

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Ariane Paulutti Vaz

**BIOPROCESSOS E BIOPRODUTOS DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Ulva*
(CHLOROPHYTA, ULVOPHYCEAE) - UMA REVISÃO**

Florianópolis – SC
2021

Ariane Paulutti Vaz

**BIOPROCESSOS E BIOPRODUTOS DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Ulva* (CHLOROPHYTA,
ULVOPHYCEAE) - UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Oceanografia do Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito básico para a obtenção do Grau de Bacharel do Curso de Oceanografia.

Orientador: Leonardo Rubi Rörig

Florianópolis - SC

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vaz, Ariane Paulutti

Bioprocessos e bioprodutos de espécies do gênero *Ulva*
(Chlorophyta, Ulvophyceae) - uma revisão / Ariane Paulutti
Vaz ; orientador, Leonardo Rubi Rörig, 2021.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. ulva. 3. biomassa. 4.
biotecnologia. I. Rörig, Leonardo Rubi. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. III.
Título.

Ariane Paulutti Vaz

**Bioprocessos e bioprodutos de espécies do gênero *Ulva* (Chlorophyta,
Ulvophyceae) – uma revisão**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia.

Florianópolis, 25 de Agosto de 2021

Prof. Alessandra Larissa D' Oliveira Fonseca, Dr
Coordenadora do Curso

Banca Examidadora:

Prof. Leonardo Rubi Rörig, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Bonomi Barufi, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Ana Gabriela Itokazu Canzian da Silva, Msc.
Avaliadora
Auburn University

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer meus pais que sempre me proporcionaram as melhores oportunidades e me ajudaram e apoiaram nas minhas escolhas.

Aos amigos que fiz ao longo do caminho, principalmente a Karina, Vic e Luana por todas as risadas, conversas, e apoio ao longo desses anos.

Ao meu orientador Leonardo Rubi Rörig por me auxiliar ao longo dos anos no LAFIC e no projeto de TCC, também aos membros da banca Prof. José Bonomi Barufi e Gabii por terem aceitado e disponibilizado tempo para me ajudar a finalizar essa etapa.

A todas as pessoas que conheci no LAFIC e na graduação que me ajudaram a chegar neste momento.

RESUMO

O gênero *Ulva* compreende um grupo de 130 espécies taxonomicamente aceitas e se distribuem em diversos locais do mundo. O cultivo das espécies de *Ulva* como monocultura pode gerar uma alta qualidade de biomassa que podem resultar em bioprodutos destas algas. No presente trabalho foi feita uma revisão bibliográfica com análise crítica com levantamento de estudos sobre o potencial uso de *Ulva* spp, utilizando bases de dados selecionadas e restrição de data para consulta das publicações a partir de 2011. Além disso, foi feita a identificação dos principais países responsáveis por estudos sobre bioprocessos e bioprodutos de espécies do gênero *Ulva* (Chlorophyta, Ulvophyceae). Foram encontrados diversos potenciais usos de *Ulva* sp. como por exemplo: biocombustíveis, ração para aquicultura, biorremediadores, biofertilizantes/bioestimulantes e para aplicações farmacêuticas. A maior quantidade de estudos ocorreu em universidades e centros de pesquisas da Europa e Ásia, continentes com universidades com maiores investimentos e também maiores problemas com o gênero *Ulva* nos seus corpos d'água devido as florações. Palavras-chave: *Ulva*, biomassa, biotecnologia.

ABSTRACT

The genus *Ulva* comprises a group of 130 taxonomically accepted species that are distributed in different parts of the world. The cultivation of *Ulva* species as a monoculture can generate a high quality of biomass that can be used as bioproducts. This work presents a literature review performed with a survey of studies about the potential use of *Ulva* spp, using selected databases and date restriction (from 2011 onwards) to consult publications. In addition, the main countries responsible for studies on bioprocesses and bioproducts of species of the *Ulva* genus (Chlorophyta, Ulvophyceae) were identified. Multiple different potential uses of the *Ulva* genus were found, for example: biofuels, aquaculture feed, bioremediator, biofertilizers/biostimulants and pharmaceutical applications. Europa and Asia were the continents with the most universities e research centers that conduct studies since the great investments in this area and issues with *Ulva* spp.

Keywords: *Ulva*, biomass, biotechnology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Morfologia da *Ulva*.

Figura 2 - Principais unidades de dissacarídeos da ulvana

Figura 3 - Composição e funções do polissacarídeo ulvana

Figura 4 - Exemplo de biorrefinaria com resíduo zero baseado em *Ulva* sp

Figura 5 - Processos para obtenção de biocombustíveis a partir da biomassa de *Ulva*.

Figura 6 – Localização das universidades e centros de pesquisas responsáveis pelos artigos disponíveis no Web of Science.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos efeitos dos tratamentos de biomassa na produção de metano em espécies de *Ulva*.

Tabela 2 - Atividades biológicas de diferentes espécies de *Ulva*.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABE - Acetona, butanol e etanol

IMTA - Sistema de Aquicultura Multitrófica Integrada

SHF – Hidrólise separada da fermentação

SSF – Hidrólise simultânea à fermentação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. METODOLOGIA	16
4. DESENVOLVIMENTO	17
4.1. ESTRATÉGIAS PARA EXTRAÇÃO DE COMPONENTES DE <i>Ulva</i>	17
4.1.1. Biorrefinaria	17
4.2. POTENCIAL DO GÊNERO <i>Ulva</i>	18
4.2.1 Alimento para animais.....	18
4.2.2. Biocombustíveis.....	20
4.2.2.1. Biometano/bio-hidrogênio.....	22
4.2.2.2. Bioetanol	24
4.2.2.3. Biodiesel.....	25
4.2.2.4. Bio-óleo	26
4.2.3. Biorremediação.....	27
4.2.4. Biofertilizante e bioestimulante.....	28
4.2.5. Biopesticida	29
4.2.6. Aplicações biomédicas.....	30
4.3. PRINCIPAIS PAÍSES RESPONSÁVEIS PELOS ESTUDOS ENVOLVENDO USOS DE ESPÉCIES DE <i>Ulva</i>	32
5. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Ulva* foi primeiramente identificado por Linnaeus em 1753 (KONG, 2011) e atualmente compreende um grupo de 130 espécies taxonomicamente aceitas, possuindo ampla diversidade citológica e morfológica. Apesar dessa ampla diversidade, muitas espécies são difíceis de distinguir e identificar pois macroscopicamente são similares. Elas podem ser (A) distromáticas, com duas camadas espessas de células em toda a sua extensão (Fig.1a), (B) monostromáticas e tubulares, com uma camada de célula em toda sua extensão, podendo ser simples ou ramificada (Fig.1b) e (C) uma mistura entre lâmina distromática, margens tubulares e lâmina monostromática (Fig.1c) (NORRIS, 2010).

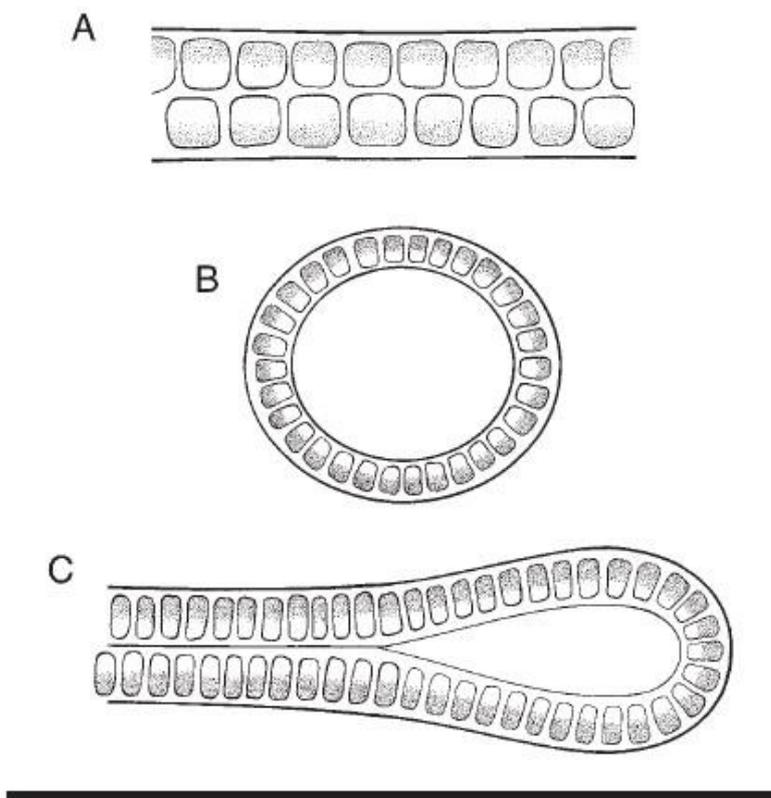


Figura 1: Morfologia de *Ulva* spp.- a) distromática b) monostromática c) lâminas distromáticas, margens tubulares e lâmina monostromática. Fonte: (Norris, 2010).

As espécies de *Ulva* são encontradas em todo o mundo, em ambientes predominantemente marinhos e de estuário, de clima tropical a polar. Elas ocupam zonas entre marés se fixando em substratos através do disco basal (GUIRY e GUIRY, 2019), mas podem também ser encontradas espécies de vida livre que flutuam em correntes marinhas (MELTON et al., 2016). Esses organismos encontrados em vida livre ocupam a coluna d'água sendo capazes de se libertar da competição por substrato e de seus predadores bentônicos (SMETACEK e ZINGONE, 2013). Como resultado, essas formas de vida livre estão aptas a crescer e formar altas concentrações de biomassa nos ambientes em que habitam (SMETACEK e ZINGONE, 2013).

Como consequência dessa alta taxa de crescimento, da alta variedade de ambientes, climas ocupados e o aumento mundial da entrada de nutrientes em águas costeiras, as espécies de *Ulva* podem formar florações nos ecossistemas costeiros (TEICHBERG et al. 2010).

As florações da *Ulva* tornam ambientes costeiros indesejáveis para uso humano e diminuem bastante o interesse comercial nessas áreas, pois uma grande quantidade de algas pode ocupar a linha de costa produzindo maus odores ao se decomporem (WILCE et al., 1982) prejudicando o turismo e a pesca. Além disso, as florações também desestruturam drasticamente as comunidades naturais e a função dos ecossistemas nos ambientes afetados. A decomposição de matéria orgânica das algas promove condições anóxicas que levam à morte de peixes e crustáceos (OESTERLING e PIHL, 2001).

Diferentemente das florações, o cultivo das espécies de *Ulva* como monocultura pode gerar uma biomassa de alta qualidade com uma composição bastante regular. A composição média de algas verdes é caracterizada por 11% de proteínas, 36% de carboidratos e 53% de minerais como cálcio, ferro e fósforo (CASTRO-GONZÁLEZ, 1996). A biomassa de *Ulva* spp. pode ser processada e os resíduos usados como fertilizante para agricultura, misturados com ração para animais, processados como alimentos, biocombustíveis e ainda produtos com aplicação farmacológica (CHARLIER et al., 2006).

Um dos principais bioprodutos de interesse de *Ulva* spp. é um polissacarídeo encontrado na parede celular destas macroalgas chamado ulvana. A ulvana (Figura 2) é composta por ramnose, ácido glucurônico, ácido idurônico, xilose, glicose entre outros componentes e representa 9-36% do peso seco destas macroalgas (LAHAYE e ROBIC, 2007). A ramnose é um composto de interesse por afetar a imunidade das plantas (STADNIK e FREITAS, 2014). Ácidos urônicos são constituintes importantes em glicosaminoglicanos de mamíferos (GAGs). Os GAGs têm propriedades terapêuticas relacionadas com sua capacidade de se ligar a proteínas e têm efeitos anticoagulantes e atividades regenerativa, antiviral, antiproliferativa e anti-inflamatória.

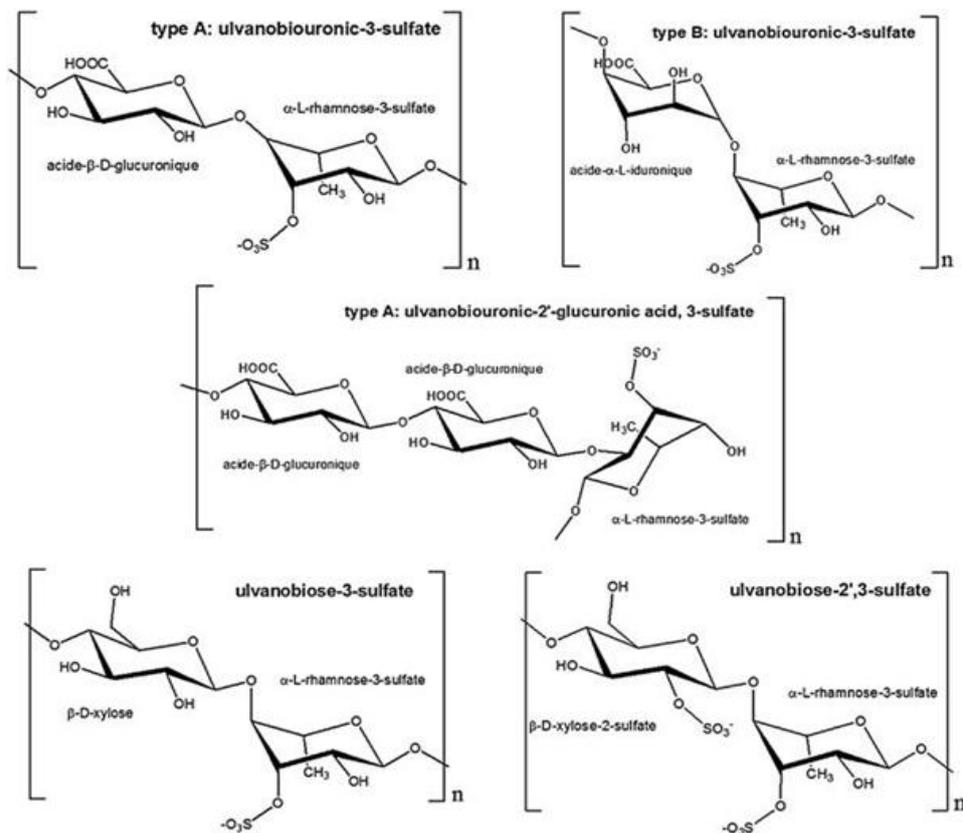


Figura 2 – Principais unidades de dissacarídeos da ulvana. Fonte: (STIGER-POUVREAU; BOURGOUGNON; DESLANDES, 2016, p. 223-274)

A ulvana possui uso potencial em diversas áreas biotecnológicas como: biomaterial, nutracêutico, comidas funcionais e agricultura (Figura3) (CUNHA e GREINHA, 2016).

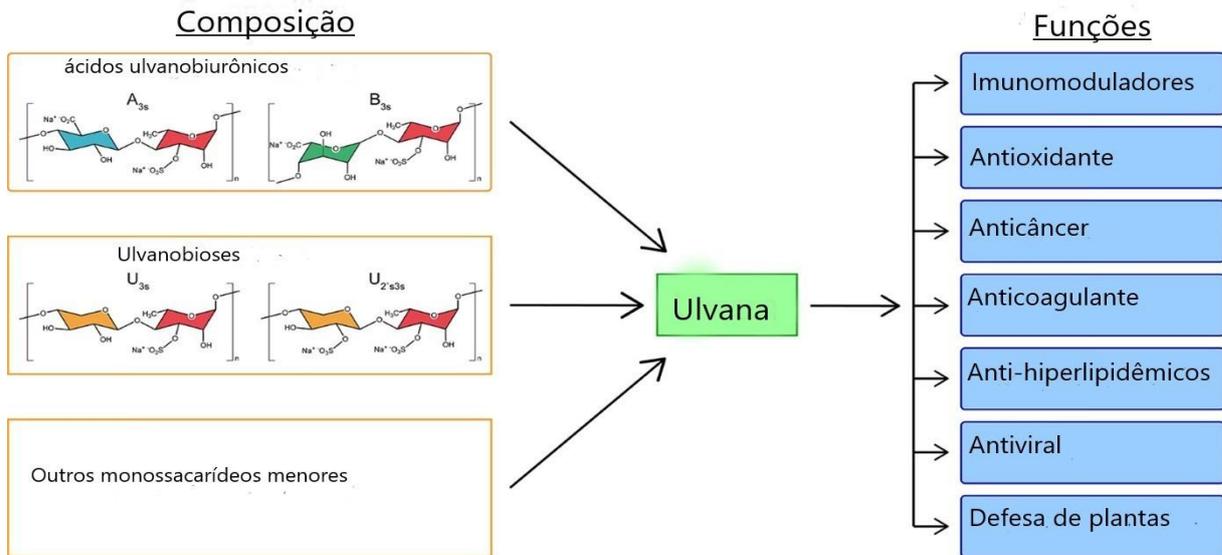


Figura 3 – Composição e funções do polissacarídeo ulvana. Fonte: modificado de KIDGELL, 2019.

As macroalgas de maneira geral podem contribuir para a solução de um dos futuros problemas da humanidade que é o aumento da população humana e conseqüentemente, o aumento da necessidade de alimento. Elas também podem ajudar na busca crescente desta população por alimentos mais saudáveis, capazes de diminuir o risco de doenças (alimentos funcionais) (HONKANEN et al., 2009). Polissacarídeos, pigmentos, proteínas e aminoácidos presentes nas macroalgas são potenciais ingredientes para alimentos funcionais, já que eles possuem características anticancerígenas, anti-inflamatórias e outros usos farmacêuticos (LORDAN e STANTON, 2011). Esses componentes presentes nas macroalgas podem ser influenciados pelos parâmetros de crescimento dessas algas (PLAZA et al., 2008). Sendo assim, as algas podem ser consideradas como biorreatores, capazes de prover diferentes tipos de componentes em diferentes medidas. Embora esta seja uma característica interessante para a indústria de alimentos e farmacêutica, se faz necessário mais pesquisas abordando aspectos como a composição química, a extração e a toxicidade destes componentes, além de sua exata funcionalidade.

Utilizando sites de busca sobre pesquisa acadêmica é possível encontrar 4.779 resultados referentes a trabalhos científicos envolvendo a *Ulva*. Chegou-se a esse número devido ao grande potencial de uso das espécies de *Ulva*, se fazendo necessária uma revisão e síntese do tema, expandindo e conceitualizando novos

tópicos à medida que as pesquisas em relação ao assunto continuam se desenvolvendo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fazer o levantamento de artigos científicos, teses e dissertações em bases específicas, voltadas para a aplicação e possíveis usos do gênero *Ulva* (Chlorophyta, Ulvophyceae).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar e analisar informações sobre publicações do gênero *Ulva* e desenvolver um texto crítico sobre elas, analisando os temas mais explorados e consolidados como biorremediação e uso na aquicultura, indicando os temas com maiores lacunas de conhecimento e dificuldade de consolidação.
- Identificar os principais países responsáveis por estudos sobre os bioprocessos e bioprodutos de espécies do gênero *Ulva*.

3. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi realizada com análise crítica, por meio de levantamento de estudos sobre o potencial uso de *Ulva* spp., utilizando as seguintes bases de dados: Science Direct e Springer Link.

Estabeleceu-se restrição de data para a consulta das publicações a partir do ano de 2011. A pesquisa consistiu em analisar os diversos tipos de usos potenciais de *Ulva* spp., e suas aplicações. Os descritores utilizados foram: bioenergia, biorremediação, *Ulva*, ulvana, biorrefinaria (bioenergy, bioremediation, *Ulva*, ulvan, biorefinery). Após análise dos artigos resultantes dessa busca, foram examinados os estudos citados por esses artigos até o esgotamento dos mesmos.

Para a identificação dos países com maior quantidade de estudos sobre os usos de *Ulva* foi utilizado a base de dados do Web of Science com descritores usados em códigos. Os artigos obtidos foram analisados no programa R com o pacote bibliometrix.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. ESTRATÉGIA PARA EXTRAÇÃO DE COMPONENTES DE ULVA

4.1.1. Biorrefinaria

Nas últimas décadas, o processo produtivo para a utilização das macroalgas focou apenas em um componente da alga, gerando apenas um tipo de bioproduto, enquanto o resíduo sólido ou líquido da alga era inutilizado (ZOLLMANN *et al.*, 2019). Se fracionados os componentes das macroalgas podem fornecer produtos químicos úteis para várias indústrias (SUUTARI *et al.*, 2015; SRIDEVI e TANGAVEL, 2015).

Devido à sua tolerância a diversos tipos de ambiente e sua alta produtividade (Goecke *et al.*, 2013), as espécies de *Ulva* têm potencial para se tornar matéria prima ideal para as biorrefinarias (Robin *et al.*, 2017). Com a possibilidade de fracionamento da biomassa de *Ulva* spp. diversos tipos de componentes como carboidratos, lipídios, amido, proteínas, vitaminas e minerais (Wells *et al.*, 2017) podem ser utilizados em diversos tipos de indústrias. Para extrair esses componentes vários tipos de processos estão sendo testados e utilizados como: moagem mecânica, tratamentos ácidos e alcalinos, tratamento com polissacaridase, choque osmótico, ultrassom e campo elétrico pulsado (Postma *et al.*, 2018). Na figura 4, um exemplo de fracionamento de biomassa de *Ulva* spp. através da biorrefinaria.

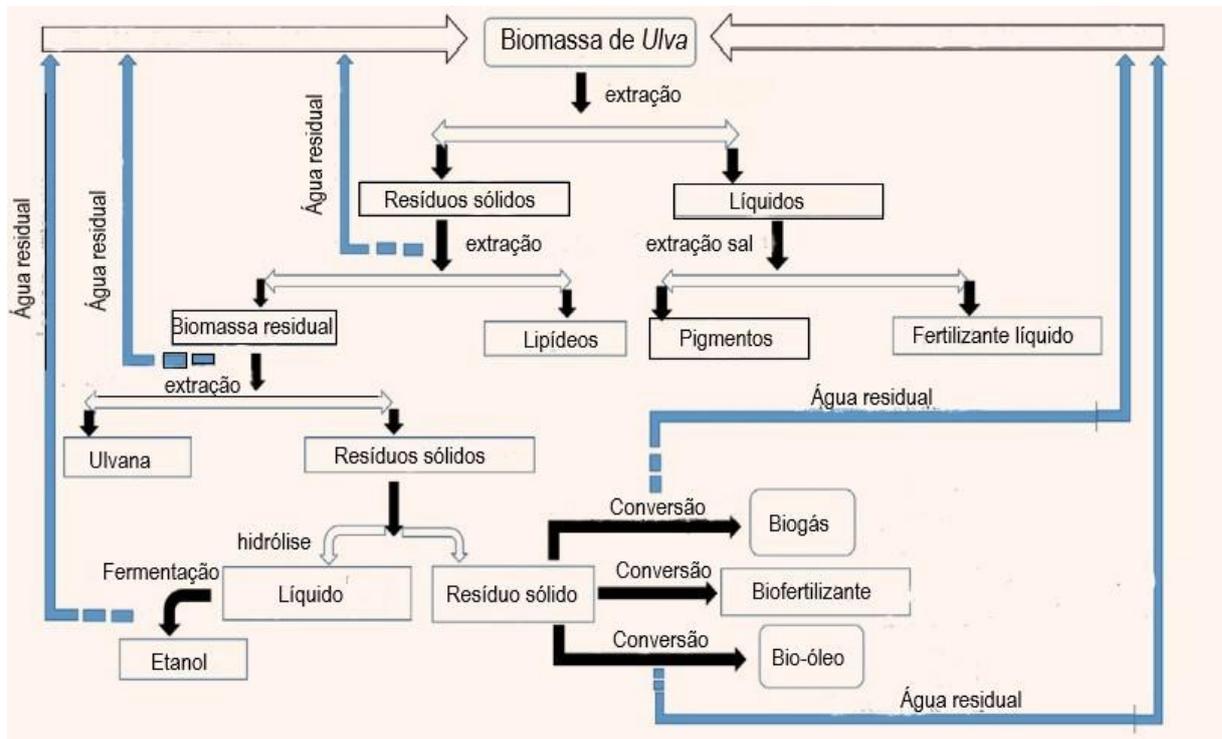


Figura 4 - Exemplo de biorrefinaria com resíduo zero baseado em *Ulva* sp. Fonte : adaptado de RAJAK *et al.*, 2020.

Há uma questão de valor de mercado destes componentes, já que há uma dificuldade em sua produção em larga escala para os mercados de *commodities* (BLEAKLEY E HAYES, 2017). Ainda há a necessidade de desenvolvimento de novos produtos e tecnologia para agregar valor aos componentes de *Ulva* spp..

4.2. POTENCIAL DO GÊNERO *ULVA*

4.2.1 Alimento para animais

O sabor de peixes, mariscos e crustáceos é um dos principais atributos para a escolha do consumidor no momento da compra desses produtos de pesca.

Animais de água doce costumam ser descritos por consumidores como menos saborosos que animais marinhos (BOYLE et al., 1992). Além disso, animais provenientes da aquicultura possuem um sabor diferente dos animais pescados em rios, lagos e oceanos (CARTON E JONES, 2013). Um dos principais compostos que influenciam no melhor sabor dos produtos de pesca marinhos são os bromofenóis (BOYLE et al., 1992), que são compostos de alta concentração em produtores primários como *Ulva* spp. (WHITFIELD et al., 2002).

Na aquicultura existe a possibilidade de potencializar o sabor dos pescados através da elevação de bromofenóis naturais da carne (BOYLE et al., 1993). O dimetilsulfeto também é um composto creditado por contribuir com o aroma característico do mar e a possível capacidade de contribuir com o sabor de frutos do mar (BROOKE et al., 1968; BOYLE et al., 1993). A habilidade de potencializar o sabor dos animais produzidos pode ser vantajosa para o valor econômico do produto final.

Dietas incorporando 5% de *Ulva* como suplemento alimentar para alevinos da espécie *Dicentrarchus labrax* podem ser ingeridas sem alterar negativamente o crescimento e a sobrevivência do peixe (WASSEF et al., 2013). Na espécie *Oreochromis niloticus* esta inclusão pode ser de até 10% de *Ulva* sem alterar negativamente as propriedades do animal (MARINHO et al., 2013; VALENTE et al., 2016), aumentando a resposta imune do mesmo (VALENTE et al., 2016). Uma inclusão de 20-30% de *Ulva* na dieta do peixe *Lates calcarifer* realçou diversos tipos de atributos organolépticos do pescado (JONES et al., 2016).

Além de melhorar o sabor dos produtos de pesca, as espécies de *Ulva* podem aumentar o crescimento de determinados animais. Durante o ciclo de vida completo de ouriços da espécie *Tripneustes gratilla* em cativeiro, o consumo de *Ulva armoricana* fresca resulta em um maior crescimento somático dos ouriços quando comparados à rações formuladas sem *Ulva* (CYRUS et al., 2015). Uma ração produzida com 20% de biomassa de *Ulva* seca é capaz de melhorar o crescimento das gônadas de *Tripneustes gratilla* (CYRUS et al., 2015). Usando *Ulva lactuca* produzida em um sistema integrado multitrófico como alimento único de *Tripneustes gratilla elatensis*, houve crescimento somático e gonadal do ouriço (SHPIGEL et al., 2018). Em adultos selvagens de *Tripneustes gratilla* uma alimentação de ração com 20% de biomassa de *Ulva* seca produz gônadas de tamanho e cor aceitáveis comercialmente, indicando

o potencial uso desta alimentação para o sucesso comercial da espécie na aquicultura (CYRUS et al., 2013). Para a alimentação de *Haliotis laevigata*, uma dieta de 5% de *Ulva* sp. é recomendada para melhorar a atividade digestiva do molusco e conseqüentemente o crescimento do mesmo (BANSEMER et al., 2016). Uma inclusão de até 20% de *Ulva* sp. não compromete o crescimento do abalone e pode substituir a farinha de soja como proteína na dieta do molusco (BANSEMER et al., 2016), fato observado também para as espécies juvenis de *Haliotis asinina* alimentadas com *Ulva pertusa* enriquecida (SANTIZO-TAAN et al., 2019).

A presença de espécies de *Ulva* na dieta de animais também pode contribuir para a imunidade e combate de doenças nesses seres vivos. A incorporação de 5% de *Ulva ohnoi* na dieta de *Solea senegalensis* (linguado do Senegal) diminuiu o número de patógenos no fígado deste peixe (FUMANAL et al., 2020) e também pode ser usada melhorando o epitélio intestinal do mesmo (VIZCAÍNO et al., 2019). Essa incorporação deve ocorrer por um curto período de tempo para não afetar o crescimento desses animais (VIZCAÍNO et al., 2019).

Ulva spp. apresentam um alto potencial para a nutrição de animais porém, seus altos níveis de minerais e, eventualmente, metais pesados podem afetar a saúde e crescimento dos animais sendo necessários maiores estudos sobre o tema (MORONEY et al., 2012; MAKKAR et al., 2016).

4.2.2. Biocombustíveis

O biocombustível gerado por macroalgas pode ser uma solução promissora para desafios energéticos e ambientais (YAHMED et al., 2017), principalmente em locais onde há uma área escassa para produção de biocombustíveis de origem terrestre, já que as espécies de *Ulva* podem ser cultivadas em águas residuais e também marinhas.

As espécies de *Ulva* podem ser aplicadas como matéria prima para biocombustíveis, considerando-se algumas características da alga como a mudança da composição da biomassa em diferentes estações e condições climáticas (KHAIRY e EL-SHAFAY, 2013) assim como os diferentes tipos de processos da fermentação.

As macroalgas em geral possuem uma alta produção de biomassa (MURPHY et al., 2013). A produção primária líquida de *Ulva* spp. está entre as mais altas se comparada a produção primária líquida de outras culturas para biocombustíveis, como por exemplo milho, trigo e arroz (CHEMODANOV et al., 2017). Além disso, a transformação da biomassa de macroalgas para biocombustíveis requer menos etapas de processo do que a biomassa de plantios lignocelulósicos (RAJAK et al., 2020).

Apesar dessas vantagens, as macroalgas são responsáveis por apenas uma pequena porcentagem da biomassa produzida no mundo, com menos de 30×10^6 toneladas, comparado a 16×10^{11} toneladas de biomassa terrestre (BUSCHMANN et al., 2017). Isso se dá pela competição com outras atividades econômicas perto da costa e também pela coleta de macroalgas exclusivamente na natureza, levando a uma superexploração de espécies facilmente encontradas na região (BUSCHMANN et al., 2017). Uma alternativa para uma maior produção de biomassa algal para a fabricação de biocombustíveis é o cultivo offshore. O desenvolvimento de um modelo matemático para o crescimento de *Ulva* spp. mostrou que o potencial de produção dessas algas é capaz de prover quantidade suficiente de biomassa para suprir parte das projeções de demanda por biocombustíveis para o futuro (LEHAHN et al., 2016).

Na figura 5 é possível observar quais biocombustíveis são produzidos através da biomassa de *Ulva* spp..

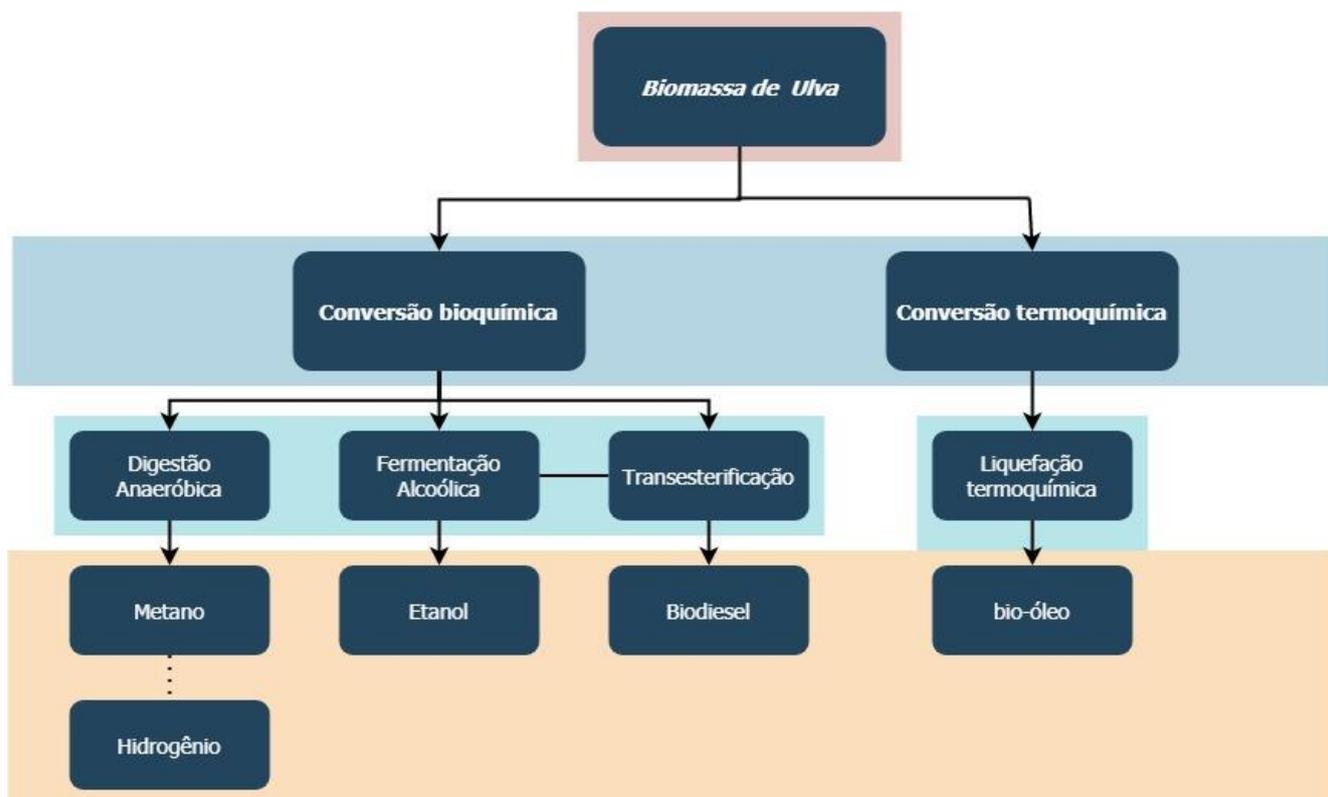


Figura 5 - Processos para obtenção de biocombustíveis a partir da biomassa de *Ulva*.

4.2.2.1. Biometano/bio-hidrogênio

A digestão anaeróbica é um dos processos mais eficientes e ambientalmente benéficos para a produção de biogás (HUGHES et al., 2012; OLABI, 2012; KARRAY et al., 2017). O processo se divide em três etapas: hidrólise, fermentação e metanogênese. Na hidrólise, os polissacarídeos presentes na alga são quebrados em açúcares solúveis. A fermentação converte esses açúcares em álcool, ácido acético, ácidos graxos voláteis e gases contendo CO_2 e H_2 , que são convertidos por metanógenos em metano e gás carbônico (CANTRELL et al., 2008).

A proporção de carbono e nitrogênio (C/N) da matéria-prima é importante para avaliar o potencial da biomassa para a digestão anaeróbica (YEN e BRUNE, 2007). A digestão anaeróbica de biomassa com baixa proporção C/N produz acúmulo de amônia e aumento de pH, promovendo um ambiente tóxico para o desenvolvimento da bactéria metanogênica (NIELSEN et al., 2012).

Uma das formas de aumentar a proporção C/N na matéria prima para a produção de biogás é a mistura entre a biomassa das algas e um composto rico em nitrogênio como resíduos de comida e composto agrícola (HUGHES et al., 2012). A co-digestão de 15% de *Ulva* spp. com 85% de resíduos agrícolas gerou uma produção de metano 26% maior do que os resíduos agrícolas sendo utilizados sozinhos (COSTA et al., 2012). Akila et al. (2019) concluiu que uma mistura (3:1) de *Ulva* sp. com matéria orgânica (esterco de vaca) resultou em um rendimento teórico de metano de 386 ± 26 mL/g VS, com partes do resíduo sólido sendo usadas como biofertilizantes, maximizando o uso de *Ulva* sp. de uma forma ecológica e sustentável. Outra forma de maximizar a produção de biogás a partir da biomassa de *Ulva* foi apresentada por Mhatre et al. (2019) que realizou extrações de minerais, proteínas e também da ulvana durante o processo de produção do biometanol. A produção de biometano atingiu o seu máximo no resíduo de *Ulva lactuca*, sem a presença de ulvana e de uma seiva (sap) composta por nutrientes residuais, aminoácidos e vitaminas, com um rendimento de metano de 576.33 ± 2.42 mL CH₄/g VS. A retirada de proteínas e ulvana aumentou a eficiência do processo de produção de metano e também foi benéfica diante da possibilidade de produtos de valor agregado feitos a partir destas proteínas retiradas. O biometano pode ser usado para a produção de calor, eletricidade e combustível para transportes (HUGHES et al., 2012; KIM et al., 2014).

A fase acidogênica da digestão anaeróbia é o processo de fermentação feito no escuro. Essa fermentação pode gerar produtos como o bio-hidrogênio, como foi apontado por Margareta et al. (2020), que utilizou biomassa de espécies de *Ulva* com um pré-tratamento ácido termal e o uso de *Clostridium butyricum* para o processo de fermentação, atingindo assim o maior nível de produção de hidrogênio no estudo (2.340 mL/L).

Tabela 1 - Comparação dos efeitos dos tratamentos de biomassa na produção de metano em espécies de *Ulva*.

Espécie	Pré-tratamento	Rendimento metano (mL.g-1 VS)	Referência
<i>Ulva lactuca</i>	extração de ulvana	225,65± 24,64	(MHATRE et al.,2019)
<i>Ulva sp</i> : esterco de vaca (3:1)	co-digestão	386 ± 26	(AKILA et al.,2019)
<i>Ulva lactuca</i>	extração de ulvana e Sap	408,81 ± 20.02	(MHATRE et al.,2019)
<i>Ulva lactuca</i>	extração de ulvana, Sap e proteína	323,37± 21.71	(MHATRE et al.,2019)
<i>Ulva sp.</i>	não tratada	196 ± 90,00	(COSTA et al.,2012)
<i>Ulva lactuca</i>	lavagem e secagem	250	(ALLEN et al.,2013)
<i>Ulva lactuca</i>	ulva cortada	162	(BRUHN et al.,2011)
<i>Ulva lactuca</i>	lavagem e tratamento térmico	187 ± 20	(BRUHN et al., 2011)
<i>Ulva sp.</i>	co-digestão	296 ± 19,00	(COSTA et al.,2012)
<i>Ulva lactuca</i>	lavagem e maceração	255 ± 47,70	(NIELSEN e HEISKE,2011)
<i>Ulva lactuca</i>	co-digestão	259 ± 8,00	(NIELSEN e HEISKE,2011)
<i>Ulva sp.</i>	tratamento fungíco	153	(YAHMED et al.,2017)
<i>Ulva rigida</i>	seca	150	(KARRAY et al.,2017)

4.2.2.2. Bioetanol

Para a produção de bioetanol a partir da *Ulva* é necessário um pré-tratamento, hidrólise e fermentação de sua biomassa. O pré-tratamento pode envolver processos físicos, químicos e biológicos (IBRAHIM, 2012) e seu sucesso depende do encontro de pré tratamentos econômica e ambientalmente viáveis (DOMINGUEZ e LORET, 2019). Hamouda *et al.* (2016) observou uma série de pré-tratamentos químicos e biológicos que liberaram uma grande quantidade de açúcar que podem ser usados para a produção de etanol.

A hidrólise pode ocorrer separadamente da fermentação (SHF), simultaneamente à fermentação (SSF) ou simultaneamente à fermentação e à produção de enzima (CBP) (RAJAK et al., 2020). A utilização do processo SHF produziu 8,6 g/L de concentração de etanol através da biomassa de *Ulva intestinalis* e 7,6 g/L de concentração de etanol foram atingidas com a mesma alga em um processo SSF com a presença de *Saccharomyces cerevisiae* (CHO et al., 2013). Yanagisawa et al. (2011) concluiu que uma concentração de 7,2 g/L de etanol pode ser produzida pelo método de hidrólise e fermentação simultânea usando *Ulva pertusa* e glândulas intestinais da vieira. Esta mesma alga produziu uma concentração de 18,5 g/L de etanol por hidrólise enzimática de glucanos seguida de uma fermentação com *S. cerevisiae* (YANAGISAWA et al., 2011).

Uma possibilidade de otimizar os rendimentos do etanol é melhorar a faixa de utilização do substrato, com a produção de novos estudos sobre a efetividade da imobilização de células de levedura (PARK et al., 2012; AZHAR et al., 2017; KOPSAHELIS et al., 2009). Fermentação da biomassa de *Ulva lactuca* usando a cepa imobilizada de *S. cerevisiae* produziu etanol com eficiência de 47,1% (EL-SAYED et al., 2016). Mas para produzir uma alta concentração de etanol é necessário que se convertam outros carboidratos além do glucano em açúcar (YANAGISAWA et al., 2013). Van der Wal et al. (2013) utilizando o método de fermentação de acetona, butanol e etanol (ABE) constataram que em torno de 90% dos açúcares (galactose, ramnose, glucose e xilose) de *Ulva lactuca* foram solubilizados utilizando pré-tratamentos e hidrólise enzimática. Após este processo, uma alta produção de ABE (0,35g ABE/g de açúcar consumido) foi atingida usando *Clostridium acetobutylicum* e *C. beijerinckii*. Este resultado mostra grande potencial da *Ulva lactuca* para produção de ABE.

4.2.2.3. Biodiesel

O biodiesel pode ser uma alternativa aos combustíveis fósseis (CHEN et al., 2011). A produção de biodiesel pode ser feita através de diversas matérias primas naturais, inclusive macroalgas como *Ulva* spp., que são consideradas fontes de biocombustíveis de terceira geração (SMYTH et al., 2010). O principal benefício da

biomassa de *Ulva* para a produção de biodiesel é que ela pode ser cultivada em larga escala com baixo investimento (GREEN-RUIZ *et al.*, 2005).

A transesterificação é um dos processos utilizados para esta produção. A reação deste processo é conhecida como alcoólise, que usa óleo e álcool na presença de um catalisador para a produção de éster e glicerol (SHUIT *et al.*, 2013).

Kalavathy e Baskar (2019) extraíram o óleo algal da biomassa de *Ulva lactuca* a partir de um processo de autoclavagem e ultrassonificação onde o máximo de porcentagem de óleo atingido de 10,54% (w/w) foi alcançado com 0,15 mm de biomassa, e proporção de 6:1 solvente/sólido a 55°C em 140 minutos. Já para o processo de transesterificação do óleo em biodiesel foi utilizado óxido de zinco com um nanocatalisador heterogêneo. O nível máximo de rendimento de biodiesel alcançado a partir do óleo foi de 97,43% em uma condição de 8% de concentração de catalisador, uma proporção de 9:1 de metanol/óleo, 55°C de temperatura em 50 minutos de reação. Khan *et al.* (2016) utilizando a *Ulva fasciata* como matéria prima, extraíram o óleo algal com n-hexano e a transesterificação ocorreu com a agitação de metanol/óleo em uma proporção de 9:1 na presença de diversos resíduos industriais como catalisadores das reações, alcançando o maior rendimento de biodiesel (88%) com resíduos de poeira de conversores de aço como catalisador. Com a presença de Mn_2ZnO_4 como nanocatalisador as espécies *U. linza*, *U. tubulosa*, *U. fasciata*, *U. rigida* e *U. reticulata* em 80°C de temperatura e 4 horas de reação, atingiram um grande potencial de utilização para produção de biodiesel em larga escala (SIVAPRAKASH *et al.*, 2019).

4.2.2.4. Bio-óleo

A liquefação térmica é um processo que utiliza biomassa algal diretamente. O processo ocorre com diferentes condições de reação na presença de catalisadores (CHEN *et al.*, 2017;). Esse método gera um óleo que pode ser utilizado como combustível para transportes (YU *et al.*, 2014). Espécies de *Ulva* foram identificadas como matérias primas adequadas para mais estudos sobre o processo de liquefação térmica e a produção de bio-óleo (NEVEUX *et al.*, 2014). Yan *et al.* (2019) atingiram um rendimento máximo de óleo de 26,7 wt% com 0,1g de hidróxido de potássio como

catalisador utilizando a *Ulva prolifera* como matéria prima. A liquefação direta assistida por microondas com *U. prolifera* foi feita com etilenoglicol usando ácido sulfúrico como catalisador, atingindo suas ótimas condições com temperaturas de 165°C, 4,93% de conteúdo de catalisador e proporção solvente/matéria prima 18,87:1 (LIU *et al.*, 2013).

4.2.3. Biorremediação

A aquicultura está se expandindo nas últimas décadas (FAO, 2016) e com este crescimento há também, o aumento da preocupação com os ambientes aquáticos perto destas fazendas e criações de animais (TILLER *et al.*, 2012). *Ulva* spp. podem ser utilizadas para o tratamento das águas residuais da aquicultura e agricultura, já que possuem uma absorção eficiente de nutrientes e são capazes de reduzir a concentração de nitrogênio e fósforo dessas águas antes de serem devolvidas para rios e oceanos (SODE *et al.*, 2013).

Um método de produção que visa a prática sustentável na aquicultura além de aspectos econômicos é o Sistema de Aquicultura Multitrófico Integrado (IMTA) (ALEXANDER e HUGHES, 2017). Há algumas restrições para o maior uso de *Ulva* neste sistema, como por exemplo uma alta necessidade de aeração destas algas, fato que aumenta os custos operacionais do sistema (CAINES *et al.*, 2014). BEN-ARI *et al.* (2014) avaliou o impacto da redução da aeração no crescimento, rendimento e composição bioquímica de *Ulva lactuca* em um sistema IMTA. Esse estudo foi capaz de reduzir a aeração em 75% e ainda garantir uma assimilação satisfatória de nitrogênio, alto rendimento de biomassa e proteína. Outro aspecto que precisa ser analisado para a utilização das espécies de *Ulva* é a capacidade de absorção de nitrito (NO₂-N) e nitrato (NO₃-N), que são elementos muito presentes em águas residuais na aquicultura (HU *et al.*, 2012) mas que tem sua absorção reduzida devido ao favorecimento da assimilação da amônia (NH₃, NH₄⁺ e nitrogênio amoniacal total - TAN) (LI *et al.*, 2015). O cultivo de *Ulva* sp. integrado com peixes, mexilhões e camarões também se provou eficiente para biorremediar os efluentes produzidos no sistema, com alta capacidade de assimilar NH₄⁺ e PO₄⁻³ (NARDELLI *et al.*, 2019; AZMAN *et al.*, 2014) e uma capacidade de assimilar nitrato e nitrito após a queda de disponibilidade de amônia (ANÍBAL *et al.*, 2014). Para uma maior assimilação também

do nitrito e nitrato, algumas técnicas podem ser utilizadas como um sistema com integração de *Ulva* sp. com outro organismo com alta capacidade de absorção desses componentes, ou a biofiltração por fases. Um biofiltro constituído de *Ulva*-perifiton foi capaz de absorver uma alta quantidade de TAN e também de nitrato, este último principalmente pela integração de perifiton no sistema, revelando um potencial sinérgico destes organismos no tratamento de efluentes da maricultura (GUTTMAN et al., 2018). Um sistema integrado com *Ulva fasciata* em duas etapas também pode facilitar a remoção do nitrato das águas de efluentes da maricultura (SHAHAR e GUTTMAN, 2020).

As algas também podem ser utilizadas para remover contaminantes orgânicos (GUO et al., 2017) de ambientes aquáticos, como por exemplo o bisfenol (BPA), um material industrial que é usado na produção de plásticos e resinas (CHIU et al., 2018). Na presença de uma floração de *Ulva prolifera* em águas costeiras na cidade de Rushan - China, o bisfenol do meio ambiente foi eficientemente removido (ZHANG et al., 2019) assim como o fenantreno (ZHANG et al., 2017).

4.2.4. Biofertilizante e bioestimulante

Fertilizantes químicos podem causar contaminação do solo, de corpos d'água, além de causar efeitos bioacumulativos nos animais e cultivos, podendo futuramente causar doenças aos consumidores destes alimentos (SHARMA e SINGHVI, 2017).

Uma alternativa para esses fertilizantes é a utilização de extratos de algas como biofertilizantes. Esses extratos são biodegradáveis, prejudicando menos o meio ambiente e podem se tornar alternativas eficientes para a fertilização e bioestimulação de cultivos (PATEL et al., 2018), já que as macroalgas possuem componentes que estimulam a germinação, estimulam o crescimento e aumentam a concentração de pigmentos de fotossíntese (BATTACHARYYA et al., 2015).

Fertilizantes líquidos produzidos com extratos de algas podem ser vantajosos por conter vitaminas, ácidos graxos e serem ricos em reguladores de crescimento (CROUCH e VAN STADEN, 1993). Karthik et al. (2020) preparou um fertilizante líquido com uma mistura de *Turbinaria ornata* e *Ulva reticulata* e avaliou o potencial de

germinação da semente, crescimento da planta e alguns outros critérios bioquímicos de três espécies de cultivos (*Raphanus sativus*, *Phaseolus vulgaris* e *Vigna radiata*). O estudo demonstrou que o fertilizante líquido 100% concentrado dessas duas macroalgas aumentou o crescimento e desenvolvimento das três espécies de cultivos (KARTHIK et al., 2020). Para cultivos de feijão preto (*Vigna mungo*), o fertilizante líquido de *Ulva lactuca* em menores concentrações (0,2% e 0,8%) impactou significativamente o crescimento da planta (CASTELLANOS-BARRIGA et al., 2017). Uma concentração de 2% de fertilizante de extrato de *Ulva reticulata* também aumentou o crescimento dessa mesma espécie de feijão (SELVAM e SIVAKUMAR, 2013).

4.2.5. Biopesticida

Doenças em cultivos estão relacionados com grandes perdas econômicas para a agricultura. Mas o uso de pesticidas químicos para evitar essas doenças traz consequências para o meio ambiente e para a saúde dos fazendeiros e consumidores (BURKETOVA et al., 2015). Com o aumento da preocupação mundial com a saúde humana e com resíduos tóxicos no meio ambiente, há uma crescente busca por produtos mais ecológicos (menos poluentes) para a agricultura. Neste cenário, a ulvana, um polissacarídeo presente nas espécies de *Ulva*, pode contribuir como um componente capaz de gerar uma resistência em algumas espécies de plantas cultiváveis a certas doenças causadas por patógenos (PAULERT et al., 2009; DELGADO et al., 2013). A ulvana quando pulverizada nos cultivos pode aumentar a resistência dos cultivos contra diferentes patógenos (DE FREITAS e STADNIK, 2012)

A defesa induzida pela pulverização da ulvana nos pés de feijão (*Phaseolus vulgaris*) cultivados em estufa reduziu em 60% a gravidade da antracnose causada por *Colletotrichum lindemuthianum* (DE FREITAS e STADNIK, 2012), em 90% a gravidade da oídio causada por *Erysiphe polygoni*, *E. necator* e *Sphaerotheca fuliginea* (JAULNEAU et al., 2011), controlou artificialmente a ferrugem nos pés de feijão (DELGADO et al., 2013), além de proteger os primeiros estágios das folhas de feijão da murcha de fusarium (DE BORBA et al., 2019). Os tratamentos de mudas de tomate com eliciadores de *Ulva lactuca* reduziram drasticamente o desenvolvimento

de murcha causada por *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (EL MODAFAR et al., 2012).

Há algumas questões a serem solucionadas em relação ao uso de biopesticidas e indutores de imunidade algais na agricultura, como por exemplo o mecanismo associado ao reconhecimento da ulvana pelos cultivos (DE FREITAS et al., 2015), além do desafio do funcionamento de biopesticidas e indutores de resistência fora de estufas e em outros ambientes de condição controlada (WALTERS et al., 2013).

4.2.6. Aplicações biomédicas

A ulvana é um polissacarídeo sulfatado encontrado na parede celular de *Ulva* spp. e representa uma parte do peso seco dessas algas (8% a 29%) (WIJESEKARA et al., 2011). A estrutura da ulvana (peso molecular, grau de sulfatação, açúcares constituintes) é influente para o funcionamento e atuação do composto bioativo. Conseqüentemente ulvanas de diferentes espécies apresentam diferentes propriedades farmacológicas. A composição desse polissacarídeo e sua estrutura podem ser utilizadas para diversas aplicações biomédicas (ALVES et al., 2013) desde novos tipos de medicamento e comidas funcionais (WIJESEKARA et al., 2011) até biopolímeros usados para engenharia de tecidos em medicina regenerativa (ALVES et al., 2012).

O amplo potencial de utilização da ulvana na área farmacológica está exemplificado na tabela 2:

Tabela 2 - Atividades biológicas de diferentes espécies de *Ulva*.

Espécies	Atividade Biológica	Referências
<i>U. armoricana</i>	Imunomodulador	(BERRI, 2016, 2017)
	Antioxidante	(HARDOUIN, 2016)
	Antiviral	(HARDOUIN, 2016)
<i>U. clathrata</i>	Anticoagulantes	(OI, 2012, 2013);
	Imunomodulador	(DEL ROCÍO e FAJER-ÁVILA, 2017)
	Antiviral	(AGUILAR-BRISEÑO, 2015)
<i>U. compressa</i>	Antiviral	(LOPES, 2017)
<i>U. fasciata</i>	Anticoagulantes	(DE CARVALHO et al., 2018); (FAGGIO et al., 2016)
	Imunomodulador	(RIZK, MAHA Z. et al., 2016)
	Anticancerígeno	(SHAO et al., 2013, 2014)
	Anti-hiperlipidêmico	(RIZK, MAHA Z. et al., 2016)
<i>U. intestinalis</i>	Imunomodulador	(TABARSA et al., 2018); (RAHIMI et al., 2016); (PEASURA et al., 2016)
	Anticancerígeno	(MATLOUB, 2016); (WANG et al., 2014); (KOSANIĆ et al., 2015)
	Antioxidante	(RAHIMI, 2016); (PEASURA, 2016); (KOSANIĆ et al., 2015)
<i>U. lactuca</i>	Anticoagulantes	(ADRIEN, 2017)
	Imunomodulador	(CHIU, 2012); (DE ARAÚJO, 2016)
	Anticancerígeno	(THANH et al., 2016); (HUSSEIN, 2015); (AL-MALKI, 2020); (KOSANIĆ et al., 2015)
	Antioxidante	(YUAN, 2018); (CHIU, 2012); (HUSSEIN, 2015); (HASSAN, 2011); (KOSANIĆ et al., 2015); (BONDU et al., 2015)
		(RAJA et al., 2016);
	Antiviral	(JIAO, 2012); (CHIU et al., 2012)
	Engenharia de tecido	(BARROS et al., 2013)
	Antibacteriano	(ANJALI et al., 2019); (TAN et al., 2012);
	Anti-hiperlipidêmico	(HASSAN, 2011)
<i>U. linza</i>	Anticoagulantes	(WANG, 2013)
	Imunomodulador	(ZHANG, 2013)
<i>U. nematoídea</i>	Anticoagulantes	(GUERRAS-RIVAS, 2011)
<i>U. ohnoi</i>	Imunomodulador	(FERNÁNDEZ-DÍAZ, COSTE, MALTA, 2017); (PONCE et al., 2020)
<i>U. pertusa</i>	Antioxidante	(LI, 2018)
	Anti-hiperlipidêmico	(LI, 2018); (OI, 2012); (JIANG et al., 2020)
<i>U. prolifera</i>	Imunomodulador	(WEI, 2014)
	Antioxidante	(SHI, 2017); (LI, 2013, 2017); (XU, 2015)
	Anti-hiperlipidêmico	(TENG, 2013)

4.3. PRINCIPAIS PAÍSES RESPONSÁVEIS PELOS ESTUDOS ENVOLVENDO USOS DE ESPÉCIES DE *Ulva*.



Figura 6 – Localização das universidades e centros de pesquisas responsáveis pelos artigos disponíveis no Web of Science. Fonte: Autora (2021).

É possível observar um maior número de artigos em países da Ásia e da Europa (Figura 6). O maior número de artigos em países nesses continentes pode estar relacionado ao maior número de universidades e centros de pesquisa nesses locais, uma vez que as melhores universidades estão localizadas na América do Norte, Europa e Ásia, segundo o Scientific Journal Rankings (SCImago 2021).

Um outro motivo para o maior número de artigos nestes países é resultante dos problemas que *Ulva* spp causaram nessas regiões através das florações. As florações de algas verdes já ocorreram em todo corpo d'água marinho na Europa, Austrália, Nova Zelândia, Hong Kong, Filipinas, Indonésia, Índia, Egito, China e África do Sul (FLETCHER, 1996). Na China, em 2008, uma floração de *Ulva prolifera* ocorreu no local de competição de vela nas olimpíadas na China. Esse evento foi observado pelo

mundo todo e provavelmente responsável pelo maior número de publicações sobre *Ulva* sp nesse país.

Essa biomassa de *Ulva* presente nas florações pode ser utilizada para diversos produtos sendo necessários estudos para comprovar como esta biomassa pode ser explorada.

5. CONCLUSÃO

A utilização de espécies de *Ulva* de maneira comercial, por motivos econômicos, só deverá ser alcançada em um contexto de biorrefinaria, onde compostos da biomassa de *Ulva* seriam extraídos e utilizados separadamente, por diversos tipos de indústrias.

Dentre as aplicações desses compostos, o uso mais consolidado está na aquicultura onde a introdução de *Ulva* na dieta de animais aquáticos aumentou seu crescimento e, em alguns casos, melhorando sua coloração e sabor. Outro uso avançado na aplicação de *Ulva* spp. é na biorremediação, com a grande capacidade de remoção de nitrogênio, fósforo e amônio do meio ambiente, sendo essencial para a expansão do setor aquícola e também no controle desses compostos nos ecossistemas.

Os outros usos de *Ulva* citados, possuem obstáculos em sua aplicação por diversos motivos: a dificuldade no cultivo de *Ulva* em meio extremamente controlado para as aplicações farmacêuticas; a competição com outros produtos mais consolidados e a necessidade de um extenso cultivo para uma grande produção de biomassa no caso dos biocombustíveis, pesticidas e fertilizantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. M. M. et al. Seasonal variation in *Laminaria digitata* and its impact on biochemical conversion routes to biofuels. **Bioresource technology**, v. 102, n. 21, p. 9976-9984, 2011.

ADRIEN, Amandine et al. Evaluation of the anticoagulant potential of polysaccharide-rich fractions extracted from macroalgae. **Natural product research**, v. 31, n. 18, p. 2126-2136, 2017.

AGUILAR-BRISEÑO, José Alberto et al. Sulphated polysaccharides from *Ulva clathrata* and *Cladosiphon okamuranus* seaweeds both inhibit viral attachment/entry and cell-cell fusion, in NDV infection. **Marine drugs**, v. 13, n. 2, p. 697-712, 2015.

AKILA, Varatharajan et al. Biogas and biofertilizer production of marine macroalgae: An effective anaerobic digestion of *Ulva* sp. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 18, p. 101035, 2019.

ALEXANDER, K. A.; HUGHES, A. D. A problem shared: Technology transfer and development in European integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). **Aquaculture**, v. 473, p. 13-19, 2017.

ALLEN, E. et al. The potential of algae blooms to produce renewable gaseous fuel. **Waste management**, v. 33, n. 11, p. 2425-2433, 2013.

AL-MALKI, Abdulrahman L. In vitro cytotoxicity and pro-apoptotic activity of phycocyanin nanoparticles from *Ulva lactuca* (Chlorophyta) algae. **Saudi journal of biological sciences**, v. 27, n. 3, p. 894-898, 2020.

ALVES, Anabela et al. PDLLA enriched with ulvan particles as a novel 3D porous scaffold targeted for bone engineering. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 65, p. 32-38, 2012.

ALVES, Anabela; SOUSA, Rui A.; REIS, Rui L. In vitro cytotoxicity assessment of ulvan, a polysaccharide extracted from green algae. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 8, p. 1143-1148, 2013.

ANÍBAL, Jaime et al. Macroalgae mitigation potential for fish aquaculture effluents: an approach coupling nitrogen uptake and metabolic pathways using *Ulva rigida* and *Enteromorpha clathrata*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 23, p. 13324-13334, 2014.

ANJALI, K. P. et al. Bioprospecting of seaweeds (*Ulva lactuca* and *Stoechospermum marginatum*): The compound characterization and functional applications in medicine-a comparative study. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 200, p. 111622, 2019.

AZHAR, Siti Hajar Mohd et al. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v. 10, p. 52-61, 2017.

AZMAN, Shamila et al. Biofiltration potential of macroalgae for ammonium removal in outdoor tank shrimp wastewater recirculation system. **biomass and bioenergy**, v. 66, p. 103-109, 2014.

BANSEMER, Matthew S. et al. Dietary inclusions of dried macroalgae meal in formulated diets improve the growth of greenlip abalone (*Haliotis laevis*). **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 6, p. 3645-3658, 2016.

BARROS, A. A. A. et al. Carboxymethylation of ulvan and chitosan and their use as polymeric components of bone cements. **Acta biomaterialia**, v. 9, n. 11, p. 9086-9097, 2013.

BATTACHARYYA, Dhriti et al. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39-48, 2015.

BEN-ARI, T. et al. Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system. **Aquaculture**, v. 434, p. 493-498, 2014.

BERRI, Mustapha et al. Marine-sulfated polysaccharides extract of *Ulva armoricana* green algae exhibits an antimicrobial activity and stimulates cytokine expression by intestinal epithelial cells. **Journal of applied phycology**, v. 28, n. 5, p. 2999-3008, 2016.

BERRI, Mustapha et al. Ulvan from *Ulva armoricana* (Chlorophyta) activates the PI3K/Akt signalling pathway via TLR4 to induce intestinal cytokine production. **Algal research**, v. 28, p. 39-47, 2017.

BLEAKLEY, Stephen; HAYES, Maria. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. **Foods**, v. 6, n. 5, p. 33, 2017.

BONDU, Stéphanie et al. Bioassay-guided fractionation approach for determination of protein precursors of proteolytic bioactive metabolites from macroalgae. **Journal of Applied Phycology**, v. 27, n. 5, p. 2059-2074, 2015.

BOYLE, Janet Lynne; LINDSAY, Robert Clarence; STUIBER, David A. Bromophenol distribution in salmon and selected seafoods of fresh- and saltwater origin. **Journal of food science**, v. 57, n. 4, p. 918-922, 1992.

BOYLE, Janet Lynne; LINDSAY, Robert Clarence; STUIBER, David A. Contributions of bromophenols to marine-associated flavors of fish and seafoods. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 1, n. 3-4, p. 43-63, 1993.

BROOKE, Richard O.; MENDELSON, Joseph M.; KING, Frederick J. Significance of dimethyl sulfide to the odor of soft-shell clams. **Journal of the Fisheries Board of Canada**, v. 25, n. 11, p. 2453-2460, 1968.

BRUHN, Annette et al. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: biomass yield, methane production and combustion. **Bioresource technology**, v. 102, n. 3, p. 2595-2604, 2011.

BURKETOVA, Lenka et al. Bio-based resistance inducers for sustainable plant protection against pathogens. **Biotechnology advances**, v. 33, n. 6, p. 994-1004, 2015.

BUSCHMANN, Alejandro H. et al. Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. **European Journal of Phycology**, v. 52, n. 4, p. 391-406, 2017.

CAINES, Scott et al. Intermittent aeration affects the bioremediation potential of two red algae cultured in finfish effluent. **Journal of applied phycology**, v. 26, n. 5, p. 2173-2181, 2014.

CANTRELL, Keri B. et al. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. **Bioresource technology**, v. 99, n. 17, p. 7941-7953, 2008.

CARTON, Alexander G.; JONES, Ben. Post-harvest quality in farmed Lates calcarifer. **Asian Seabass**, p. 229, 2013.

CASTELLANOS-BARRIGA, Laura Gabriela et al. Effect of seaweed liquid extracts from *Ulva lactuca* on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 5, p. 2479-2488, 2017.

CASTRO-GONZÁLEZ, M. I. et al. Chemical composition of the green alga *Ulva lactuca*. **Ciências Marinas**, v. 22, n. 2, p. 205-213, 1996.

CHARLIER, Roger H. et al. Green tides on the Brittany coasts. In: **2006 IEEE US/EU Baltic International Symposium**. IEEE, 2006. p. 1-13.

CHEMODANOV, Alexander et al. Net primary productivity, biofuel production and CO₂ emissions reduction potential of *Ulva* sp.(Chlorophyta) biomass in a coastal area of the Eastern Mediterranean. **Energy Conversion and Management**, v. 148, p. 1497-1507, 2017.

CHEN, Chun-Yen et al. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review. **Bioresource technology**, v. 102, n. 1, p. 71-81, 2011.

CHEN, Yu et al. Catalytic hydrothermal liquefaction for bio-oil production over CNTs supported metal catalysts. **Chemical Engineering Science**, v. 161, p. 299-307, 2017.

CHIU, Jill MY et al. Contamination and risk implications of endocrine disrupting chemicals along the coastline of China: a systematic study using mussels and semipermeable membrane devices. **Science of the total environment**, v. 624, p. 1298-1307, 2018.

CHIU, Ya-Huang et al. Inhibition of Japanese encephalitis virus infection by the sulfated polysaccharide extracts from *Ulva lactuca*. **Marine biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 468-478, 2012.

CHO, YuKyeong; KIM, Min-Ji; KIM, Sung-Koo. Ethanol production from seaweed, *Enteromorpha intestinalis*, by separate hydrolysis and fermentation (SHF) and simultaneous saccharification and fermentation (SSF) with *Saccharomyces cerevisiae*. **Ksbb Journal**, v. 28, n. 6, p. 366-371, 2013.

COSTA, J. C. et al. Biomethanation potential of macroalgae *Ulva* spp. and *Gracilaria* spp. and in co-digestion with waste activated sludge. **Bioresource technology**, v. 114, p. 320-326, 2012.

CROUCH, I. J; VAN STADEN, J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. **Plant growth regulation**, v. 13, n. 1, p. 21-29, 1993.

CUNHA, Ludmylla; GRENHA, Ana. Sulfated seaweed polysaccharides as multifunctional materials in drug delivery applications. **Marine drugs**, v. 14, n. 3, p. 42, 2016.

CYRUS, Mark D. et al. The development of a formulated feed containing *Ulva* (Chlorophyta) to promote rapid growth and enhanced production of high quality roe in the sea urchin *T. ripneustes gratilla* (Linnaeus). **Aquaculture Research**, v. 45, n. 1, p. 159-176, 2013.

CYRUS, Mark D.; BOLTON, John J.; MACEY, Brett M. The role of the green seaweed *Ulva* as a dietary supplement for full life-cycle grow-out of *Tripneustes gratilla*. **Aquaculture**, v. 446, p. 187-197, 2015.

DE ARAÚJO, Ianna Wivianne Fernandes et al. Analgesic and anti-inflammatory actions on bradykinin route of a polysulfated fraction from alga *Ulva lactuca*. **International journal of biological macromolecules**, v. 92, p. 820-830, 2016.

DE CARVALHO, Mariana M. et al. Modification of ulvans via periodate-chlorite oxidation: Chemical characterization and anticoagulant activity. **Carbohydrate polymers**, v. 197, p. 631-640, 2018.

DE FREITAS, Mateus B.; STADNIK, Marciel J. Race-specific and ulvan-induced defense responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) against *Colletotrichum lindemuthianum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 78, p. 8-13, 2012.

DE FREITAS, Mateus B. et al. Ulvans induce resistance against plant pathogenic fungi independently of their sulfation degree. **Carbohydrate polymers**, v. 133, p. 384-390, 2015.

DEL ROCÍO QUEZADA-RODRÍGUEZ, Petra; FAJER-ÁVILA, Emma Josefina. The dietary effect of ulvan from *Ulva clathrata* on hematological-immunological parameters and growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 1, p. 423-431, 2017.

DELGADO, Daisy Z.; DE FREITAS, Mateus B.; STADNIK, Marciel J. Effectiveness of saccharin and ulvan as resistance inducers against rust and angular leaf spot in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). **Crop Protection**, v. 47, p. 67-73, 2013.

DOMINGUEZ, Herminia; LORET, Erwann P. *Ulva lactuca*, a source of troubles and potential riches. **Marine drugs**, v. 17, n. 6, p. 357, 2019.

EL-SAYED, W. M. M. et al. Evaluation of bioethanol production from *Ulva lactuca* by *Saccharomyces cerevisiae*. **J Biotechnol Biomater**, v. 6, n. 226, p. 2, 2016.

FAGGIO, C. et al. Evaluation of anticoagulant activity of two algal polysaccharides. **Natural product research**, v. 30, n. 17, p. 1934-1937, 2016.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all, Rome, Italy. 2016.

FERNÁNDEZ-DÍAZ, Catalina; COSTE, Olivier; MALTA, Erik-jan. Polymer chitosan nanoparticles functionalized with *Ulva ohnoi* extracts boost in vitro ulvan immunostimulant effect in *Solea senegalensis* macrophages. **Algal research**, v. 26, p. 135-142, 2017.

FLETCHER, R. L. The occurrence of “green tides”—a review. **Marine benthic vegetation**, p. 7-43, 1996.

FUMANAL, Milena et al. Inclusion of dietary *Ulva ohnoi* 5% modulates *Solea senegalensis* immune response during *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* infection. **Fish & shellfish immunology**, v. 100, p. 186-197, 2020.

GOECKE, Franz et al. Algae as an important environment for bacteria—phylogenetic relationships among new bacterial species isolated from algae. **Phycologia**, v. 52, n. 1, p. 14-24, 2013.

GREEN-RUIZ, C.; RUELAS-INZUNZA, J.; PÁEZ-OSUNA, F. Mercury in surface sediments and benthic organisms from Guaymas Bay, east coast of the Gulf of California. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 27, n. 4, p. 321-329, 2005.

GUERRA-RIVAS, Graciela et al. Screening for anticoagulant activity in marine algae from the Northwest Mexican Pacific coast. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 495-503, 2011.

GUIRY, M.D., GUIRY, G.M., 2019. AlgaeBase [WWW Document]. Natl.Univ. Ireland, Galway. URL <http://www.algaebase.org> (accessed 21.01.21).

GUO, Ruixin et al. Bioaccumulation and elimination of bisphenol a (BPA) in the alga *Chlorella pyrenoidosa* and the potential for trophic transfer to the rotifer *Brachionus calyciflorus*. **Environmental Pollution**, v. 227, p. 460-467, 2017.

GUTTMAN, Lior et al. Combinations of *Ulva* and periphyton as biofilters for both ammonia and nitrate in mariculture fishpond effluents. **Algal Research**, v. 34, p. 235-243, 2018.

HAMOUDA, Ragaa A. et al. Enhancement of bioethanol production from *Ulva fasciata* by biological and chemical saccharification. **Rendiconti Lincei**, v. 27, n. 4, p. 665-672, 2016.

HARDOUIN, Kevin et al. Enzyme-assisted extraction (EAE) for the production of antiviral and antioxidant extracts from the green seaweed *Ulva armoricana* (Ulvales, Ulvophyceae). **Algal Research**, v. 16, p. 233-239, 2016.

HASSAN, Sherif et al. Improvement of lipid profile and antioxidant of hypercholesterolemic albino rats by polysaccharides extracted from the green alga *Ulva lactuca* Linnaeus. **Saudi journal of biological sciences**, v. 18, n. 4, p. 333-340, 2011.

HE, Jinzhe et al. Extraction, structural characterization, and potential antioxidant activity of the polysaccharides from four seaweeds. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 12, p. 1988, 2016.

HU, Zhen et al. Nitrous oxide (N₂O) emission from aquaculture: a review. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 12, p. 6470-6480, 2012.

HUGHES, Adam D. et al. Biogas from Macroalgae: is it time to revisit the idea?. **Biotechnology for biofuels**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2012.

HUSSEIN, Usama K. et al. Chemoprevention of diethylnitrosamine-initiated and phenobarbital-promoted hepatocarcinogenesis in rats by sulfated polysaccharides and aqueous extract of *Ulva lactuca*. **Integrative cancer therapies**, v. 14, n. 6, p. 525-545, 2015.

IBRAHIM, Hassan Al-Haj. Pretreatment of straw for bioethanol production. **Energy Procedia**, v. 14, p. 542-551, 2012.

JAULNEAU, Valérie et al. Ulvan, a sulfated polysaccharide from green algae, activates plant immunity through the jasmonic acid signaling pathway. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2010, 2010.

JAULENEAU, Valérie et al. An *Ulva armoricana* extract protects plants against three powdery mildew pathogens. **European Journal of Plant Pathology**, v. 131, n. 3, p. 393-401, 2011.

JIAO, Guangling et al. Properties of polysaccharides in several seaweeds from Atlantic Canada and their potential anti-influenza viral activities. **Journal of Ocean University of China**, v. 11, n. 2, p. 205-212, 2012.

JONES, B.; SMULLEN, R.; CARTON, A. G. Flavour enhancement of freshwater farmed barramundi (*Lates calcarifer*), through dietary enrichment with cultivated sea lettuce, *Ulva ohnoi*. **Aquaculture**, v. 454, p. 192-198, 2016.

KALAVATHY, G.; BASKAR, G. Synergism of clay with zinc oxide as nanocatalyst for production of biodiesel from marine *Ulva lactuca*. **Bioresource technology**, v. 281, p. 234-238, 2019.

KARRAY, Raida et al. Anaerobic co-digestion of Tunisian green macroalgae *Ulva rigida* with sugar industry wastewater for biogas and methane production enhancement. **Waste Management**, v. 61, p. 171-178, 2017.

KARTHIK, T. et al. Preparation and evaluation of liquid fertilizer from *Turbinaria ornata* and *Ulva reticulata*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 28, p. 101712, 2020.

KHAN, Abdul Majeed et al. Biodiesel production from green seaweed *Ulva fasciata* catalyzed by novel waste catalysts from Pakistan Steel Industry. **Chinese journal of chemical engineering**, v. 24, n. 8, p. 1080-1086, 2016.

KIM, Jaai; JUNG, Heejung; LEE, Changsoo. Shifts in bacterial and archaeal community structures during the batch biomethanation of *Ulva* biomass under mesophilic conditions. **Bioresource technology**, v. 169, p. 502-509, 2014.

KONG, Fanna et al. Morphology and molecular identification of *Ulva* forming green tides in Qingdao, China. **Journal of Ocean University of China**, v. 10, n. 1, p. 73-79, 2011.

KOPSAHELIS, Nikolaos et al. Molecular characterization and molasses fermentation performance of a wild yeast strain operating in an extremely wide temperature range. **Bioresource technology**, v. 100, n. 20, p. 4854-4862, 2009.

KOSANIĆ, Marijana; RANKOVIĆ, Branislav; STANOJKOVIĆ, Tatjana. Biological activities of two macroalgae from Adriatic coast of Montenegro. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 4, p. 390-397, 2015.

LAHAYE, Marc; ROBIC, Audrey. Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. **Biomacromolecules**, v. 8, n. 6, p. 1765-1774, 2007.

LEHAHN, Yoav; INGLE, Kapilkumar Nivrutti; GOLBERG, Alexander. Global potential of offshore and shallow waters macroalgal biorefineries to provide for food, chemicals and energy: feasibility and sustainability. **Algal Research**, v. 17, p. 150-160, 2016.

LI, Bing et al. Degradation of sulfated polysaccharides from *Enteromorpha prolifera* and their antioxidant activities. **Carbohydrate polymers**, v. 92, n. 2, p. 1991-1996, 2013.

LI, Jihua et al. Comparison of four aquatic plant treatment systems for nutrient removal from eutrophied water. **Bioresource technology**, v. 179, p. 1-7, 2015.

LI, Jiabin et al. Sulfated modification, characterization, and antioxidant and moisture absorption/retention activities of a soluble neutral polysaccharide from *Enteromorpha prolifera*. **International journal of biological macromolecules**, v. 105, p. 1544-1553, 2017.

LI, Weida et al. Antioxidant activity of purified ulvan in hyperlipidemic mice. **International journal of biological macromolecules**, v. 113, p. 971-975, 2018.

LIU, Junhai et al. Optimizing the conditions for the microwave-assisted direct liquefaction of *Ulva prolifera* for bio-oil production using response surface methodology. **Energy**, v. 60, p. 69-76, 2013.

LOPES, Nayara et al. Green seaweed *Enteromorpha compressa* (Chlorophyta, Ulvaceae) derived sulphated polysaccharides inhibit herpes simplex virus. **International journal of biological macromolecules**, v. 102, p. 605-612, 2017.

LORDAN, Sinéad; ROSS, R. Paul; STANTON, Catherine. Marine bioactives as functional food ingredients: potential to reduce the incidence of chronic diseases. **Marine drugs**, v. 9, n. 6, p. 1056-1100, 2011.

III, MELTON, J. T.; COLLADO-VIDES, Ligia; LOPEZ-BAUTISTA, Juan M. Molecular identification and nutrient analysis of the green tide species *Ulva ohnoi* M. Hiraoka & S. Shimada, 2004 (Ulvophyceae, Chlorophyta), a new report and likely nonnative species in the Gulf of Mexico and Atlantic Florida, USA. **Aquatic invasions**, v. 11, n. 3, p. 225-237, 2016.

MAKKAR, Harinder PS et al. Seaweeds for livestock diets: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 212, p. 1-17, 2016.

MARGARETA, Winny et al. Dark fermentative hydrogen production using macroalgae (*Ulva* sp.) as the renewable feedstock. **Applied Energy**, v. 262, p. 114574, 2020.

MARINHO, Gonçalo et al. The IMTA-cultivated Chlorophyta *Ulva* spp. as a sustainable ingredient in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. **Journal of applied phycology**, v. 25, n. 5, p. 1359-1367, 2013.

MATLOUB, Azza A. et al. Influence of bioactive sulfated polysaccharide-protein complexes on hepatocarcinogenesis, angiogenesis and immunomodulatory activities. **Asian Pacific journal of tropical medicine**, v. 9, n. 12, p. 1200-1211, 2016.

MHATRE, Apurv et al. Effect of multiple product extractions on bio-methane potential of marine macrophytic green alga *Ulva lactuca*. **Renewable Energy**, v. 132, p. 742-751, 2019.

MORONEY, N. C. et al. Addition of seaweed (*Laminaria digitata*) extracts containing laminarin and fucoidan to porcine diets: Influence on the quality and shelf-life of fresh pork. **Meat science**, v. 92, n. 4, p. 423-429, 2012.

MURPHY, Fionnuala et al. Biofuel production in Ireland—an approach to 2020 targets with a focus on algal biomass. **Energies**, v. 6, n. 12, p. 6391-6412, 2013.

NARDELLI, Allyson E. et al. Integrated multi-trophic farming system between the green seaweed *Ulva lactuca*, mussel, and fish: a production and bioremediation solution. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, n. 2, p. 847-856, 2019.

NEVEUX, N. et al. Biocrude yield and productivity from the hydrothermal liquefaction of marine and freshwater green macroalgae. **Bioresource technology**, v. 155, p. 334-341, 2014.

NIELSEN, Henrik Bangsø; HEISKE, Stefan. Anaerobic digestion of macroalgae: methane potentials, pre-treatment, inhibition and co-digestion. **Water science and technology**, v. 64, n. 8, p. 1723-1729, 2011.

NIELSEN, Mette Møller et al. Cultivation of *Ulva lactuca* with manure for simultaneous bioremediation and biomass production. **Journal of applied phycology**, v. 24, n. 3, p. 449-458, 2012.

NORRIS, James N. Marine algae of the northern Gulf of California: Chlorophyta and Phaeophyceae. **Smithsonian contributions to botany**, 2010.

OLABI, Abdul Ghani. Developments in sustainable energy and environmental protection. 2012.

PARACHIN, Nádia Skorupa et al. Kinetic modelling reveals current limitations in the production of ethanol from xylose by recombinant *Saccharomyces cerevisiae*. **Metabolic engineering**, v. 13, n. 5, p. 508-517, 2011.

PARK, Jeong-Hoon et al. Use of *Gelidium amansii* as a promising resource for bioethanol: a practical approach for continuous dilute-acid hydrolysis and fermentation. **Bioresource Technology**, v. 108, p. 83-88, 2012.

PATEL, Rinku V. et al. Significance of green and brown seaweed liquid fertilizer on seed germination of *Solanum melongena*, *Solanum lycopersicum* and *Capsicum*

annum by paper towel and pot method. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 9, p. 24065-24072, 2018.

PAULERT, R. et al. Effects of sulfated polysaccharide and alcoholic extracts from green seaweed *Ulva fasciata* on anthracnose severity and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 116, n. 6, p. 263-270, 2009.

PEASURA, Napassorn et al. Assessment of biochemical and immunomodulatory activity of sulphated polysaccharides from *Ulva intestinalis*. **International journal of biological macromolecules**, v. 91, p. 269-277, 2016.

PLAZA, Merichel; CIFUENTES, Alejandro; IBÁÑEZ, Elena. In the search of new functional food ingredients from algae. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 1, p. 31-39, 2008.

PONCE, Marian et al. Effects of the sulfated polysaccharide ulvan from *Ulva ohnoi* on the modulation of the immune response in Senegalese sole (*Solea senegalensis*). **Fish & shellfish immunology**, v. 100, p. 27-40, 2020.

POSTMA, P. R. et al. Biorefinery of the macroalgae *Ulva lactuca*: extraction of proteins and carbohydrates by mild disintegration. **Journal of applied phycology**, v. 30, n. 2, p. 1281-1293, 2018.

QI, Xiaohui et al. Chemical characteristic of an anticoagulant-active sulfated polysaccharide from *Enteromorpha clathrata*. **Carbohydrate polymers**, v. 90, n. 4, p. 1804-1810, 2012.

QI, Xiaohui et al. Chemical characteristics and anticoagulant activities of two sulfated polysaccharides from *Enteromorpha linza* (Chlorophyta). **Journal of Ocean University of China**, v. 12, n. 1, p. 175-182, 2013.

RAHIMI, Fatemeh; TABARSA, Mehdi; REZAEI, Masoud. Ulvan from green algae *Ulva intestinalis*: optimization of ultrasound-assisted extraction and antioxidant activity. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 5, p. 2979-2990, 2016.

RAJA, Rathinam et al. Antioxidant activity and lipid profile of three seaweeds of Faro, Portugal. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 9-17, 2016.

RAJAK, Rajiv Chandra; JACOB, Samuel; KIM, Beom Soo. A holistic zero waste biorefinery approach for macroalgal biomass utilization: a review. **Science of the Total Environment**, v. 716, p. 137067, 2020.

RIZK, MAHA Z. et al. The anti-hypercholesterolemic effect of ulvan polysaccharide extracted from the green alga *Ulva fasciata* on aged hypercholesterolemic rats. **Asian J. Pharm. Clin. Res**, v. 9, n. 3, p. 165-176, 2016.

ROBIN, Arthur et al. Diversity of monosaccharides in marine macroalgae from the Eastern Mediterranean Sea. **Algal research**, v. 28, p. 118-127, 2017.

SANTIZO-TAAN, Rena; BAUTISTA-TERUEL, Myrna; MAQUIRANG, Jean Rose H. Enriched *Ulva pertusa* as partial replacement of the combined fish and soybean meals in juvenile abalone *Haliotis asinina* (Linnaeus) diet. **Journal of Applied Phycology**, p. 1-9, 2019.

SELVAM, G. Ganapathy; SIVAKUMAR, K. Effect of foliar spray from seaweed liquid fertilizer of *Ulva reticulata* (Forsk.) on *Vigna mungo* L. and their elemental composition using SEM–energy dispersive spectroscopic analysis. **Asian Pacific Journal of Reproduction**, v. 2, n. 2, p. 119-125, 2013.

SHAHAR, Ben; GUTTMAN, Lior. An integrated, two-step biofiltration system with *Ulva fasciata* for sequenced removal of ammonia and nitrate in mariculture effluents. **Algal Research**, v. 52, p. 102120, 2020.

SHAO, Ping et al. Effects of partial desulfation on antioxidant and inhibition of DLD cancer cell of *Ulva fasciata* polysaccharide. **International journal of biological macromolecules**, v. 65, p. 307-313, 2014.

SHAO, Ping; CHEN, Xiaoxiao; SUN, Peilong. In vitro antioxidant and antitumor activities of different sulfated polysaccharides isolated from three algae. **International journal of biological macromolecules**, v. 62, p. 155-161, 2013.

SHARMA, Nayana; SINGHVI, Ritu. Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: a review. **International journal of agriculture, environment and biotechnology**, v. 10, n. 6, p. 675-680, 2017.

SHI, Mei-Jia et al. Carboxymethylated degraded polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*: Preparation and in vitro antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 215, p. 76-83, 2017.

SHPIGEL, M. et al. *Ulva lactuca* biofilter from a land-based integrated multi trophic aquaculture (IMTA) system as a sole food source for the tropical sea urchin *Tripneustes gratilla elatensis*. **Aquaculture**, v. 496, p. 221-231, 2018.

SHUIT, Siew Hoong et al. Evolution towards the utilisation of functionalised carbon nanotubes as a new generation catalyst support in biodiesel production: an overview. **RSC advances**, v. 3, n. 24, p. 9070-9094, 2013.

SIVAPRAKASH, G. et al. Biodiesel production from *Ulva linza*, *Ulva tubulosa*, *Ulva fasciata*, *Ulva rigida*, *Ulva reticulata* by using Mn_2ZnO_4 heterogenous nanocatalysts. **Fuel**, v. 255, p. 115744, 2019.

SMETACEK, Victor; ZINGONE, Adriana. Green and golden seaweed tides on the rise. **Nature**, v. 504, n. 7478, p. 84-88, 2013.

SMYTH, B. M. et al. Can we meet targets for biofuels and renewable energy in transport given the constraints imposed by policy in agriculture and energy?. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16-17, p. 1671-1685, 2010.

SODE, Sidsel et al. Bioremediation of reject water from anaerobically digested waste water sludge with macroalgae (*Ulva lactuca*, Chlorophyta). **Bioresource technology**, v. 146, p. 426-435, 2013.

SRIDEVI, G.; THANGAVEL, P. **Environmental sustainability: Sole of green technologies**. Springer, 2015.

STADNIK, Marciel J.; FREITAS, Mateus B. de. Algal polysaccharides as source of plant resistance inducers. **Tropical Plant Pathology**, v. 39, n. 2, p. 111-118, 2014.

STIGER-POUVREAU, Valérie; BOURGOUGNON, Nathalie; DESLANDES, Eric. Carbohydrates from seaweeds. In: **Seaweed in health and disease prevention**. Academic press, 2016. p. 223-274.

SUGANYA, T. et al. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: a biorefinery approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 909-941, 2016.

SUUTARI, Milla et al. Macroalgae in biofuel production. **Phycological Research**, v. 63, n. 1, p. 1-18, 2015.

TABARSA, Mehdi et al. Water-soluble polysaccharides from *Ulva intestinalis*: Molecular properties, structural elucidation and immunomodulatory activities. **Journal of food and drug analysis**, v. 26, n. 2, p. 599-608, 2018.

TAN, Shiau Pin et al. Extraction and bioautographic-guided separation of antibacterial compounds from *Ulva lactuca*. **Journal of applied phycology**, v. 24, n. 3, p. 513-523, 2012.

TEICHBERG, Mirta et al. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. **Global Change Biology**, v. 16, n. 9, p. 2624-2637, 2010.

TENG, Zhaolin; QIAN, Li; ZHOU, Yan. Hypolipidemic activity of the polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 62, p. 254-256, 2013.

THANH, Thi Thu Thuy et al. Structure and cytotoxic activity of ulvan extracted from green seaweed *Ulva lactuca*. **International journal of biological macromolecules**, v. 93, p. 695-702, 2016.

TILLER, Rachel; BREKKEN, Tove; BAILEY, Jennifer. Norwegian aquaculture expansion and Integrated Coastal Zone Management (ICZM): Simmering conflicts and competing claims. **Marine Policy**, v. 36, n. 5, p. 1086-1095, 2012.

VALENTE, Luísa MP et al. Carotenoid deposition, flesh quality and immunological response of Nile tilapia fed increasing levels of IMTA-cultivated *Ulva* spp. **Journal of applied phycology**, v. 28, n. 1, p. 691-701, 2016.

VAN DER WAL, Hetty et al. Production of acetone, butanol, and ethanol from biomass of the green seaweed *Ulva lactuca*. **Bioresource technology**, v. 128, p. 431-437, 2013.

VIZCAÍNO, A. J. et al. Evaluation of *Ulva ohnoi* as functional dietary ingredient in juvenile Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Effects on the structure and functionality of the intestinal mucosa. **Algal Research**, v. 42, p. 101608, 2019.

XU, Jie et al. Isolation, purification, and antioxidant activities of degraded polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*. **International journal of biological macromolecules**, v. 81, p. 1026-1030, 2015.

WALTERS, Dale R.; RATSEP, Jaan; HAVIS, Neil D. Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future. **Journal of experimental botany**, v. 64, n. 5, p. 1263-1280, 2013.

WASSEF, Elham A.; EL-SAYED, Abdel-Fattah M.; SAKR, Eman M. *Pterocladia* (Rhodophyta) and *Ulva* (Chlorophyta) as feed supplements for European seabass, *Dicentrarchus labrax* L., fry. **Journal of applied phycology**, v. 25, n. 5, p. 1369-1376, 2013.

WANG, Xiaomei et al. Sulfation, anticoagulant and antioxidant activities of polysaccharide from green algae *Enteromorpha linza*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 58, p. 225-230, 2013.

WANG, Xuxia et al. Antitumor activity of a sulfated polysaccharide from *Enteromorpha intestinalis* targeted against hepatoma through mitochondrial pathway. **Tumor Biology**, v. 35, n. 2, p. 1641-1647, 2014.

WEI, Jie et al. Study on the thermodynamic properties for ionic liquid [C6mim][OAc](1-hexyl-3-methylimidazolium acetate). **Fluid Phase Equilibria**, v. 371, p. 1-5, 2014.

WELLS, Mark L. et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. **Journal of applied phycology**, v. 29, n. 2, p. 949-982, 2017.

WHITFIELD, Frank B.; HELIDONIOTIS, Fay; SMITH, David. Role of feed ingredients in the bromophenol content of cultured prawns. **Food chemistry**, v. 79, n. 3, p. 355-365, 2002.

WIJESEKARA, Isuru; PANGESTUTI, Ratih; KIM, Se-Kwon. Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. **Carbohydrate polymers**, v. 84, n. 1, p. 14-21, 2011.

WILCE, R. T. et al. The life history and morphology of free-living *Pilayella littoralis* (L.) Kjellm. (Ectocarpaceae, Ectocarpales) in Nahant Bay, Massachusetts. **Phycologia**, v. 21, n. 3, p. 336-354, 1982.

YAHMED, Nesrine Ben et al. Enhancement of biogas production from *Ulva* sp. by using solid-state fermentation as biological pretreatment. **Algal research**, v. 27, p. 206-214, 2017.

YAN, Long et al. Hydrothermal liquefaction of *Ulva prolifera* macroalgae and the influence of base catalysts on products. **Bioresource technology**, v. 292, p. 121286, 2019.

YANAGISAWA, Mitsunori; OJIMA, Takao; NAKASAKI, Kiyohiko. Bioethanol from sea lettuce with the use of crude enzymes derived from waste. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 13, n. 4, p. 321-326, 2011.

YANAGISAWA, Mitsunori et al. Production of high concentrations of bioethanol from seaweeds that contain easily hydrolyzable polysaccharides. **Process Biochemistry**, v. 46, n. 11, p. 2111-2116, 2011.

YANAGISAWA, Mitsunori; KAWAI, Shigeyuki; MURATA, Kousaku. Strategies for the production of high concentrations of bioethanol from seaweeds: production of high concentrations of bioethanol from seaweeds. **Bioengineered**, v. 4, n. 4, p. 224-235, 2013.

YU, Guo et al. Nutrient flows and quality of bio-crude oil produced via catalytic hydrothermal liquefaction of low-lipid microalgae. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 4, p. 1317-1328, 2014.

YUAN, Yuan et al. Microwave assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from *Ulva prolifera*: Functional properties and bioactivities. **Carbohydrate polymers**, v. 181, p. 902-910, 2018.

ZHANG, Zhongshan et al. The immunological and antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Enteromorpha linza*. **International journal of biological macromolecules**, v. 57, p. 45-49, 2013.

ZHANG, Cui et al. Removal of phenanthrene from coastal waters by green tide algae *Ulva prolifera*. **Science of the Total Environment**, v. 609, p. 1322-1328, 2017.

ZHANG, Cui et al. Phycoremediation of coastal waters contaminated with bisphenol A by green tidal algae *Ulva prolifera*. **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 55-62, 2019.

ZOLLMANN, Meiron et al. Green technology in green macroalgal biorefineries. **Phycologia**, v. 58, n. 5, p. 516-534, 2019.