology*, 23: 83–96.
- Neori, A. (2009). Essential role of seaweed cultivation in integrated multi-trophic aquaculture farms for global expansion of mariculture: an analysis. *Journal of Applied Phycology*, 20: 567-570.
- Neori, A., Msuya, F.E., Shauli, L., Schuenhoff, A., Kopel, F., et al. (2003). A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture. *Journal of Applied Phycology*, 15: 543-553.
- Oliveira, E.C. (2002). Macroalgas Marinhas da Costa Brasileira - Estado do Conhecimento, Uso e Conservação Biológica. In: Araújo, E.L. et al. (2002). Biodiversidade, Conservação e Uso Sustentável da Flora do Brasil. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, p. 122-126.
- Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernández, J., Bozzo, C., Navarrete, E., Osorio, A., & Rios, A. (2006). Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol

contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea Antarctica*. *Food Chemistry*, 99: 98–104.

Palma, D. C. (2011). *Avaliação da atividade antibacteriana de extratos metanólicos de diferentes espécies de algas e plantas halófitas*. Universidade do Algarve, Faro.

Patarra, R.F., Paiva, L., Neto, A.I., Lima, E. & Baptista, J. (2011). Nutritional value of selected macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, 23: 205–208.

Porse, H., & Bixler, H. J. (2010). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Springer Science*, 23: 321-335.

Portugal, T. R., Ladines, E. O., Ardena, S. S., Resurreccion, L., Medina, C. R., & Matibag, P. M. (1983). Nutritive value of some Philippine seaweeds part II: Proximate, amino acids and vitamin composition. *Philippine Journal of Nutrition*, 78: 166–172.

Quemener, B., Lahaye, M., & Bobin-Dubigeon, C. (1997). Sugar determination in ulvans by a chemical-enzymatic method coupled to high performance anion exchange chromatography. *Journal of Applied Phycology*, 9: 179-188.

Quinderé, A.L.G., Barros Benevides, N.M., Pelli, G., Lenglet, S., Burger, F., Carbone, F., Fraga-Silva, R.A., Stergiopulos, N., Pagano, S., Bertolotto, M., Dallegri, F., Vuilleumier, N., Mach, F., & Montecucco, F. (2015). Treatment with sulphated galactan inhibits macrophage chemotaxis and reduces intraplaque macrophage content in atherosclerotic mice. *Vascular Pharmacology*, 71: 84–92.

Quinderé, A.L.G., Fontes, B.P., Vanderlei, E.S.O., Queiroz, I.N.L., Rodrigues, J.A.G.,

Araújo, I.W.F., Jorge, R.J.B., Menezes, D.B., Silva, A.A.R., Chaves, H.V., Evangelista, J.S.A.M., Bezerra, M.M., & Benevides, N.M.B. (2013). Peripheral antinociception and anti-edematogenic effect of a sulfated polysaccharide from *Acanthophoramusoides*. *Pharmacological Reports*, 65: 600–613.

Quinderé, A.L.G., Santos, G.R., Oliveira, S.N., Glauser, B.F., Fontes, B.P., Queiroz, I.N., et al. (2014). Is the antithrombotic effect of sulfated falcactans independent of serpin? *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 12: 43-53.

Ray, B., & Lahaye, M. (1995). Cell-wall polysaccharides from the marine green alga *Ulva "rigida"* (Ulvales, *Chlorophyta*), chemical structure of ulvan. *Carbohydrate Research*, 274: 313-318.

Regulamento 37/2010, da Comissão Europeia, de 22 de Dezembro, Jornal Oficial da União Europeia, L15/1, 2010.

Ribeiro, N.A., Abreu, T.M., Chaves, H.V., Bezerra, M.M., Monteiro, H.S.A., Jorge, R.J.B., & Benevides, N.M.B. (2014). Sulfated polysaccharides isolated from the green seaweed *Caulerpa racemosa* plays antinociceptive and anti-inflammatory activities in a way dependent on HO-1 pathway activation. *Inflammation Research*, 63: 569–580.

Robic, A., Bertrand, D., Sassi, J-F., & Lerat, Y. (2009). Determination of the chemical composition of ulvan, a cell wall polysaccharide from *Ulva spp.* (Ulvales, *Chlorophyta*) by FT-IR and chemometrics. *Journal of Applied Phycology*, 21: 451-456.

- Rocha, N. M., de Souza Júnior, J., & Farias, W. R. L. (2009). Reutilização de água em um sistema integrado com camarões, sedimentação, ostras e macroalgas marinhas. *Revista Ciência Agronômica*, 39, 540-547.
- Rodríguez, A.P., Mawhinney, T.P., Marie, D.R., & Cruz-Suárez, L.E.C. (2011). Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C Agardh. *Food Chemistry*, 129: 491-498.
- Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Saljoughian, S., Amid, M., Greiner, R. (2016). Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Research International*, 99: 1066-1083.
- Roussis, V., Rapti, T., Vagias, C., Harvala, C., & Caberi, H. (2000). Volatile metabolites of the green alga *Ulva rigida* (C.Ag). *Journal of Essential Oil Research*, 12: 201-204.
- Rout, S., & Kumar, A. (2015). A review on the potenciality of marine seaweeds. *World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 4: 458-476.
- Santos R., Cristo C., & Jesus D. (2003). Stock assessment of the agarophyte *Gelidium sesquipedale* using harvest effort statistics. Em: Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V.J., & Davison, I.R. (2004). Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium. Cape Town, South Africa, Oxford University Press, New York: 145-150.
- Satpati, G.G., & Pal, R. (2011). Biochemical composition and lipid characterization of marine green alga *Ulva rigida* - a nutritional approach. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 2: 10-13.

- Schaffelke, B., Smith, J.E., & Hewitt, C.L. (2006). Introduced macroalgae – a growing concern. *Journal of Applied Phycology*, 18: 529–541.
- Senthilkumar, P., & Sudha, S. (2012). Antioxidant and Antibacterial Properties of Methanolic Extract of Green Seaweed *Chaetomorpha linum* From Gulf of Mannar: Southeast Coast of India. *Jundishapur Journal of Microbiology*. 5: 411-415.
- Shalaby, E. A. (2011). Algae as promising organisms for environment and health. *Plant signaling & behaviour*, 6: 1338–1350.
- Silva, M., Vieira, L., Almeida, A.P., & Kijjoo, A. (2013). The Marine Macroalgae of the Genus *Ulva*: Chemistry, Biological Activities and Potential Applications. *Oceanography*, 1: 101.
- Stengel, D.B., Connan, S., & Popper, Z.A. (2011). Algal chemodiversity and bioactivity: Sources of natural variability and implications for commercial application. *Biotechnology Advances*, 29: 483-501.
- Stern, R., & Maibach, H.I. (2008). Hyaluronan in skin: aspects of aging and its pharmacologic modulation. *Clinics in Dermatology*, 26:106-22.
- Sutour, S., Xu, T., Casabianca, H., Paoli, M., Rocca-Serra, D., Tomi, F., Garrido, M., Pasqualini, V., Aiello, A., Castola, V., & Bighelli, A. (2015). Chemical Composition of Extracts From *Chaetomorpha linum* (Miller) Kütz. A Potential Use in the Cosmetic Industry. *International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients*, 2: 5.

- Tabarsa, M., Rezaei, M., Ramezanzpour, Z., & Waaland, J.R. (2012). Chemical compositions of the marine algae *Gracilaria salicornia* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta) as a potential food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 2500-2506.
- Tas, S., Sarandöl, E., Ziyankok, S., Aslan, K., & Dirican, M., (2005). Effects of green tea on serum paraoxonase/arylesterase activities in streptozotocin-induced diabetic rats. *Nutricion Research*, 25, 1061–1074.
- Toskas, G., Heinemann, S., Heinemann, C., Cherif, C., Hund, R-D., et al. (2012). Ulvan and ulvan/chitosan polyelectrolyte nanofibrous membranes as a potential substrate material for the cultivation of osteoblasts. *Carbohydrate Polymers* 89: 997-1002.
- Tüney, I., Çadirci, B.H., Unal, D., & Sukatar, A. (2006). Antimicrobial Activities of the Extracts of Marine Algae from the Coast of Urla (Izmir, Turkey). *Turkish Journal Biology*, 30: 171-175.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. *Working Paper* No. ESA/P/WP/248.
- Urquiaga, I., & Leighton, F., (2000). Plant polyphenol antioxidants and oxidative stress. *Biological Research*, 33: 55–64.
- Valente, L.M.P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E.F., & Sousa-Pinto, I. (2006) - Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria*

cornea as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 252: 85–91.

Vass, M., Hruska, K., & Franek, M. (2008). Nitrofurans antibiotics: a review on the application, prohibition and residual analysis. *Vet. Med. Czech.* 53: 469–500.

Verdon, E., Couedor, P., & Sanders, P. (2007). Multi-residue monitoring for the simultaneous determination of five nitrofurans (furazolidone, furaltadone, nitrofurazone, nitrofurantoin, nifursol) in poultry muscle tissue through the detection of their five major metabolites (AOZ, AMOZ, SEM, AHD, DNSAH) by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry— inhouse validation in line with Commission Decision 657/2002/EC. *Analitica Chimica Acta*, 586: 336–347

Wang, L., Wang, X., Wu, H., & Liu, R. (2014). Overview on biological activities and molecular characteristics of sulfated polysaccharides from marine green algae in recent years. *Marine Drugs* 12: 4984–5020.

Wijesekara, I., Pangestuti, R., & Kim, S.K. (2011). Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. *Carbohydrate Polymers*, 84: 14-21.

Wollenberger, L., Halling-Sorensen, B., & Kusk, K.O. (2000). Acute and chronic toxicity of veterinary antibiotics to *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 40: 723–730.

Wolf, M.A., Sciuto, K., Andreoli, C., & Moro, I. (2012). *Ulva* (*Chlorophyta*, Ulvales) Biodiversity in the North Adriatic Sea (Mediterranean Italy): Cryptic Species and

New Introductions. *Journal of Phycology*, 48: 1510-1521.

Xu, N., Fan, X., Yan, X., & Tseng, C.K. (2004). Screening marine algae from China for their antitumor activities. *Journal of Applied Phycology*, 16: 451–456.

Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Christophe Blecker, C., Attia. H. (2011). Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food Chemistry*, 128: 895–901.

Yildiz, G., Celikler, S., Vatan, O., & Dere, S. (2012). Determination of the Anti-oxidative Capacity and Bioactive Compounds in Green Seaweeds *Ulva rigida* C Agardh. *International Journal of Food Properties*, 15: 1182-1189.

Yu, Z., Robinson, S. M., Xia, J., Sun, H., & Hu, C. (2016). Growth, bioaccumulation and fodder potentials of the seaweed *Sargassum hemiphyllum* grown in oyster and fish farms of South China. *Aquaculture*, 464: 459-468.