

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE MEDICINA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

AILA VITÓRIA DE OLIVEIRA

ALGAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE PROTEÍNAS E
OUTROS NUTRIENTES PARA A ALIMENTAÇÃO HUMANA:
DO CULTIVO À APLICAÇÃO

UBERLÂNDIA

2022

AILA VITÓRIA DE OLIVEIRA

ALGAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE PROTEÍNAS E
OUTROS NUTRIENTES PARA A ALIMENTAÇÃO HUMANA:
DO CULTIVO À APLICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de apresentado à
Faculdade de Medicina da Universidade
Federal de Uberlândia, curso de Nutrição, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Nutrição

Área de concentração: Ciência de Alimentos

Orientadora: Dra. Flávia Souza Almeida

UBERLÂNDIA

2022

AILA VITÓRIA DE OLIVEIRA

ALGAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE PROTEÍNAS
E OUTROS NUTRIENTES PARA A ALIMENTAÇÃO
HUMANA: DO CULTIVO À APLICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de apresentado à
Faculdade de Medicina da Universidade
Federal de Uberlândia, curso de Nutrição, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Nutrição

Área de concentração: Ciência de Alimentos

Uberlândia, 21 de novembro de 2022

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Flávia Souza Almeida (UFU) – Presidente

Profa. Dra. Vívian Consuelo Reolon Schmidt (UFU) – Membro Titular

Msc. Danielle Oliveira Borges (UFU) – Membro Titular

AGRADECIMENTOS

Inicialmente presto minhas homenagens aos meus pais que muito trabalharam para que eu chegasse até aqui no âmbito educacional. Em segundo, meu agradecimento para a professora e orientadora Flávia Almeida, por fazer de minhas angústias forças para continuar e por todo o suporte necessário para a realização da Iniciação Científica que deu origem ao presente trabalho.

À minha irmã e eterna amiga pelo auxílio emocional ao longo da caminhada, ao meu namorado Matheus pelo carinho e confiança, e aos meus amigos, em especial Alessandra e Vinicius, por tornarem os dias mais leves.

RESUMO

A alta demanda por recursos naturais, principalmente de água e áreas produtivas para a fabricação de produtos de origem animal, aponta que tais recursos são ineficientes para acompanhar o crescimento populacional. Logo, fontes alternativas de nutrientes, principalmente de proteínas, como insetos, plantas e algas podem ser utilizadas para o consumo humano, minimizando os impactos ambientais dos sistemas de produção alimentícios adotados atualmente. Neste contexto, esta revisão objetivou evidenciar a importância das algas como fonte alternativa de proteínas, reunindo informações que vão da produção à aplicação, ressaltando não somente os desafios no setor como também os benefícios do cultivo e consumo de algas. Notou-se que, além de apresentarem impactos mínimos ao meio ambiente, as algas (microalgas e macroalgas) se destacam, pois também detêm altos teores proteicos (até ~ 70%) e outros compostos bioativos (como os carotenoides) em sua composição, o que pode impactar positivamente na saúde dos consumidores. Microalgas requerem cerca de duas vezes menos água se comparada à cadeia de produção da carne bovina, e quase 1.600 hectares a menos considerando a produção de 1 tonelada de proteína de *Chlorella*, em comparação à mesma quantidade de carne. Assim, estudos que compilem conhecimento acerca das etapas de produção, processamento e beneficiamento de algas servem para elucidar os benefícios da produção e consumo dessa fonte alternativa de proteína, auxiliando na divulgação do setor e atraindo investimentos, seja no âmbito científico, ou no cenário industrial alimentício. Este trabalho é, portanto, uma revisão, que traz informações acerca dos modos de cultivo e coleta de algas; análises de mercado e produção; métodos de extração proteica; benefícios à saúde; aplicações industriais e aspectos legislativos. Foi percebido que diferentes condições de cultivo e extração de compostos devem ser adotadas a depender do objetivo industrial. Também, notou-se que alguns dos países os quais mais possuem produtos com algas são também aqueles que mais produzem conhecimento na área. Outrossim, as espécies mais utilizadas são *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) e *Chlorella*, o que pode ser explicado por características nutricionais, bem como elevada digestibilidade da biomassa de ambas. A respeito dos aspectos nutricionais das algas, estudos têm associado a presença de polissacarídeos, pigmentos, ácidos graxos de cadeia poli-insaturada e peptídeos a efeitos antiproliferativos, antioxidantes, antiinflamatórios e na saúde cardiovascular, respectivamente. Dos micronutrientes, destaca-se as quantidades de vitamina B12, deficitária principalmente em dietas veganas e vegetarianas. Algumas espécies de microalgas possuem até 100 vezes mais B12 se comparadas aos produtos de origem animal. Por fim, apesar dos potenciais destacados anteriormente, alguns empecilhos retardam o

crescimento do mercado de algas. Por exemplo, ainda não existem legislações específicas na União Europeia, Estados Unidos e Brasil para a produção e comercialização de alimentos à base de algas. Logo, para nortear o setor, são considerados apenas fragmentos de documentações distintas, uma barreira para o desenvolvimento da indústria de algas. Com os diversos âmbitos de aplicação, as algas representam possíveis avanços na esfera científica, biotecnológica, industrial e da saúde, em um futuro no qual a sustentabilidade na produção de alimentos se torna uma realidade.

Palavras-chave: Macroalga. Microalga. Extração de proteína. Cultivo. Aplicação industrial.

ABSTRACT

The high demand for natural resources, mainly water and productive areas for the manufacture of animal-based products indicates that these resources are inefficient to keep up with the growth of the population. Therefore, alternative sources of nutrients, mainly proteins such as insects, plants and algae can be used for human consumption, minimizing the environmental impacts of food production systems currently adopted. In this context, this review aimed to point out the importance of algae as an alternative source of proteins, gathering information from production to application, highlighting not only the challenges in the sector but also the benefits of cultivation and consumption of algae. It was noted that, in addition to presenting minimal impacts on the environment, algae (microalgae and macroalgae) stand out because they also have high levels of protein (up to ~70%) and other bioactive compounds (such as carotenoids) in their composition, which can positively impact consumers' health. Microalgae require about twice less water compared to the beef production chain, and almost 1600 hectares less considering the production of 1 ton of *Chlorella* protein, compared to the same amount of meat. Thus, studies that compile knowledge about the stages of production, processing and beneficiation of algae serve to elucidate the benefits of the production and consumption of this alternative source of protein, helping the dissemination of the sector and attracting investments, either in the scientific field or in the food industry scenario. This work is, therefore, a review that brings information about cultivation and collection of algae; market and production analysis; protein extraction methods; health benefits; industrial applications and regulation aspects. It was noticed that different conditions of cultivation and extraction of compounds must be adopted depending on the industrial aim. Also, it was observed that some of the countries that have more products with algae are also those that produce the most knowledge in the field. Furthermore, the most used species are *Arthrospira platensis* (Spirulina) and *Chlorella*, which can be explained by their nutritional characteristics, as well as the high digestibility of their biomass. Regarding the nutritional aspects of algae, some studies have associated the presence of polysaccharides, pigments, polyunsaturated fatty acids and peptides with antiproliferative, antioxidant, anti-inflammatory and cardiovascular health effects, respectively. Of the micronutrients, the amounts of vitamin B12, deficient mainly in vegan and vegetarian diets, stands out. Some species of microalgae have up to 100 times more B12 compared to animal products.

Finally, despite the potentials highlighted above, some obstacles have been slowing down the growth of the algae market. For example, there are still no specific regulations in the European Union, the United States and Brazil for the production and sale of algae-based foods. Therefore, to guide the sector, only fragments of different documents are taken into account, which is a step back to the development of the algae industry. Considering the different areas of application, algae represent possible advances in the scientific, biotechnological, industrial and health spheres, in a future where sustainability in food production becomes a reality.

Keywords: Macroalgae. Microalgae. Protein Extraction. Cultivation. Industrial Application.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	12
3. METODOLOGIA	12
4. CULTIVO DAS ALGAS	14
4.1 CULTIVO DE MACROALGAS	14
4.2 CULTIVO DE MICROALGAS	18
4.3 MERCADO E PRODUÇÃO	23
4.4 CENÁRIO BRASILEIRO RELATIVO À PRODUÇÃO DE ALGAS	25
5. OBTENÇÃO DE PROTEÍNAS A PARTIR DE MICROALGAS	26
6. BENEFÍCIOS DO CONSUMO À SAÚDE	36
7. ALGAS EM APLICAÇÕES ALIMENTARES	43
8. LEGISLAÇÕES SOBRE ALGAS	61
8.1. UNIÃO EUROPEIA	61
8.2. ESTADOS UNIDOS	62
8.3. BRASIL	63
8.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE LEGISLAÇÕES	64
9. CONCLUSÃO	66

1. INTRODUÇÃO

O consumo exacerbado de carnes e produtos de origem animal tem gerado consequências irreparáveis ao meio ambiente, o que acaba por colocar em risco a saúde dos indivíduos de maneira coletiva, independente da escolha alimentar individual no que tange às fontes proteicas. Esses danos ambientais estão principalmente relacionados com as altas demandas de água e área requeridas para a produção de carne, bem como às emissões de gases que intensificam o efeito estufa (SAMBUICHI et al., 2012). Por exemplo, em 2019, no Brasil, a agropecuária foi responsável por emitir quase 14,5 milhões de toneladas de metano (SEEG, 2019). Em relação à água, estima-se que 27% dos recursos hídricos mundiais estão associados com a produção de produtos de origem animal (HOEKSTRA, 2012). Ainda, considerando-se toda a cadeia de produção, foi estimado que para cada quilograma de carne bovina sejam utilizados 15.000 litros de água (PALHARES, 2018). Por fim, segundo a publicação da Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil, publicada anualmente pela Agência Nacional de Águas (ANA), estima-se que em 2019, a retirada total de água correspondeu a 2.083 m³/s, sendo 49,8% utilizada para irrigação e 8,4% para o abastecimento animal (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020).

Além do uso de recursos hídricos, em escala global, a produção de carne animal utiliza extensas áreas de terra, seja para a produção de ração, seja para pastagem. De acordo com estimativa prévia, para cada grama de proteína bovina são necessários 254 m² de terra (SHAHBANDEH, 2018). Ademais, a maior parte das áreas de plantio de grãos tem como finalidade servir de ração para os animais (77%) e uma pequena parcela para o consumo humano (19,2%) (RITCHIE; ROSER, 2021). Estima-se que para a produção de 1 quilograma de carne bovina, são necessários 13 kg de grãos (SABATÉ; SORET, 2014), o que demonstra uma baixíssima taxa de conversão alimentícia e expõe a ineficiência do sistema atual de produção de alimentos.

Deste modo, devido a motivações relacionadas à vida animal, aumento populacional, sustentabilidade e saúde, a busca por fontes alternativas de proteína tem sido cada vez mais popular, alavancando altos investimentos nos últimos anos para o setor (cerca de ~ 3,1 bilhões de dólares em 2020) (KEERIE, 2021). Ainda, espera-se que a taxa de crescimento anual composta para proteínas alternativas seja de 5,5% entre 2021 e 2028, podendo movimentar cerca de 7,8 bilhões de dólares em 2028 (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2021).

Tal tendência de crescimento dos produtos elaborados a partir de proteínas alternativas é perceptível mesmo em países em desenvolvimento como o Brasil. A exemplo, já é possível encontrar nas prateleiras dos supermercados uma variedade de produtos como hambúrgueres, sorvetes, maioneses, leites e ovos a base de plantas (GFI, 2020). Em 2018, numa pesquisa realizada pelo *The Good Food Institute*, a média de brasileiros que reduziram o consumo de carne foi de 29% (GFI, 2020). Também, de acordo com o Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística, em 2018, 30 milhões de brasileiros se autodeclararam vegetarianos (VENDEMIATTI, 2020). Logo, percebe-se o espaço para o desenvolvimento de novos produtos alternativos no que diz respeito às fontes proteicas, que podem ser derivados não só de plantas, mas também de fungos, insetos, algas e fermentações (GAAN; KRELLING, 2020; ONWEZEN et al., 2021; SOUZA FILHO et al., 2019).

Embora o uso de proteínas de plantas consiga reduzir os impactos promovidos pela indústria pecuária, o grão mais utilizado como fonte proteica alternativa é a soja, cujo plantio utilizou 38,5 milhões de hectares na safra de 2020/21 no Brasil (EMBRAPA, 2020). Projeções para 2029/30 definem uma produção de 156,5 milhões de toneladas deste grão, sendo que o consumo doméstico deverá atingir 53,7 milhões de toneladas, podendo chegar a 61,4 milhões de toneladas (MAPA, 2020). Portanto, a problemática da utilização de recursos naturais, sobretudo da área requerida para plantio, ainda pode ser vista como um desafio.

Nesse contexto, para contornar tal problema, outras fontes proteicas como as algas têm ganhado espaço. O termo “alga” refere-se ao grupo de organismos capazes de sintetizar o próprio alimento a partir da fotossíntese, referidamente pertencentes a quatro reinos (Bacteria; Protozoa; Chromista e Plantae), e que variam quanto à quantidade de células que os compõe (GUIRY, 2012). Dividem-se em microalgas - organismos unicelulares e que se adaptam a diferentes ambientes - e macroalgas, que são os organismos pluricelulares e exclusivamente marinhos (KUMARI, 2020). As macroalgas já fazem parte da dieta, principalmente de populações asiáticas, há muitos anos, sendo consumida diretamente na alimentação (FITZGERALD et al., 2011). No entanto, essas também são processadas industrialmente a fim de extrair hidrocoloides, a exemplo do ágar e alginato (RIOUX; BEAULIEU; TURGEON, 2017), que são componentes amplamente utilizados na indústria de alimentos. As microalgas, por sua vez, possuem uma aplicação limitada nas produções alimentícias, sendo as mais comuns o uso como suplementos alimentares e alimentos enriquecidos, o que pode ser explicado provavelmente pela falta de legislações adequadas que garanta a segurança alimentar (GEADA, et al., 2021b). A biomassa desse grupo possui características nutricionais importantes, uma vez

que é considerada fonte de vitaminas (Vit A, E, C e do complexo B), apresenta alto conteúdo proteico e de aminoácidos essenciais, possuem compostos antioxidantes, pigmentos (ex: carotenoides), e ácidos graxos de cadeia poli-insaturada como o ácido eicosapentaenóico e o ácido docosahexaenóico (KOYANDE et al., 2019; KUMAR et al., 2019).

As espécies de microalgas mais utilizadas são a *Spirulina plantesis*, *Chlorella sp.*, *Dunaliella terticola*, *Dunaliella salina* e *Aphanizomenon flos-aquae* (KOYANDE et al., 2019). É válido ressaltar que, atualmente, as duas primeiras têm sido mais largamente comercializadas devido aos aspectos nutricionais. Além de ambas serem ricas em nutrientes, como ácido linoleico e vitamina A, além de fósforo (SATHASIVAM et al., 2019; TOKUS, OGLU; ÜNAL, 2003), ainda possuem elevados teores proteicos (de 50% a 60 para a *Chlorella sp.*, e de 60% a 70% para a *Spirulina sp.*). Para fins de comparação, a carne bovina possui apenas 17,4% de conteúdo proteico em matéria seca (KOYANDE et al., 2019).

Além da utilização como suplemento proteico, as algas possuem outras aplicações biotecnológicas, como o uso para alimentação animal, biocombustível, biofertilizante, biorremediação e terapêutica (FONSECA, 2016). Em um recorte nacional, no Brasil, a maioria das pesquisas com grandes financiamentos tem como objetivo estudar a utilização de algas como biocombustível e não necessariamente para o desenvolvimento de produtos alimentícios (MATOS, 2021). Contudo, utilizá-las como fonte alternativa de proteínas apresenta vantagens como eficiência fotossintética, uso reduzido de recursos hídricos e de área para cultivo, além de capacidade de armazenamento de carbono, o que permite uma produção sustentável (GEADA et al., 2021b)

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica de estudos recentes que abordem aspectos sobre a produção, legislações, aplicações e nutrientes presentes nas algas, bem como os impactos na saúde relativos à ingestão dessa fonte alternativa de nutrientes na alimentação humana.

3. METODOLOGIA

A presente monografia é uma revisão do tipo narrativa descritiva, ou seja, não possui sistematização específica para as buscas na literatura (MATOS, 2015). Assim, para a elaboração do presente trabalho foram considerados artigos datados a partir do ano de 2011. Em bancos de dados como *Google Acadêmico*; *Scopus*, *Pubmed* e *SciELO*, as publicações foram

selecionadas a partir de descritores em inglês, apenas, a exemplo de “*microalgae protein*”, “*seaweed cultivation*” e “*protein extraction*”.

4. CULTIVO DAS ALGAS

O cultivo das algas se dá de duas formas principais: em sistema fechado, a exemplo dos fotobiorreatores ou sistema aberto, tal como no mar. Para tanto, alguns fatores devem ser considerados para a implantação do cultivo em larga escala, como a espécie da alga, as condições climáticas da região, além de aspectos ecológicos (SOUZA, 2011). Considera-se um cultivo eficiente aquele que promove maior produtividade e rendimento da biomassa (CHAUTON et al., 2021).

Algumas características de produção são semelhantes entre macro e microalgas, sendo que ambos os grupos necessitam de luz, CO₂ e outros nutrientes dissolvidos na água, a exemplo de açúcares, nitratos e oxigênio. No entanto, algumas particularidades de cada grupo devem ser consideradas para a determinação dos melhores métodos de cultivo. Tamanho, ciclo de vida, reprodução, características estruturais, área necessária para a produção, rendimento, métodos de coleta e sistema de produção diferem entre as micro e macroalgas (CHAUTON et al., 2021).

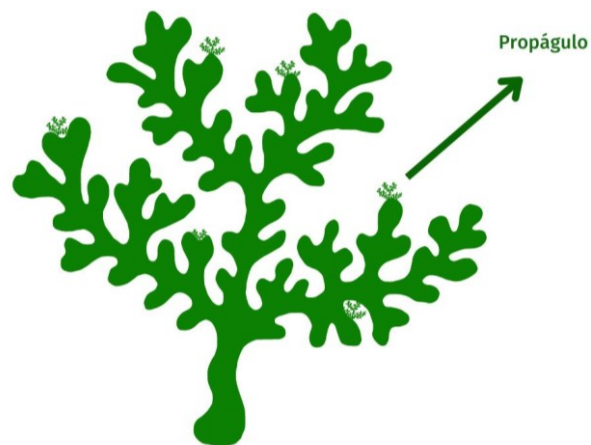
4.1 CULTIVO DE MACROALGAS

Diferentemente das microalgas, as macroalgas têm o perfil proteico relativamente menor, correspondendo a, no máximo, 47% da matéria seca para algas vermelhas, por exemplo (FLEURENCE; MORANÇAIS; DUMAY, 2018), de modo que o seu cultivo é voltado majoritariamente para a produção de polissacarídeos como carragena e alginato. Mesmo assim, esse grupo de algas têm como vantagem a densidade da biomassa, o que torna a exploração do conteúdo proteico viável para a indústria (GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]). Ainda, é interessante observar que a variedade de macroalgas cultivadas é pequena, correspondendo a cerca de 6% em relação ao total de espécies registradas (FAO, 2021).

Antes de realizar o processo de cultivo propriamente dito, alguns fatores devem ser levados em consideração pensando em uma produção de larga escala, a fim de se maximizar rendimentos e minimizar perdas. O crescimento da macroalga e a qualidade da biomassa dependem do local escolhido para o cultivo; das características da água (temperatura, pH e salinidade); das características do ambiente de crescimento, já que pode haver contaminações por patógenos e competição por nutrientes; da espécie cultivada e do tipo de reprodução e propagação da macroalga (RADULOVICH et al., 2015). A produção pode ser feita tanto no mar, em regiões costeiras relativamente rasas para que a radiação solar consiga penetrar suficientemente e todas as mudas possam crescer, quanto em terra, por meio da utilização de tanques (GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]).

Como mencionado previamente, a reprodução e propagação da espécie de interesse é um fator importante a ser considerado na produção da macroalga (RADULOVICH et al., 2015). Nesse sentido, o cultivo tem início com a formação de propágulos, seja de forma natural – por propagação vegetativa – seja em ambientes controlados (Figura 1). Em laboratório, são isolados os tecidos reprodutivos da alga de interesse para a formação de mudas. Essas podem ser dispostas em cordas que envolvem tubos de policloreto de vinila (PVC) distribuídos em tanques, onde são oferecidas todas as condições para seu desenvolvimento. Após essa etapa, as mudas são levadas para o ambiente marinho sendo que os métodos de cultivo em mar aberto diferem em como essas ficarão dispostas, em cordas, redes, em tanques, em balsas flutuantes ou atadas ao solo marinho (zona bentônica) (Figura 2) (SOUZA, 2011).

Figura 1- Ilustração da estrutura denominada propágulo



Fonte: Autoria própria

Figura 2- Modos de cultivo de macroalgas



Fonte: Autoria própria

Em relação à disposição em cordas, ocorrem variações do material com que as cordas são produzidas, bem como variações de profundidade nas quais as algas são colocadas. Assim, existem 3 diferentes métodos: o mais profundo, próximo ao fundo da costa; o de profundidade relativa, podendo as algas ficarem expostas durante períodos de maré baixa, por exemplo; e o método "long-line" que se baseia em cordas flutuantes atadas a âncoras (RADULOVICH et al., 2015).

Semelhante ao método "long-line", as algas podem crescer em redes que permanecem sobrenadantes, ou relativamente rasas. Já nas balsas flutuantes, as algas são cultivadas em cordas ou redes amarradas a estruturas flutuantes que servem como boia, sendo que as balsas podem ser construídas de diferentes materiais, como PVC, bambu, ou outros que possam ser economicamente viáveis considerando as adversidades do ambiente marinho (salinidade e movimento das águas, por exemplo) (RADULOVICH et al., 2015). Uma das vantagens desse método é a reduzida influência da movimentação das águas no crescimento algal. Como as algas flutuam de acordo com o movimento da água, não há resistência a esse movimento, de modo que o risco de rompimento das estruturas é diminuído em comparação com aquelas que estão fixas (SOUZA, 2011).

As algas podem, ainda, ser cultivadas mitigando àquelas naturalmente classificadas como bentônicas (que habitam a zona bentônica- o fundo do mar) ou àquelas que naturalmente são flutuantes, ou seja, que não necessitam estar atadas a cordas ou balsas flutuantes para se manterem próximas à superfície (RADULOVICH et al., 2015).

Por fim, o cultivo em tanques permite melhor acompanhamento do crescimento algal, considerando-se a manutenção do controle de fatores necessários para o crescimento ótimo e maior rendimento, bem como para a manutenção das características qualitativas, evitando-se, por exemplo, possíveis contaminações iminentes no mar aberto (RADULOVICH et al., 2015).

A coleta das algas cultivadas depende de alguns fatores, a exemplo do nível tecnológico empregado, a escala da produção, além das condições climáticas e marítimas no momento da coleta. De maneira geral, existem duas técnicas de coleta - total e parcial - sendo que essas diferem no tempo de crescimento das algas. O método de coleta parcial consiste na retirada das algas dispostas nas cordas ou redes, deixando algumas mudas em crescimento, o que exige a necessidade de replantação. Já a colheita total é caracterizada pela retirada completa das algas, seja manualmente, seja por meio de ferramentas, sendo que esse método depende do crescimento total das macroalgas. Após o processo de coleta, as macroalgas passam por processos de secagem, com diferentes métodos, a fim de se obter a matéria seca evitando possíveis contaminações e perdas (RADULOVICH et al., 2015).

Das condições necessárias ao cultivo e que interferem na composição química da macroalga cultivada, foi demonstrado que as variações na profundidade com que as macroalgas são dispostas para a produção e as mudanças sazonais impactam no conteúdo de aminoácidos e glicídico da espécie *Saccharina latissima*. Nesse sentido, notou-se que, em agosto, e com profundidade de 8 m, a quantidade de aminoácidos (AAs) da matéria seca é maior (quase 72 g de AAs essenciais/ kg de matéria seca) em comparação com as algas produzidas em uma profundidade de 3 m e coletadas nos demais meses observados no estudo (~46 g de AAs essenciais/ kg de matéria seca e ~39 g de AAs essenciais/ kg de matéria seca, em maio e junho, respectivamente) (SHARMA et al., 2018).

Em relação aos métodos de preservação pós coleta, é possível notar diferenças na concentração proteica quando a secagem da biomassa é realizada no sol, por ensilada - técnica de preservação na qual há a compactação da biomassa, vedação do silo e fermentação da matéria úmida - ou quando é realizada à frio (liofilização), também na espécie *Saccharina latissima*. A secagem ao sol, se comparada com a secagem à frio, reduziu cerca de quase 22% do conteúdo

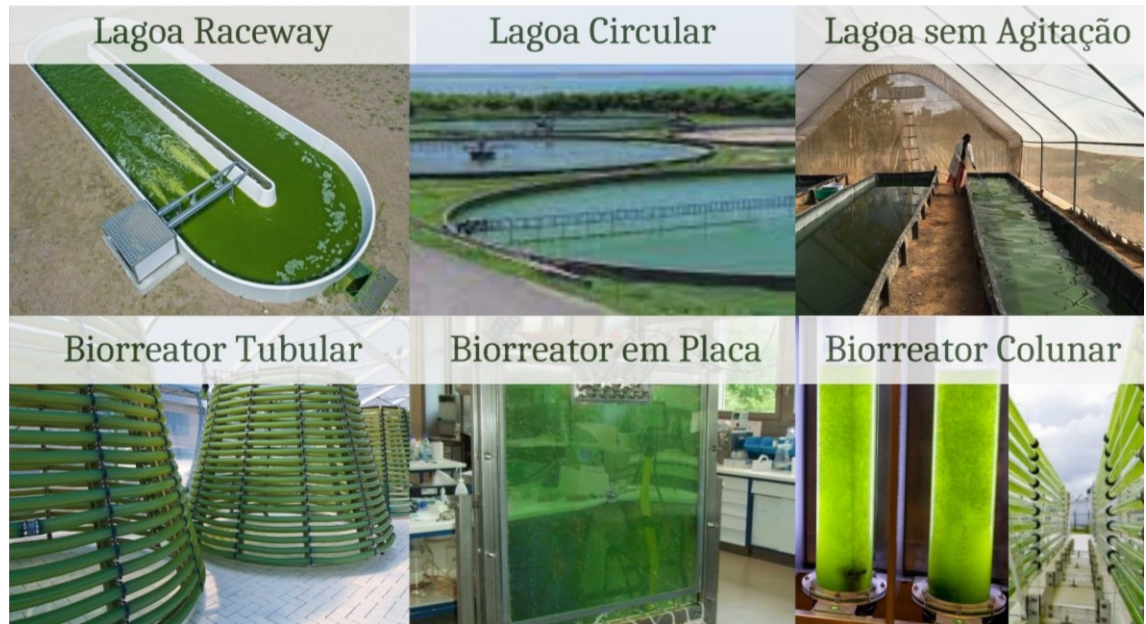
proteico (de 78 ± 9 mg proteína/g da biomassa seca para 61 ± 4 mg proteína/g). Mesmo assim, a maior concentração proteica foi observada no método de preservação por ensilada, apresentando 101 ± 3 mg proteína/g da biomassa seca. No entanto, esse aumento se deu por reduções da biomassa durante o processo de conservação e não necessariamente devido à eficácia do método (ALBERS et al., 2021).

No que tange à salinidade, ao considerar as espécies *Saccharina latissima* e *Laminaria digitata*, notou-se aumento do conteúdo proteico quando essas eram cultivadas em ambientes com maior salinidade, demonstrando uma maneira viável de modificar as condições de cultivo para essas espécies tendo aumento da concentração proteica e possível utilização dessas como fonte alternativa de proteínas pela indústria (NIELSEN et al., 2016).

4.2 CULTIVO DE MICROALGAS

O cultivo de microalgas, assim como das macroalgas, pode ser realizado tanto em sistema fechado quanto em sistema aberto. O cultivo em sistema fechado é realizado em diversas modalidades de fotobiorreatores: vertical; horizontal e plano (Figura 3), sendo que cada um possui vantagens e desvantagens de acordo com critérios, como consumo de energia, melhor custo-benefício (produtividade em relação aos custos de produção), possibilidade de ser implantado em larga escala, entre outros. Já a produção em sistema aberto pode ser realizada em lagoas e lagos naturais; lagoas circulares; sistemas em cascata ou inclinados (Figura 3). O sistema fechado é majoritariamente utilizado para produções de pequena escala e permite melhor controle das condições de produção. No entanto, em larga escala, o sistema aberto é a opção mais utilizada, uma vez que o cultivo a céu aberto apresenta menor custo adicionado. Uma possível desvantagem, porém, é que crescimento e rendimento são influenciados por variações e condições do ambiente (CHAUTON et al., 2021; GEADA, et al., 2017).

Figura 3- Cultivo de microalgas em sistema aberto e fechado



Fonte: Autoria própria

No que tange ao substrato necessário para a produção, as microalgas necessitam de fontes de oxigênio, carbono (C) e outros elementos, como fósforo (P) e nitrogênio (N). É válido ressaltar que N, P e C são considerados os mais importantes para a produção da microalga, sendo que, em um recorte voltado para o rendimento proteico da biomassa, sabe-se que nitrogênio e carbono são, também, determinantes no acúmulo de proteínas na alga. Ainda, diferentes fontes e concentrações de carbono e oxigênio podem influenciar tanto na produtividade quanto no rendimento da biomassa (GEADA, et al., 2017; SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018).

A utilização dos elementos previamente citados como substrato para o crescimento da alga, bem como a necessidade de energia solar diferem de acordo com as condições de cultivo das microalgas, a exemplo do sistema fotoautotrófico, heterotrófico e mixotrófico. A condição fotoautotrófica usa como substrato energético luz e dióxido de carbono (CO_2) para a biossíntese. Essa pode ser utilizada quando o objetivo é a produção e extração de derivados que dependem da incidência da luz para serem formados, a exemplo de pigmentos, como os carotenoides (BENAVENTE-VALDÉS et al., 2017). É importante destacar que, mesmo que a luz solar seja uma alternativa barata, por ser uma fonte natural, a dependência dessa é um fator limitante para

esse método de produção, de modo que em países onde a incidência solar é menor, essa estratégia é pouco viável. No Brasil, por exemplo, esse método poderia ser vantajoso, já que na maior parte do ano, a incidência solar por toda a extensão do país é relativamente alta (SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018).

As principais formas de cultivo das microalgas no sistema autotrófico de produção são os fotobiorreatores (colunar, achatado ou tubular) (GEADA, et al., 2017) e as lagoas abertas, sendo que ambos apresentam vantagens e desvantagens. Os fotobiorreatores permitem maior controle de produção, garantindo a qualidade da microalga. Todavia, como limitação destaca-se que tanto o investimento inicial quanto os custos de manutenção são elevados (NARALA et al., 2016). Dessa forma, o cultivo em larga escala é realizado majoritariamente em espaços abertos, com custos mais baixos se comparados ao custeio para a produção em sistema fechado, mas que nem sempre garantem melhor qualidade da biomassa, tanto no que diz respeito à produtividade, quanto a possíveis contaminações. No que tange ao rendimento (g de PTN/g de biomassa) o sistema de cultura aberto é afetado pela sazonalidade (SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018).

O cultivo em meio heterotrófico não depende da incidência solar, sendo que o substrato energético provém de fontes de carbono orgânico, a exemplo do acetato e da glicose (GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]). Em relação ao método fotoautotrófico, a condição heterotrófica de cultivo apresenta maior produtividade de biomassa e maior taxa de crescimento, tendo como limitação, porém, a necessidade de fontes de carbono orgânico (glicerol e glicose, por exemplo), assim como de outros elementos necessários ao crescimento e produção da biomassa - a exemplo do fósforo e nitrogênio - que podem aumentar o custo de produção. No entanto, tal problemática pode ser mitigada com o uso de produtos que seriam descartados, a exemplo de águas residuais, em outros setores da indústria, contribuindo, inclusive, para a degradação de possíveis poluentes ambientais (ABREU et al., 2022; SÁNCHEZ-BAYO et al., 2020; SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018). Vale a ressalva de que a reutilização das águas, provenientes da indústria têxtil e petroleira, por exemplo, requer alguns cuidados em relação à adaptabilidade da espécie no que tange à concentração de substratos, bem como à possíveis contaminações que podem afetar o crescimento da microalga e a qualidade da biomassa, especialmente quando se pensa em uma produção voltada para a indústria alimentícia (CHEW et al., 2018; DE FREITAS COELHO et al., 2019).

A condição de cultivo mixotrófica é caracterizada pela presença de luz e substratos orgânicos e inorgânicos (CO₂) utilizados como fonte de carbono. Nesse sentido, combina os

dois outros métodos apresentando como vantagem, por exemplo, o contínuo crescimento celular em situações em que não há luz, bem como flexibilidade para variar entre as condições heterotrófica e autotrófica, a depender da quantidade de energia luminosa e de substratos. É importante destacar que, no entanto, em alguns casos, a luz é essencial para que ocorra o crescimento de certas microalgas já que essa é necessária à absorção de carbono orgânico, bem como à fixação do CO₂ por fotossíntese (ABREU et al., 2022; GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]; PATEL et al., 2019; SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018).

Existem três diferentes modos de cultivar as microalgas, sendo que esses variam de acordo com a oferta de nutrientes ao longo do período de cultivo, apresentando vantagens e desvantagens. São eles: Batelada; Batelada Alimentada e Contínuo.

O modo de cultivo Batelada é caracterizado pela oferta de nutrientes realizada apenas uma única vez e no início da produção, de modo que o conteúdo da biomassa aumenta ao passo que a concentração de substrato diminui. Esse modelo tem como vantagens a baixa iminência de contaminações, visto que todas as condições necessárias ao crescimento alga são ofertadas no início da produção, mas ao mesmo tempo variações no que tange à produtividade, devido a diferentes fases de crescimento da microalga, que podem ser apontadas como desvantagem nesse método (GEADA, et al., 2017)

O processo de Batelada Alimentada é intermediário entre os demais e tem como resultado boa densidade celular, sendo um dos métodos mais comuns em produções de larga escala. Trata-se de uma metodologia passível de contaminação, já que a oferta de nutrientes é variável, aumentando o tempo de cultura. Já o modo de produção Contínuo é caracterizado pela constância tanto na oferta de substrato quanto no crescimento celular, com a retirada da cultura, atingindo um estado de equilíbrio dinâmico. Esse apresenta como vantagem a facilidade no controle de produção, haja vista que o tempo gasto com processos de esterilização e limpeza do biorreator é menor se comparado aos outros modos de cultivo, bem como alta produtividade (ALLMAN, 2020; COELHO et al., 2014). Há basicamente três tipos de operação mais utilizados nos processos de cultivo contínuo: quimiostato, turbidostato e luminostato. Em síntese, esses podem ser explicados pela constante da composição química da cultura; da turbidez e luminosidade incidente no meio, respectivamente (ALLMAN, 2020; GEADA et al., 2017).

A coleta das microalgas é mais complicada em comparação com as macroalgas, já que são organismos unicelulares muito pequenos e com diferenças estruturais (tamanho, peso,

forma) cultivados em meio aquoso, de modo que a concentração da biomassa é pequena a depender, inclusive, do modo de cultivo (em sistema aberto o concentrado é 10 vezes menor se comparada com o cultivo em fotobiorreatores). Nesse sentido, os principais métodos de concentração da biomassa são por diferenças na densidade, ou por filtração. Em relação aos primeiros, pode-se citar a sedimentação; floculação ou coagulação - por adição de compostos inorgânicos e orgânicos - centrifugação e flotação, enquanto o segundo é caracterizado pela separação da fase líquida e sólida por membranas e filtros (GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]; MUYLAERT et al., 2017).

Assim como o crescimento das microalgas pode ser influenciado por condições ambientais do cultivo, o conteúdo proteico também - variando de acordo com as espécies, ainda que essas sejam cultivadas com base nos mesmos critérios de produção. A exemplo da temperatura, foi observado que, para algumas espécies, a relação conteúdo proteico-temperatura obedecia a uma disposição em U, ou seja, para certas microalgas, temperaturas mais baixas e mais altas aumentavam a quantidade de proteína produzida, enquanto que temperaturas mais amenas não pareciam ter tanta influência na quantidade de proteínas (WANG, Yanwen et al., 2021).

Em relação aos nutrientes, como citado previamente, o conteúdo proteico é influenciado majoritariamente por N, P e C. No modo de cultivo por batelada, a espécie *Chaetoceros sp.*, apresentou cerca de 8% do conteúdo proteico aumentado com o aumento da concentração de nitrogênio de 0,5 para 1 g/L (WANG, Yanwen et al., 2021). O mesmo foi observado na espécie *Chlorella vulgaris*, na qual foi notado aumento do conteúdo proteico em 23% quando cultivada em meio rico em nitrogênio (GROSSMANN; HINRICHS; WEISS, 2020).

É interessante destacar a importância do aporte nutricional com o fim para o qual a biomassa é produzida, já que, em meios de cultura com depleção de nitrogênio, por exemplo, foi identificado aumento nas concentrações de lipídio e carboidratos enquanto que a concentração proteica parece sempre diminuída nessas condições (YEH; CHANG, 2012). Foi demonstrado que em cultivo por batelada - espécie *Chlorella vulgaris* - o meio com 50% da concentração de nitrogênio apresentou diferença pouco significativa no conteúdo lipídico em relação ao cultivo com depleção de fósforo, o que não se repetiu no que tange à concentração proteica, havendo a redução de cerca de 18% no conteúdo proteico (BULUT MUTLU et al., 2011). Por outro lado, tal diminuição também foi percebida para a espécie *Chaetoceros calcitrans* quando cultivada em meio com redução de 75% do fósforo (ADENAN et al., 2016).

No que tange ao pH e à salinidade, cada espécie também tem um ponto ótimo tanto para o crescimento quanto para a produção de biocompostos. Nesse sentido, foi demonstrado que a espécie *Dunaliella salina*, por exemplo, apresenta maior produtividade proteica (43,5 mg/L/d) estando submetida a um pH igual a 7,5 e salinidade de 2 M. (SUI; VLAEMINCK, 2019). A intensidade e exposição à luz também é um fator que difere entre as espécies, sendo que algumas, como *Scenedesmus obliquus* e *Desmodesmus sp.* tendem a crescer mais e melhorar o conteúdo proteico com o aumento da luminosidade, enquanto outras parecem ter uma relação inversamente proporcional (WANG et al., 2021). Na espécie *Asteracys sp.* o cultivo em meio fotoautotrófico com baixa intensidade luminosa se mostrou mais eficiente ($56,3 \pm 2\%$ na matéria seca) (WANG, Yanwen; TIBBETTS; MCGINN, 2021) em relação ao conteúdo proteico obtido por meio do cultivo nessa mesma condição, mas com alta intensidade luminosa ($43 \pm 2,1\%$ na matéria seca). Já no modo de cultivo mixotrófico, o aumento da intensidade da luz provocou aumento do conteúdo proteico em cerca de 9,4% em comparação com a mesma condição, porém em baixa intensidade luminosa (AGARWAL et al., 2019). Alguns estudos apontam, ainda, aumento do conteúdo proteico de microalgas produzidas em condições de cultivo com adição de substrato orgânico em comparação com o cultivo em meio autotrófico (ABREU et al., 2022).

4.3 MERCADO E PRODUÇÃO

Para a produção de 1 kg de biomassa das microalgas, o volume de água utilizado varia entre $2,4 \text{ m}^3$ a $6,8 \text{ m}^3$ (ZHAI et al., 2020), menos que a metade do total utilizado em toda a cadeia de produção da mesma quantidade de carne (PALHARES, 2018). Em termos de espaço, utiliza-se um hectare para 22 a 44 toneladas de proteína de microalgas, sendo a utilização do espaço relativa, por exemplo, à condição de cultivo (JANSSEN; WIJFFELS; BARBOSA, 2022a). Nesse sentido, foi demonstrado que para a produção de uma tonelada (1 ton) de proteína proveniente da *Chlorella*, cultivada na condição mixotrófica, tendo o açúcar da beterraba como fonte de carbono orgânico, utilizou-se 0,23 hectares, enquanto que para a produção de apenas 100 gramas de proteína bovina, utiliza-se 0,16 hectares, o que demonstra uma vantagem do cultivo de algas como fonte alternativa de proteínas (JANSSEN; WIJFFELS; BARBOSA, 2022; POORE; NEMECEK, 2018). Mesmo assim, vale ressaltar que, apesar de não demandar recursos de produção tão extenuantes quanto a carne bovina, para substituí-la é necessário que os componentes nutricionais sejam similares à carne, a exemplo das quantidades de B12.

Em relação aos custos de produção, foi demonstrado grande variedade no que diz respeito às microalgas, uma vez que fatores como sistema e condições de cultivo implicam no

aumento ou diminuição dos gastos para a produção, de modo que para o cultivo de 1 kg da biomassa, gasta-se entre 3,1 e 11 euros (~17 e 60 reais, respectivamente) (ABREU et al., 2022). Outros valores são demonstrados, ainda, quando se analisa a massa proteica seca, assumindo valores entre 10 e 18 euros por quilograma (~55 e 98 reais), com aumento do custo entre cerca de 4 a 13 euros para o processamento da biomassa (JANSSEN; WIJFFELS; BARBOSA, 2022). Em comparação com as microalgas, os custos associados à produção das macroalgas são relativamente baixos, sendo que mão de obra, taxas, materiais e a espécie a ser cultivada, são determinantes para agregar valor ao cultivo (COLLINS et al., 2022; PEREIRA; KIMPARA; VALENTI, 2020). Nesse sentido, os custos podem variar entre \$ 0,6/ kg de matéria seca e \$ 1,7/ kg da matéria seca (~R\$ 2,84/kg a R\$ 8,06 kg), a depender da espécie cultivada (GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]). Por fim, foi observado que, para o consumo humano, o cultivo da alga *Hypnea pseudomusciformis* assumiu valores específicos de acordo com o tamanho da produção: em pequena escala, cerca de US\$ 8,22/kg (~ R\$42) e em média escala cerca de US\$17,21/kg (~R\$37) por ano, sendo que o rendimento de produção na escala média correspondeu ao triplo da biomassa (18 kg/ano) em comparação com a produção em pequena escala (PEREIRA; KIMPARA; VALENTI, 2020).

No que tange à produção global, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2019, foram produzidas pouco mais de 56.450 toneladas de microalgas, sendo a China líder em produção e o principal tipo cultivado foi a Spirulina, que contém cerca de 60% a 70% de proteína em base seca (CAI et al., 2021; KOYANDE et al., 2019). Já para as macroalgas, no mesmo ano foi registrada uma produção de quase 36 milhões de toneladas, sendo a Ásia o principal continente produtor, seguido de países americanos, com destaque para o Chile, produzindo cerca de 87% da produção total do continente (CAI, 2021).

O mercado de algas, em específico das macroalgas, tem crescido ao longo dos anos, sendo que em 2025 espera-se uma valorização em pouco mais que 30 bilhões de dólares e taxa de crescimento anual composta de quase 13%. É interessante destacar, ainda, que das aplicações industriais das macroalgas, a aplicação na indústria alimentícia é a que mais crescerá, segundo previsões de mercado, haja vista as dezenas de aplicabilidades da biomassa (MARKET RESEARCH REPORT, 2020). Outrossim, no que tange ao crescimento de mercado das microalgas, a previsão é de que esse seja valorizado em quase 2 bilhões de dólares até o ano de 2028, com uma taxa de crescimento anual composta correspondendo a cerca de 10% entre 2021

e 2028, em grande parte devido à produção voltada para o mercado vegetariano; nutracêutico e de suplementos (METICULOUS MAERKET RESEARCH, 2021).

4.4 CENÁRIO BRASILEIRO RELATIVO À PRODUÇÃO DE ALGAS

O Brasil é um país de tamanho continental e apresenta extensa região costeira (quase 11 km no total) (MATOS, 2021), podendo ser dividida em zonas que partem desde o extremo norte até o sul do país de acordo com a distribuição das macroalgas. Para o consumo humano, algumas espécies têm valor comercial mais chamativo, a exemplo da *Ulva compressa*, mas sabe-se que grande parte das macroalgas aqui cultivadas tem como fim a utilização de hidrocoloides pela indústria alimentícia e não necessariamente como fonte alternativa de proteínas (SIMIONI; HAYASHI; OLIVEIRA, 2019).

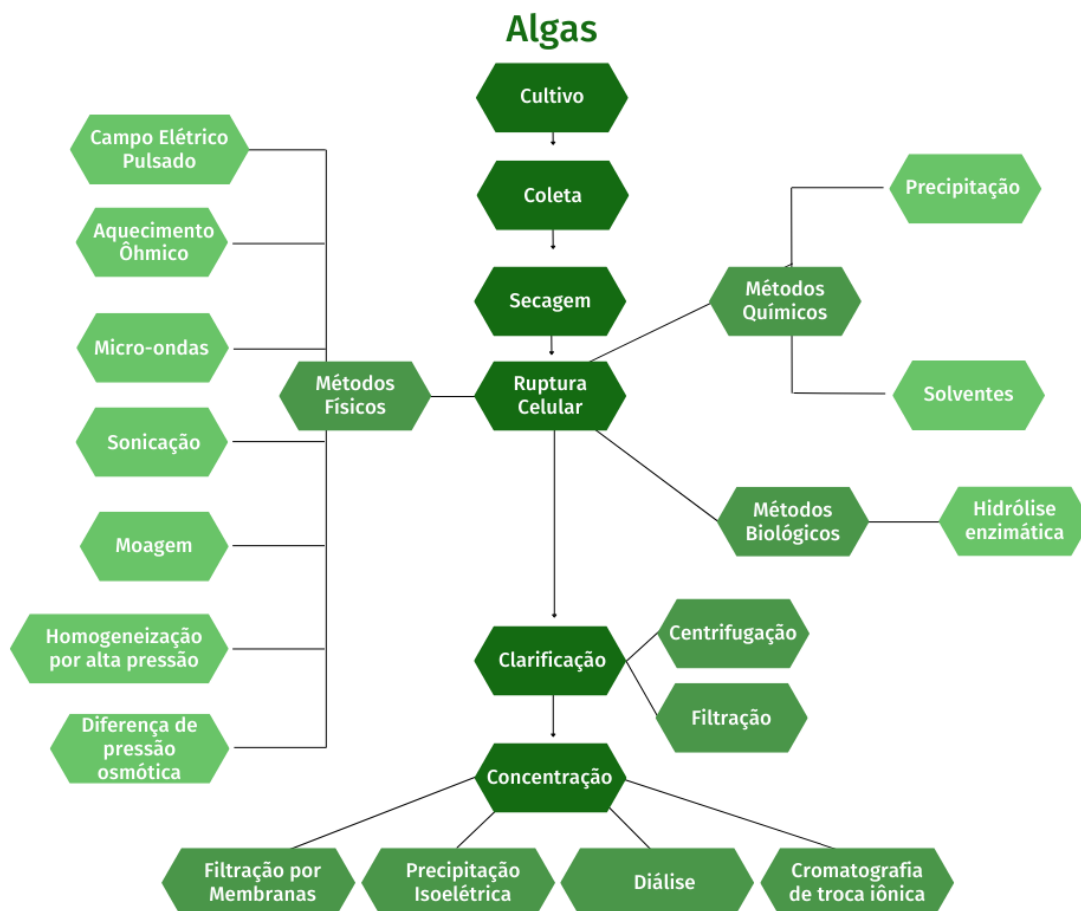
Nesse sentido, alguns estados destacam-se no cultivo das macroalgas: Rio de Janeiro e São Paulo, possuindo cultivos em escala comercial para a produção de carragena, mas ainda insuficiente para as demandas da indústria; Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo que este último é o único que possui um Plano Local para o Desenvolvimento de Maricultura (PELLIZZARI; REIS, 2011; SIMIONI; HAYASHI; OLIVEIRA, 2019).

Em relação às microalgas, grande parte dos investimentos e pesquisas estão voltadas para a produção de biocombustíveis, sendo que o conceito de biorrefinarias têm se tornado popular em diversas partes do mundo para fins de diminuição de custos e consequente ampliação comercial do uso desse grupo de microorganismos (FIGUEIREDO, [s.d.]). Porém, mesmo com a baixa valorização no mercado alimentício, no Nordeste há empresas produzindo microalgas para fins de alimentação humana e animal, como a Fazenda Tamanduá, produtora de Spirulina e, no interior de São Paulo, atendendo outras indústrias, a exemplo da indústria de biocombustíveis (CHIES, 2017). Ainda, empresas nortistas, como a MAD4Life, têm produtos alimentares à base de Spirulina, denominados “Proteína Florestal” (MAD4Life, 2022).

5. OBTENÇÃO DE PROTEÍNAS A PARTIR DE MICROALGAS

O processo de extração é feito após as etapas de cultivo, coleta, secagem (em alguns casos) e destruição celular para a obtenção da proteína propriamente dita. Vale ressaltar que, diferentemente da biomassa de plantas, a qual contém lignina associada à celulose na constituição da parede celular, as algas possuem apenas a celulose, o que facilita o processo de extração de compostos bioativos (MICHALAK IZABELA; CHOJNACKA KATARZYNA, 2014). Quanto a fatores como digestibilidade, biodisponibilidade, bioatividade e aspectos funcionais, tem-se que o nível de processamento da biomassa e, portanto, de pureza da proteína, é determinante para aumentá-los ou não. Nesse sentido, a biomassa pouco processada, apesar de apresentar aspectos positivos, como menor risco de degradação por exposição a mudanças de pH e desnaturação, possui biodisponibilidade e bioatividade reduzida em comparação com outras fontes proteicas, haja vista que as proteínas estão protegidas por envoltórios celulares, composto por polissacarídeos - como do alginato e ágar - por exemplo, os quais são pouco metabolizados por enzimas do trato gastrointestinal (GEADA et al., 2021; SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018). No entanto, o grau de processamento pode ser benéfico ou não dependendo do objetivo da indústria ao utilizar a proteína advinda das algas, ou seja, se visa as propriedades funcionais tecnológicas, como capacidade espumante e capacidade emulsificante, ou os aspectos nutricionais da proteína.

Figura 4- Etapas do processo de produção e extração proteica a partir de algas.



Fonte: Autoria própria

Para o aumento da disponibilidade proteica e extração, métodos de ruptura celular fazem-se necessários, sendo que a principal estrutura que impede o acesso ao conteúdo proteico das algas é a parede celular – cuja constituição varia de acordo com a espécie da alga (SAFI et al., 2014) – e a membrana tilacoide do cloroplasto, que além de armazenar os pigmentos característicos das algas (BARTY DEXTRO, [s.d.]) também armazenam proteínas (OLIVEIRA, 2015). É válido ressaltar ainda que, em termos de custo-benefício, os métodos de extração mais eficientes são aqueles que combinam, em todo processo, menor gasto de energia para acessibilidade proteica, preservação de outros coprodutos de interesse, tal como pigmentos e lipídios, e a minimização da produção de resíduos (MICHALAK IZABELA; CHOJNACKA KATARZYNA, 2014).

O tipo de método de ruptura da célula depende de alguns fatores, a exemplo das diferentes constituições da parede celular, o tamanho das células e a energia necessária para o rompimento desses envoltórios (SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018). Nesse sentido, dependendo da necessidade norteada pelos fatores supracitados, os métodos são

classificados em físicos, químicos e biológicos (enzimático) (Figura 4) (MICHALAK IZABELA; CHOJNACKA KATARZYNA, 2014). Um exemplo de método que antecede a etapa de extração propriamente dita é o campo elétrico pulsado (Pulsed Electric Field -PEF), o qual destrói a bicamada lipídica da membrana celular facilitando sua permeabilidade. Esse processo aplicado de maneira isolada, no entanto, não é muito eficiente, de modo que combiná-lo com tratamento térmico (calor), por exemplo, aumenta a permeabilidade celular (POSTMA et al., 2016). Outro método físico que facilita o processo de extração é o aquecimento ôhmico (Ohmic Heating - OH), o qual também utiliza eletricidade, mas para promover o aquecimento do tecido celular, porém com voltagens mais baixas se comparadas ao PEF. Como o PEF mostrou-se mais eficiente quando combinado com tratamento térmico, a combinação dos dois métodos – PEF e OH – tem resultado em altos rendimentos no que tange à extração proteica (GEADA et al., 2021a).

A sonicação também se enquadra como tratamento físico de ruptura celular e promove a agitação das partículas em meio aquoso por meio de ondas mecânicas sonoras (ultrassom), de modo a formar bolhas, as quais implodem com o tempo. Com isso, a energia irradia desintegrando as células que estão no meio (CHUNG, 2017; THERMO FISHER SCIENTIFIC, [s.d.]). Esse método se diferencia do PEF porque torna a célula mais permeável à ação do solvente já que destrói não somente a parede celular, mas também a membrana. Entretanto, tal método não é reprodutível em larga escala devido a utilização de muita energia, demandando ser combinado com outros métodos (GEADA et al., 2021). Foi demonstrado que alternar as frequências durante a sonicação mostrou-se eficaz para aumentar da permeabilidade da membrana celular e, conseqüentemente, diminuir o tempo de extração da proteína (BLEAKLEY; HAYES, 2017).

A ruptura dos envoltórios celulares pode, ainda, ser causada pela agitação das partículas no meio aquoso, com o emprego de micro-ondas eletromagnéticas que alteram pressão e temperatura intracelular. Trata-se de um processo com pouco gasto energético, mas que não é indicado para a extração de compostos termo sensíveis tais quais as proteínas (CERMEÑO et al., 2020).

Por fim, tem-se alguns métodos mecânicos que facilitam a extração proteica, tal como a moagem, que se utiliza de objetos esféricos de diferentes materiais os quais colidem com as partículas do meio causando a ruptura de suas estruturas. Trata-se de um processo barato e facilmente escalável, no entanto, como desvantagem, estudos apontam a alta demanda por

energia, por exemplo (D'HONDT et al., 2017). Ainda, a homogeneização por alta pressão consiste na passagem da biomassa por uma abertura delgada com alta pressão. Assim, devido à força que a pressão exerce, ocorre a ruptura das estruturas que diminuem a permeabilidade celular, sendo que a eficiência desse método depende de vários fatores incluindo a “rigidez” da parede celular (HU; BASSI, 2020).

Já os métodos químicos de processamento da biomassa geralmente promovem a ruptura celular utilizando precipitação das proteínas que compõe a parede celular, além de solventes, como o etanol e o metanol, sendo que o rendimento é maior para microalgas e menor para macroalgas (GEADA, Pedro et al., 2021; PHONG et al., 2016). Em relação ao tratamento enzimático, é necessário usar mais de uma enzima dependendo da complexidade da parede celular para que ocorra a destruição dessa. Esse é um processo pouco eficiente quando aplicado de maneira isolada, mas a combinação com os métodos físico-químicos promove maior acesso à proteína intracelular (SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018).

Após os processos de ruptura celular e obtenção do extrato proteico, os produtos remanescentes são retirados por centrifugação ou por filtração de modo que a fase sobrenadante, contendo as proteínas, fica separada (SAFI et al., 2017). Depois dessa etapa, o processamento e a concentração do extrato – por filtração ou precipitação – se fazem necessários para a obtenção da concentração e pureza desejadas pela indústria (concentrada ou isolada) (SAFI et al., 2017). Ainda, a purificação proteica pode ser feita por outros métodos, a exemplo da cromatografia de troca iônica e metodologias baseadas na separação da solução por membranas, como a diálise, a micro, a ultra ou nano filtração, e a osmose inversa, sendo que a filtração é baseada nas diferenças de tamanho e peso molecular das partículas que compõe o extrato concentrado e a osmose inversa é baseada na saída do solvente por meio de membranas semipermeáveis para que ocorra a concentração do soluto, as proteínas (BLEAKLEY; HAYES, 2017; LIU et al., 2020). Por fim, o fracionamento proteico pode ser feito a partir da biomassa seca, de modo que não demanda de grandes quantidades de água ou energia aplicada como o fracionamento com a biomassa úmida. Todavia, esse método ainda tem como desvantagem a promoção de concentrações proteicas reduzidas em relação ao fracionamento a partir da biomassa úmida tornando-se pouco viável na produção em larga escala (SCHUTYSER; VAN DER GOOT, 2011).

A partir do extrato concentrado e isolado, as proteínas podem ser hidrolisadas e, ao serem submetidas a etapas de purificação adicionais, pode-se obter peptídeos bioativos. Vale

ressaltar que a hidrólise proteica também pode ser feita de maneira direta a partir da ruptura celular por solventes. No caso das algas, a maior parte das proteínas hidrolisadas são produzidas a partir desse último (SOTO-SIERRA; STOYKOVA; NIKOLOV, 2018).

Diante do exposto, os custos para a extração da proteína – que demanda das várias etapas anteriormente mencionadas – dependem de alguns fatores, a exemplo da eficiência dos métodos para aumento da permeabilidade e lise celular – a qual varia de acordo com o método escolhido, a espécie da alga e a resistência da parede e/ou membrana celular – o tipo e a quantidade de solvente utilizado para a extração propriamente dita, e o grau de purificação desejado pela indústria (D'HONDT et al., 2017). Por fim, foi observado que a ruptura das estruturas celulares aumenta os custos em cerca de R\$ 2,70/kg biomassa, enquanto que os demais processamentos (extração e purificação proteica) adicionam até ~R\$71,00/kg da biomassa (JANSSEN; WIJFFELS; BARBOSA, 2022). Nesse sentido, percebe-se que os custos de produção e processamento da biomassa são determinantes para a competitividade de mercado, sendo que, na Europa, a extração corresponde a 38% dos custos para a fabricação de produtos à base de microalgas, sendo a redução desses o primeiro empecilho para uma posição competitiva do mercado de algas europeu (ENZING et al., 2014).

Tabela 1- Influência dos métodos de ruptura celular no rendimento proteico e nas características técnico-funcionais das proteínas de algas

Grupo	Espécie	Método de Ruptura Celular	Rendimento Proteico	Método de Concentração Proteica	CE ¹	Capacidade Estabilizante da Emulsão (%)	CRO ² (g de H ₂ O/g de PTN)	CRA ³ (g de H ₂ O/g de PTN)	Formação de Espuma	Referência
Microalgas	<i>Chlorella vulgaris</i>	Homogeneização por alta pressão	52 ± 3% (pH=12) Rendimento Máximo	Precipitação e ultrafiltração tangencial	2600 ± 50 ml de óleo/ PTN (PC pH=7)	77 ± 1 (PC pH=7)	NI	NI	NI	(URSU et al., 2014a)
					1780 ± 20 ml de óleo/PTN (PC pH=12)	72 ± 1 (PC pH=12)				
					2310 ± 40 ml de óleo/ PTN (UF pH=7)	79 ± 1 (UF pH=7)				
					1800 ± 10 ml de óleo/PTN (UF pH=12)	76 ± 1 (UF pH=12)				
	<i>Chlorella vulgaris</i>	Combinação dos métodos: diferença de pressão osmótica; sonicação e carboidrase	9,58% - 26,308%	Centrifugação	NI	73,10 ± 4,68%	4,55 ± 0,05	0,12 ± 0,04	49,17 ± 5,89%	(YUCETEPE, 2022)
	<i>Arthrospira platensis (Spirulina)</i>	Sonicação (Ultrassom)	86,30%	Precipitação Isoelétrica	80,6% (pH=6)	NI	2,87 ± 0,02	2,14 ± 0,01	182,3% (pH=2)	(TARAGJINI et al., 2022;

										ZHU et al., 2019)
	<i>Haematococcus pluvialis</i>	Extração alcalina	81,36% (pH=11,5)	Precipitação em meio Ácido e Diálise	161,52%	48,20%	3,29	4,06	88,32%	(ZHU et al., 2019)
	<i>Nannochloropsis oceanica</i>	Sonicação	71,56 ± 0,59%	Centrifugação seguida de precipitação em meio ácido e diálise	NI	NI	8,25 ± 0,44 g	2,87 ± 0,07	NI	(CHEN et al., 2019)
Macroalgas	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Suspensão em água deionizada, seguida de incubação e centrifugação	62,3 ± 1,62%	Precipitação com adição de sulfato de amônio	NI	NI	1,29 ± 0,20	22,00 ± 0,04	38 ± 2% (pH= 6)	(SURESH KUMAR et al., 2014)
									3,33 ± 2,31% (pH= 4)	
	<i>Himanthalia elongata</i>	Ultra-sonicação	6,5 ± 0,7%	Diálise	NI	NI	8,1 ± 0,07	10,27 ± 0,09	6,98 ± 0,16% (pH= 2)	(GARCIA-VAQUERO; LOPEZ-ALONSO; HAYES, 2017)
									64,44 ± 2,22 (pH= 6)	
55,56 ± 6,92 (pH=8)										
71,52 ± 4,81% (pH=10)										

	<i>Pyropia Yezoensis</i>	Suspensão em água deionizada, seguida de incubação e centrifugação	17,28%±0,12%	Diálise (Concentrado solúvel em água)	NI	NI	17,99 ± 0,91	1,97 ± 0,37	<25% (pH=4)	(WANG et al., 2022)
									<10% (pH=8)	
			23,06%±0,54%	Precipitação com adição de sulfato de amônio (Concentrado solúvel em meio básico)	NI	NI	8,42 ± 0,26	4,84 ± 0,12	62,33% ± 4,00% (pH=8)	
									30,22% ± 2,00% (pH= 4)	

¹ CE= Capacidade Emulsificante; ² CRO= Capacidade de Retenção de Óleo; ³ CRA= Capacidade de Retenção de Água; NI= Não Informado; PTN= Proteína; MS= Matéria Seca; UF= Ultrafiltração; PC= Precipitação

Fonte: Autoria própria

Como observado anteriormente, dependendo do objetivo da indústria, o grau de processamento da biomassa para a obtenção da proteína pode ser ou não benéfico no que diz respeito à concentração e às características tecnológicas dessa macromolécula (GEADA et al., 2021). Nesse sentido, a Tabela 1 foi utilizada para analisar a relação entre os métodos de ruptura celular, concentração proteica e características funcionais.

Em geral, percebe-se rendimentos no grupo das microalgas variando de 9,58% até 86,3%, sendo que o valor máximo corresponde à espécie *Arthrospira platensis* (Spirulina), com proteína extraída por sonicação, seguida de concentração por precipitação isoelétrica (Tabela 1). Já no grupo das macroalgas o rendimento variou entre 6,5% e 62,3%, sendo que o maior valor corresponde àquele obtido na extração proteica da espécie *Kappaphycus alvarezii* por meio da suspensão em água deionizada, incubação e centrifugação, seguido de precipitação com sulfato de amônio.

Dos artigos selecionados para a elaboração da tabela, poucos avaliaram a capacidade emulsificante das proteínas, sendo a capacidade de retenção de óleo (CRO), a capacidade de retenção de água (CRA), e formação de espuma, as características mais descritas. Segundo Taragjini et al. (2022) o pH tem forte influência nas propriedades funcionais da proteína obtida, sendo que as condições de processamento das algas, a exemplo da coleta, também se relacionam com as características tecnológicas proteicas. Ainda, a associação do método de ruptura por alteração da pressão osmótica, o uso de carboidrases e o pH básico, melhorou as propriedades funcionais da proteína extraída da espécie *Chlorella vulgaris*, exceto para a CRA (Tabela 1). Ursu et al.(2014) observou que diferentes fins industriais requerem diferentes condições de extração, já que o processamento da biomassa de *Chlorella vulgaris* em meio alcalino mostrou-se mais eficiente no que tange ao rendimento proteico, enquanto que, em meio neutro, apresentou melhora das características funcionais da proteína obtida. Por exemplo, em meio alcalino obteve-se a maior porcentagem de proteína na amostra analisada ($52 \pm 3\%$ na matéria seca), ao passo que no pH 7 o rendimento proteico foi menor que 40%. Em relação às características funcionais, por sua vez, no pH 7, tanto a proteína precipitada quanto a ultrafiltrada obtiveram maiores valores de capacidade emulsificante e capacidade estabilizantes se comparados ao pH 12 (~ 2310-2600 ml de óleo/ PTN versus ~1760-1810 ml de óleo/ PTN e 77-79 % versus 72-16%, respectivamente).

Por fim, pode-se destacar algumas características marcantes, e exemplo da capacidade de formação de espuma das espécies *Arthrospira platensis* (182,3%, pH=2) e *Haematococcus*

pluvialis (88,32%), que pode ser comparada com outras proteínas de origem vegetal. Por exemplo, foi demonstrado que a albumina da farinha de lentilha apresentou capacidade de formação de espuma entre 32 e 38% (OSEMWOTA; ALASHI; ALUKO, 2022) e a globulina da soja apresentou capacidade espumante de $75,1 \pm 4,7\%$ (YANG et al., 2022), o que demonstra a superioridade das propriedades espumantes de algas se comparado a fontes tradicionais. Deste modo, as proteínas de algas podem ser úteis para além dos aspectos nutricionais, relacionando-se com características sensoriais, como textura, e de conservação dos alimentos, sendo, portanto, interessante para indústrias alimentícias, como as de produtos veganos.

Em relação à CRO, a espécie *Pyropia Yezoensis* apresentou valor bastante alto ($17,99 \pm 0,91$) se comparado à proteína concentrada de soja (1,76 g de óleo/ g de PTN), de grão de bico (10,9 – 14,6 g de óleo/ g de PTN) (AYDEMIR; YEMENICIOĞLU, 2013), de lentilha verde (1,20 – 1,35 g de óleo/ g de PTN) (MA et al., 2022) e de ervilha (1,10 – 1,40 g de óleo/ g de PTN) (STONE et al., 2015), o que reforça a potencialidade da aplicação de microalgas no setor alimentício.

6. BENEFÍCIOS DO CONSUMO À SAÚDE

De modo geral, as algas possuem grande potencial para a saúde dos consumidores devido à presença de inúmeros compostos bioativos em sua composição, a exemplo das proteínas e peptídeos, além de carotenoides, fitoesteróis, polissacarídeos, ácidos graxos e compostos fenólicos (SINGH et al., 2021). Considerando-se as proteínas, sabe-se que algumas espécies apresentam um bom perfil proteico, o que pode aumentar a disponibilidade de proteínas no organismo, como as microalgas *Chlorella* e *Arthrospira platensis*, as quais possuem entre 50 e 70% de proteína (KOSE et al., 2017) e a macroalga vermelha *Porphyra yezoensis*, que contém 47% de proteína na matéria seca (FLEURENCE; MORANÇAIS; DUMAY, 2018a). Apesar disso, para inferir o quão vantajoso é o consumo dessa fonte proteica em relação a outras tradicionalmente consumidas, é importante que se considere a qualidade da proteína, avaliando fatores como perfil aminoacídico, biodisponibilidade e biodigestibilidade (THIVIYA et al., 2022). É sabido que a digestibilidade é determinante na disponibilidade de aminoácidos livres que serão utilizados pelo organismo para processos como síntese proteica (KOSE et al., 2017). Apesar da relevância, é perceptível que, dos estudos que avaliam a biodisponibilidade e biodigestibilidade de componentes advindos das algas em geral, a maioria das investigações têm sido feitas *in vitro* ou em animais como os roedores, de modo que pesquisas que avaliem esses fatores em humanos, bem como os desfechos do consumo de produtos à base de algas na saúde são, ainda, escassas.

Semelhante à problemática trazida no tópico de extração, um dos fatores que interferem na digestibilidade de produtos à base de algas é a parede celular de micro e macroalgas. Por exemplo, a espécie *Arthrospira platensis* possui alta digestibilidade (~97%), sendo essa associada à camada de peptidioglicanos da parede celular, enquanto a espécie *Chlorella vulgaris* possui menores valores (~70%) por ter uma parede composta por celulose, o que dificulta a ação de enzimas digestivas. (KOSE et al., 2017; NICCOLAI et al., 2019). Mesmo assim, a digestibilidade dessas algas pode ser maior se comparada à alguns produtos de origem animal ou à base de plantas, sendo este último caso explicado devido aos vegetais possuírem lignina além da celulose em sua composição, o que torna a estrutura ainda mais rígida (MICHALAK IZABELA; CHOJNACKA KATARZYNA, 2014). Por exemplo, a digestibilidade da proteína de ervilha varia entre 83 e 90% e a proteína do leite entre 84 e 94% (QIN; WANG; LUO, 2022). No que diz respeito às macroalgas, uma das razões para os baixos valores de digestibilidade (~36%) pode ser a presença de componentes, como as fibras (JUUL et al., 2022), as quais variam entre 33 e 62% na matéria seca, impedindo a utilização dos

biocompostos pelo organismo, mas, ao mesmo tempo, sendo benéfica para fins de saúde devido ao potencial prebiótico com a fermentação desses carboidratos não digeríveis (DEMARCO et al., 2022).

A Tabela 2 destaca o perfil aminoacídico de macroalgas e microalgas, ilustrando que ambas apresentam boas quantidades de aminoácidos essenciais.

Tabela 2- Quantidades de aminoácidos essenciais presentes em fontes de proteína animais, vegetais e algas, expressos em gramas de aminoácidos/16 g N.

DRI * (mg/kg/dia)	His	Ile	Leu	Lis	Met	Trip	Fen	Tre	Val
	11	15	42	31	15**	4	27***	16	19
Fontes de proteínas	His	Ile	Leu	Lis	Met	Trip	Fen	Tre	Val
<i>Whey Protein</i> ¹	1,87	6,29	10,5	8,62	2,58	2,37	3,5	7,2	5,87
Ovo ²	2,4	6,6	8,8	5,3	3,2	1,7	5,8	5	7,2
Ervilha ³	2,5	4,5	8,4	7,2	1,1	1	5,5	3,9	5
Soja ²	2,6	5,3	7,7	6,4	1,3	1,4	5	4	5,3
Lentilha ³	3,36	4,96	7,28	7,09	0,94	0,72	4,72	3,78	4,92
Microalga <i>Arthospira platensis</i> ²	2,2	6,7	9,8	4,8	2,5	0,3	5,3	6,2	7,1
Microalga <i>Chorella vulgaris</i> ²	2	3,2	9,5	6,4	1,3	-	5,5	5,3	7
Microalga <i>Chorella sorokiana</i> ²	0,45	1,25	2,89	0,35	0,35	0,05	1,7	0,83	1,77
Microalga <i>Nannochloropsis aculata</i> ²	2,1	4,8	7,8	6,1	1,6	1,6	6,2	5,5	6,5
Macroalga <i>Ulva sp.</i> ⁴	1,36	4,07	6,97	4,37	2,13	NI	5,02	5,54	6,30
Macroalga <i>Palmaria palmata</i> ⁴	1,27	3,41	5,42	4,75	1,54	NI	3,76	3,83	5,34
Macroalga <i>Laminaria digitata</i> ⁴	1,49	3,61	6,12	4,63	1,66	NI	4,07	4,65	5,15

Fonte: Autoria própria. ¹(GROWTH SUPPLEMENTS, [s.d.]); ²(KUMAR, Raman et al., 2022); ³ (SHRESTHA et al., 2023); ⁴ (GAILLARD et al., 2018); * Valores de referências para adultos >19 anos (OTTEN; HELLWIG; MEYERS, 2006); **metionina+cisteína; ** fenilalanina+tirosina

His= histidina; Ile= isoleucina; Leu= leucina; Lis= lisina; Met= metionina; Trip= triptofano; Fen= Fenilalanina; Ter= treonina; Val= valina; NI= Não Informado.

A partir da tabela é possível perceber características marcantes quanto ao perfil de aminoácidos (AAs) essenciais de algumas algas. Por exemplo, a espécie *Arthrospira platensis* (Spirulina) apresentou uma quantidade de isoleucina ligeiramente maior se comparada ao ovo (6,7 vs. 6,6 g de AA/ 16 g N). Ainda, a spirulina possui grandes quantidades de leucina (9,8 g de AA/16 g N), significativamente maior se comparada às demais fontes de proteína analisadas na tabela, com exceção da espécie *Chorella vulgaris* (9,5 g de AA/16 g N) e do whey protein (10,5 g de AA/16 g N). Por fim, ambas espécies (*Arthrospira platensis* e *Chorella vulgaris*) também apresentaram altos valores do aminoácido valina, com quase 38% da recomendação diária, segundo as Dietary Reference Intakes (DRIs).

De maneira geral, percebe-se que as microalgas apresentam maiores quantidades de isoleucina, leucina, treonina e valina, com exceção da espécie *Chorella sorokiana* a qual apresentou valores bastante baixos se comparada às demais. Ainda, dentre os AAs, o triptofano é o que está em menor conteúdo, sendo considerado, portanto, o aminoácido limitante. Dentre as macroalgas (*Ulva sp.*; *Palmaria palmata* e *Laminaria digitata*), por sua vez, os AAs mais comuns na composição proteica são a lisina, leucina, valina, fenilalanina e treonina.

Apesar de não possuírem todos os AAs essenciais em quantidades significativas, as algas podem ser, ainda assim, utilizadas como fonte proteica a partir de misturas com outros alimentos fontes dos AAs limitantes nas algas (MATOS, 2017) ou mesmo “blends” que contém mais de uma espécie de macroalga, por exemplo, em sua composição (MARQUES et al., 2021). Além disso, é reconhecido que alguns peptídeos presentes nas microalgas têm desfechos positivos para a saúde cardiovascular. Por exemplo, em um estudo feito com ratos hipertensos, um peptídeo composto por 4 aminoácidos (Valina-Glutamina-Glicina-Tirosina) presente na espécie *Chlorella ellipsoidea*, foi associado à inibição da enzima conversora de angiotensina (ECA), portanto à diminuição da pressão intravascular, de modo a atuar como anti-hipertensivo (KO et al., 2012). Além dessa espécie de microalga, pode-se destacar outras diversas macroalgas com mesmo potencial anti-hipertensivo devido à presença de peptídeos inibidores de ECA, principalmente as algas vermelhas (*Porphyra yezoensis*, *Bryopsis spp.*, *Mozzaella japônica* *P.dioica* e *P.columbina*) (THIVIYA et al., 2022).

Além do potencial anti-hipertensivo das algas, alguns outros compostos bioativos presentes nas microalgas e macroalgas possuem atividade antioxidante, capacidade de modulação imunológica, potencial antidiabético e atividade antiproliferativa (KUMAR, Raman et al., 2022; THIVIYA et al., 2022)

No que diz respeito aos processos inflamatórios e à capacidade antioxidante, destacam-se alguns pigmentos, como a astaxantina e o caroteno, peptídeos, e ácidos graxos (PUFAs). Por exemplo, a astaxantina, pigmento carotenoide encontrado em algumas espécies de microalgas (*Haematococcus pluvialis* e *Chlorella zofingiensis*) possui alto potencial antioxidante, sendo relacionada ao tratamento e prevenção de doenças crônicas (diabetes, hipertensão, cânceres, entre outras) (PATIL; KASABE; DANDGE, 2022). Nesse sentido, entidades internacionais e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária reconhecem esse composto como um suplemento, sendo que as quantidades permitidas variam entre os países. No Brasil, comercializa-se os ésteres de astaxantina como fonte desse carotenoide, sendo esse proveniente da espécie *Haematococcus pluvialis* (ANVISA, [s.d.]). As macroalgas, por sua vez, possuem pigmentos e polissacarídeos com atividade antioxidante, antimicrobiana e imunorregulatória, respectivamente. Foi demonstrado que galactanas sulfatadas presentes na espécie de alga vermelha, *Gracilaria fisherm*, possuem atividade imuno estimulante e antiproliferativa, podendo ser utilizada no tratamento de doenças, já que promovem a ativação de macrófagos e produção de citocinas e outras moléculas responsáveis pela resposta imunológica do organismo (KHONGTHONG et al., 2021). Em relação aos pigmentos com capacidade de redução do estresse oxidativo, pode-se citar as xantinas (zeaxantina, cantaxantina e fucoxantina) e luteína, encontradas em espécies como *E. denticulatum*, *S. polycystum* e *C. lentillifera* (BALASUBRAMANIAM et al., 2020). No que tange à atividade antimicrobiana, aparentemente não se considera um único componente de maneira isolada como responsável por este efeito, mas a relação entre diferentes compostos. Desses, pode-se destacar peptídeos e proteínas, como as lectinas ou glicoproteínas, polifenóis e polissacarídeos (SILVA et al., 2020).

As microalgas, são também ricas em ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa (PUFAs) (por exemplo, Ácido Graxo Eicosapentaenoico -EPA; Ácido Graxo Docosahexaenoico -DHA; e Ácido alfa-linoleico -ALA). Foi observado que altos teores de EPA e DHA em microalgas da família Chlorophyceae e da família Eustigmatophyceae diminuíram a produção de citocinas e interleucinas pró-inflamatórias, sendo a suplementação associada ao tratamento de diabetes e à prevenção de outras doenças crônicas devido à atividade anti-inflamatória (GUTIÉRREZ-PLIEGO et al., 2018). No cenário nacional, além dos pigmentos,

os óleos de microalgas também são permitidos para comercialização, sendo utilizados na formulação de alimentos convencionais ou com informação nutricional complementar, em fórmulas infantis ou como suplementos. Por exemplo, os óleos das espécies *Cryptocodinium cohnii*, *Schizochytrium sp.*, *Ulkenia sp.* podem ser comercializados como fonte de DHA (ANVISA, [s.d.]). Nas macroalgas, alguns PUFA's também são encontrados, dos quais se destaca ácido graxo alfa-linoleico, ácido linoleico e ácido eicosapentaenoico (LOPES et al., 2020). Nas algas vermelhas, que contêm uma quantidade significativa de proteínas na matéria seca, encontra-se especialmente o ácido graxo eicosapentaenoico, com destaque para as espécies *Porphyra sp.* e *Palmaria palmata* (MATOS, 2017).

A presença de alguns micronutrientes presentes nas algas já está muito bem descrita na literatura, com destaque para as vitaminas do complexo B, vitamina C e vitamina E (KOYANDE et al., 2019). Considerando uma alimentação vegetariana ou vegana, algumas deficiências nutricionais podem ser encontradas. Por exemplo, das vitaminas complexo B, é sabido que muitas fontes proteicas de origem vegetal não contêm quantidades significativas de B12, sendo essa concentrada em maiores quantidades em fontes proteicas de origem animal (Tabela 3). A deficiência desse nutriente é associada a condições como neuropatias, problemas cognitivos e anemia megaloblástica (DEL MONDO et al., 2020). Ainda, dietas vegetarianas, podem ser pobres em vitamina A, vitamina D3 e ferro, principalmente o heme (WATANABE et al., 2014).

Nesse sentido, algumas espécies de algas poderiam ser utilizadas em dietas vegetarianas e, principalmente veganas, uma vez que apresentam boas quantidades de vitamina B12, podendo prevenir as patologias destacadas anteriormente. Por exemplo, cianobactérias do gênero *Aphanizomenon* e *Arthospira* apresentam até ~ 0,66 µg de B12/100g da biomassa seca, enquanto microalgas do gênero *Isochrysis* até 8,9 µg de B12/100g da biomassa seca (Tabela 3). Por último destaca-se as algas pertencentes aos gêneros *Skeletonema* e *Pavlova* contendo 11,7 µg e 116,2 µg de B12 a cada 100g da biomassa seca (DEL MONDO et al., 2020).

Por fim, destacam-se os compostos fenólicos (a exemplo de flavonoides, ácidos fenólicos e florotaninos) presentes nas algas, cujos benefícios se associam à capacidade antioxidante, antiviral, antiproliferativa e anti-hipertensiva devido à diminuição de espécies reativas de oxigênio dentro das células, à ativação ou inibição de alguns genes envolvidos na proliferação celular e à inibição de ECA, respectivamente (DEL MONDO et al., 2021). As microalgas em específico parecem apresentar novos compostos fenólicos, sendo que algumas

espécies como *Porphyra tenera*, *Spirulina* e *Spongiochloris spongiosa* apresentam boas quantidades desses componentes (SINGH et al., 2021).

Tabela 3- Comparativo da concentração de B12 em fontes vegetais e animais de proteínas.

Fonte de Proteína	Concentração de Vitamina B12 (µg/100g b.s.)
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.; cru)	0
Ervilha (<i>Pisum sativum</i> L.; crua)	0
Grão de Bico (<i>Cicer arietinum</i> L.; cru)	0
Lentilha (<i>Lens culinaris</i> ; crua)	0
Soja (<i>Glycine max</i> L.; crua)	0
Ovo de Galinha	3,71
Leite de Vaca	3,83
Carne Bovina (média de diferentes cortes; crua)	1,15
Carne Suína (média de diferentes cortes; crua)	0,2
Carne de Frango ¹	0,74
<i>Aphanizomenon</i> ²	0,60
<i>Arthospira</i> ²	0,05-0,66
<i>Isochrysis</i> ²	8,9
<i>Skeletonema</i> ²	11,7
<i>Pavlova</i> ²	116,2

Fonte: Autoria Própria. Valores retirados da Tabela de Composição de Alimentos (TBCA) (“TBCA - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos.”, [s.d.]

¹ (USDA, 2019)

² (DEL MONDO et al., 2020)

Como destacado, ainda não foram realizados muitos estudos *in vivo* acerca de tais benefícios, no entanto, até o momento, destacam-se pesquisas que associam a suplementação de *Spirulina* à prevenção e controle do Diabetes Mellitus do tipo 2, bem como à melhora do perfil lipídico (PARIKH; MANI; UMA, 2001; SZULINSKA et al., 2017). Também, para além do bem-estar fisiológico, alguns estudos associam a suplementação de microalgas a melhora

dos sintomas de depressão, por exemplo (PANAHI et al., 2015). Apesar da quantidade reduzida de pesquisas realizadas em amostras humanas, a partir do que foi descrito, é possível perceber que o consumo de algas, seja como ingredientes adicionado em alimentos, ou como alimentos propriamente ditos (como a macroalga popularmente conhecida como nori), além de suplementos, pode acarretar desfechos positivos à saúde dos consumidores, principalmente àqueles que possuem restrições alimentares, a exemplo de vegetarianos e veganos.

7. ALGAS EM APLICAÇÕES ALIMENTARES

Diante das características nutricionais e propriedades tecnológicas das macroalgas e microalgas destacadas previamente neste trabalho, tem-se notado um crescimento vertiginoso de aplicações industriais utilizando algas para o beneficiamento de produtos, seja para fins nutricionais, seja para alterar características sensoriais dos alimentos, a exemplo da cor. Esse fato pode ser percebido com os vários produtos presentes no mercado emergente, que vão desde bebidas, a exemplo da água com adição de microalgas, a produtos alimentícios doces e salgados, como macarrão, chocolates, cookies e sorvetes. A Tabela 4 e a Tabela 5 evidenciam os novos produtos à base de algas lançados recentemente no mercado, havendo destaque para os ingredientes presentes, a tabela nutricional, a espécie da alga adicionada, além do país de lançamento do novo alimento.

Tabela 4- Aplicações de algas na indústria alimentícia e farmacêutica.

Produto Desenvolvido	Classificação	Empresa	País de Origem	Espécie da Alga	Referência
Água de Kefir	Bebida	Purearth	Reino Unido	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.purearth.co.uk/product/lemon-spirulina-kefir/
Água de Spirulina	Bebida	Bblue Wellness	Bélgica	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.b-blue.com/shop
Água de Spirulina	Bebida	Smart Chimp	França	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://world.openfoodfacts.org/product/3770005226039/smart-chimp
Barra de Frutas	Alimento	Kräuterhaus Sanct Bernhard	Alemanha	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.kraeuterhaus.de/de-DE/produkte/bio-fruchtriegel-spirulina-zitrone
Biscoito	Alimento	Daveiga- Galletas Mariñeiras	Espanha	<i>Undaria pinnatifida</i> (Wakame)	https://www.lagourmeta.com/en/crackers/organic-crackers-with-algae-93.html#info
Bolo de Maçã	Alimento	The Good Cakes	Reino Unido	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	http://thegoodcakes.com/home/39-Back-To-The-Future-Apple-Spirulina-Cake.html

Chocolate	Alimento	Spiruway	Índia	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://spiruway.com/product/choco-unik/
Chocolate	Alimento	Gobeche	Brasil	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.gobeche.com.br/loja/detalhes/tab-letes-chocolate-azul-com-spirulina-gobeche-adocado-com-acucar-400g
				<i>Chlorella</i>	https://www.gobeche.com.br/loja/detalhes/tab-letes-chocolate-verde-chlorella-limao-gobeche-adocado-com-acucar-400g
Cookie	Alimento	Zaara Biotech	Índia	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.amazon.in/Blite-Spirulina-Choco-Cookies-Chips/dp/B07XF13HRG
Cookie	Alimento	Joule Foods	Índia	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.amazon.in/Spirulina-Digestive-Preservatives-Enriched-Ingredients/dp/B09PZZJ7V1?th=1
Iogurte	Alimento	Nobel Headquarters (ノーベル本社)	Japão	<i>Chlorella</i>	http://www.e-nobel.jp/03_yoghurt/03_02_chlorellaaloe.htm 1
Leite Fermentado	Bebida	(株) クロレラ本社	Japão	<i>Chlorella</i>	https://chlorella-labe.co.jp/product/product02/p02-003/

Macarrão	Alimento	Bartolini	Polônia	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina</i>)	https://pyszneeko.pl/product-pol-4262-Makaron-z-Algami-Morskimi-Spirulina-Gniazdka-Tagliatelle-250g-Bartolini.html
Macarrão	Alimento	Sun Chlorella	Estados Unidos	<i>Chlorella</i>	https://www.amazon.ae/Sun-Chlorella-Udon-Noodles-220/dp/B089X8JDLL
Macarrão	Alimento	Pasta Natura	Itália	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina</i>)	https://olico.it/en/819-penne-organic-gluten-free-pasta-with-spirulina-algae-250-gr.html
Natural Blue Boost	Bebida	Ful	Holanda	<i>Arthrospira platensis</i> (<i>Spirulina</i>)	https://fulcompany.com/collections/website/products/lemon-ginger
Ômega-3	Suplemento	Garden of Life	Estados Unidos	<i>Schizochytrium sp.</i>	https://www.amazon.com/Garden-Life-Vegan-DHA-Supplement/dp/B003B6Y0CE/ref=sxin_14_pa_sp_search_thematic_sspa?content-id=amzn1.sym.a1dd6248-8b51-4ef7-9dfb-d3cf41015b4b%3Aamzn1.sym.a1dd6248-8b51-4ef7-9dfb-d3cf41015b4b&cv_ct_cx=microalgae+oil&keywords=microalgae+oil&pd_rd_i=B003B6Y0CE&pd_rd_r=fea79784-34a6-43d2-8b46-

					ccfb5e03812e&pd_rd_w=6XHx8&pd_rd_wg=5Iyfl&pf_rd_p=a1dd6248-8b51-4ef7-9dfb-d3cf41015b4b&pf_rd_r=G62EGKB580S8QY9Q82V2&qid=1654865396&sprefix=microalgae%2Caps%2C212&sr=1-1-a73d1c8c-2fd2-4f
Pigmento Azul	Corante Alimentício	Smart Organic	Bulgária	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://smartorganic.com/product/blue-spirulina-tablets-bio-dragon-superfoods/
Pigmento Azul	Corante Alimentício	Spira Inc	Estados Unidos	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://www.spirainc.com/products/electric-sky-buy
Shot	Bebida	BumblueZest	Reino Unido	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://b-zest.co.uk/shop/health-shots/cbd-shot/
Snack de Castanhas Assadas	Alimento	Spiruway	Índia	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://spiruway.com/product/piri-piri-nuts/
Snack de Semente de Abóbora					https://www.watanz.com/products/spiruway-roasted-pumpkin-seeds-150-grams-pack-of-2-with-the-goodness-of-spirulina-healthy-snack-no-preservatives

Sopa	Alimento	CheilJedang	Coreia	NI	https://www.amazon.com/bibigo-Korean-Seaweed-Miyeok-Guk-17-ounce/dp/B07C3CWGT3
Sorvete de Açaí	Alimento	d'Quinn Global	Singapura	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://justspirulina.sg/product/acai-spirulina-sorbet-ice-cream-2/
Sorvete	Alimento	Landgren Lab	Suécia	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://landgrenlab.se/
Suco	Bebida	Hapi-ora limited	Nova Zelândia	<i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina)	https://hapi.nz/products/green-multi-juice
Tempero para Pizza	Condimento/ Especiaria	Teksloo Seafood	Noruega	<i>Porphyra umbilicalis</i>	https://teksloseaweed.no/produkt/pizza-krydder/
Tempero para Churrasco				<i>Ulva lactuca</i>	https://teksloseaweed.no/en/produkt/grill-grinder/

NI= Não Informado

Fonte: Autoria própria

Tabela 5- Informações nutricionais e de rótulo dos produtos listados na Tabela 4 e expressos por porção (especificado nas observações).

Produto Desenvolvido	Informações Nutricionais											Observações	Lista de Ingredientes
	Kcal	CHO (g)	LIP (g)	PTN (g)	Sódio (g)	Vit C (mg)	Vit D (µg)	Fe (mg)	Ca (mg)	Vit B12 (mg)	Fibra (g)		
Água de Kefir	13	3	0,01	0,1	0,02	27,6	NI	NI	NI	2,1	NI	Valores referentes a 100 ml do produto	Água de kefir; suco de limão (3%), ácido láctico, extrato de acerola, extrato de espirulina (0,04%), sal marinho islandês
Água de Spirulina	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Contém 1g de extrato de spirulina	Água; extrato de spirulina; suco de limão concentrado; sabores naturais (limão e flor de sabugueiro)
Água de Spirulina	14	3,4	0	0	0,01	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 100 ml do produto	Água; açúcar de cana; extrato de spirulina - ficocianina (0,4%); sabor natural; conservante: E202 E211, acidificante:

													ácido cítrico, cafeína e vitamina E
Barra de Frutas	388	46	17	11	0,00016	NI	NI	NI	NI	NI	9	Valores referentes a 100 g do produto	Tâmaras; amêndoas; sultanas; spirulina (5%); limão em pó (concentrado de sumo de limão, amido de milho); óleo de casca de limão
Biscoito	428	64,4	13,3	11,6	1,6	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 100g do produto	Farinha de trigo orgânica; óleo de oliva extravirgem; farinha de Wakame; lecitina de soja; fermento natural
Bolo de Maçã	125	20	2,6	6,1	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 100 g do produto	Maçã, uva-passas; semente de papoila; lúcum; canela; creme de spirulina
Chocolate	545	57,9	31,3	7,8	0,02	NI	NI	9,52	83,3	NI	NI	Valores referentes a 100 g do produto	Sólidos de cacau; açúcar; gordura vegetal comestível (hidrogenada); castanha

													de caju; amêndoas; spirulina em pó; emulsificantes (INS 322 - lecitina de soja); aromatizante natural de baunilha
Chocolate	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI		NI
Chocolate	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI		NI
Cookie	500	67,4	26,8	8,2	NI	6,6	NI	6	95,8	NI	2,04	Valores referentes a 100 g do produto	Painço integral; farinha de aveia; spirulina; sal; açúcar demerara; sólidos de cacau; gordura vegetal comestível; chips de chocolate; canela e baunilha
Cookie	466,22	70,66	15,39	10,48	NI	NI	NI	NI	NI	NI	4,12	Valores referentes a 100 g do produto	
Iogurte	56	10	0	3,2	NI	NI	5	2,25	350	NI	NI	Valores referentes a	Spirulina em pó; painço; farinha de trigo; açúcar

												100 g do produto	mascavo; baunilha em pó; óleo vegetal; sal e água.
Leite Fermentado	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 85 g do produto	Chlorella (conversão de pó a granel) 400mg. Os demais ingredientes não foram informados https://chlorella-labe.co.jp/product/product05/
Macarrão	365	72	1,5	14	0,1	NI	NI	NI	NI	NI	3,3		Açúcares (frutose-glicose), laticínios, dextrina, extrato de chlorella / aromatizante
Macarrão	190	40	1	5	0,96	NI	31	1,6	0	NI	NI	Valores referentes a 100 g do produto	Farinha de trigo (sêmola); spirulina (3%)
Macarrão	371	75	2,8	9,7	0,09	NI	NI	NI	NI	NI	3,5	Valores referentes a 55 g do produto	Farinha de trigo; amido alimentar; sal e chlorella em pó

Natural Blue Boost	11,9	2,8	0	0,2	0	4,8	NI	NI	48	NI	0,3	Valores referentes a 100 g do produto	Farinha de arroz integral; spirulina (3%)
Ômega-3	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 100 ml do produto	Água gaseificada; extrato de Spirulina; néctar de agave; concentrado de suco de limão; ácidos: ácido cítrico, pectina cítrica, sabores naturais (raiz de gengibre e capim-limão); vitamina C
Pigmento Azul	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	500 mg de DHA; 1,5 mg de astaxantina. Valores referentes à duas gomas	Concentrado de DHA de óleo de algas (<i>shizochytrium sp.</i>), glicerina vegetal, amido vegetal, carragenina, aroma natural de laranja, concentrado de astaxantina, extrato de sílica de alecrim,

													tocoferóis naturais não transgênicos misturados (antioxidante), carbonato de sódio. Contém soja
Pigmento Azul	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI			Extrato de spirulina-ficocianina (100%)
Shot	25	5,4	0	<0,5	<0,12	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Aplicações em sorvetes; vitaminas; "drinks"; massas; cosméticos; entre outros Água; suco de limão; xarope de bordo; extrato de cânhamo; extrato de camomila; pó de spirulina - ficocianina (0,23%); extrato de lavanda; sal do Himalaia; sabores naturais; extrato de canela e extrato de menta
Snack de Castanhas Assadas	579	31,9	40,2	22,5	0,06	NI	NI	7,56	65,3	NI	NI	Valores referentes a 100 ml do produto	Castanha de caju; amêndoas; piri piri; pó de spirulina; sal

Snack de Semente de Abóbora	594	26	43,9	23,7	0,758	NI	NI	4,66	62	NI	NI	Valores referentes a 100 g do produto	Semente de abóbora; chat massala; pó de spirulina; sal.
Sopa	35	4	1,5	2	0,58	0	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 100 g do produto	Água; alga assada (< 2%) (alga, óleo de canola, óleo de gergelim); temperos (dextrina, óleo de gergelim, lecitina); caldo de sopa sabor carne (sal, glutamato monossódico, amido de trigo, molho de soja (soja desengordurada, glúten de milho), açúcar, sebo bovino, glicose, maltodextrina, cebola em pó, alho em pó, sabores naturais e artificiais (leite, coco), extrato de osso bovino em pó, extrato de

													carne bovina em pó, especiarias, óleoresina de pimenta preta, óleoresina de capsicum, inosinato dissódico, guanilato dissódico, ácido cítrico, cloridrato de tiamina); concentrado de caldo de carne (carne bovina concentrada, dextrina, sal, fermento, iosinato dissódico, guanilato dissódico); molho de soja (soja desengordurada, amido, sal, koji, água); alho; guanilato dissódico; iosinato dissódico; sal.
Sorvete de Açaí	159,42	20,61	7,21	2,96	0,01	NI	NI	NI	NI	NI	0,28	Valores referentes a	Leite de castanha de caju; spirulina fresca; açúcar de cana; dextrose;

												250 g do produto	maltodextrina; estabilizantes (E412, E410, E407); água filtrada; polpa de açaí; açúcar; suco de limão e lima.
Sorvete	220	26	11,7	3,2	0,24	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 100 g do produto	Leite de coco (coco, água, estabilizador: goma guar); xarope de agave, spirulina (4%); xarope de alcaçuz salgado; suco de laranja; gengibre; óleo de hortelã-pimenta
Suco	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	Valores referentes a 125 ml do produto	Maçã; limão; toranja; couve; salsa; coentro; funcho florença; spirulina (orgânica ou artesanal)
Tempero para Pizza	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI			Manjeriçã, sar, orégano, tomilho, sal (7%), salsinha, alga, butare,

														cebolinha, alho em pó, cebola em pó
Tempero para Churrasco	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI				Sal (25%), páprica, alho em pó, cebola em pó, pimenta, sal de aipo, sal, butare, membrana de penas, alga, coentro, canela, cardamomo, mostarda em pó

NI= Não Informado

Fonte: Autoria própria

A partir da análise da Tabela 4 é possível perceber o predomínio de produtos originados na Índia, Reino Unido, Estados Unidos e Japão, o que pode ser parcialmente correlacionado com a produção de conhecimento sobre algas. A Índia, por exemplo, está em terceiro lugar dentre os países que mais publicaram artigos sobre algas entre os anos de 2013 e 2023, sejam relacionados à comida, seja para explorar o potencial de biocombustível dos óleos e açúcares de micro e macroalgas, respectivamente (GOOD FOOD INSTITUTE, [s.d.]), ficando atrás apenas de Estados Unidos e China, que ocupam o primeiro e segundo lugar, respectivamente (SCOPUS, 2022).

É possível observar que há predomínio de produtos contendo em sua composição spirulina (*Arthrospira platensis*) e *Chlorella sp.*, sendo essa predominância explicada devido às características nutricionais da biomassa de ambas, ricas em ácido linoleico, vitamina A e fósforo, bem como altos teores proteicos (de 50-60% e 60-70% para Spirulina e *Chlorella*, respectivamente) (SATHASIVAM et al., 2019; TOKUS, OGLU; ÜNAL, 2003). Além disso, um artigo recente que avaliou a digestibilidade *in vitro* de 12 espécies de algas observou que as duas espécies em questão apresentaram alta digestibilidade, com destaque para a digestibilidade da Spirulina como matéria seca, o que pode explicar a utilização frequente dessa cianobactéria (NICCOLAI et al., 2019). Por fim, a digestibilidade alta das duas espécies pode se relacionar com a baixa presença de fibras (DEMARCO et al., 2022).

Nota-se, ainda, que alguns fabricantes informam a quantidade de microalgas adicionada e outros não. Dos informados, encontra-se de 3-5% de alga na composição (Tabela 5). Essas porcentagens relativamente baixas podem estar associadas à fatores sensoriais característicos das algas, a exemplo do sabor de peixe residual, e a aceitação do consumidor, sendo esse um desafio para a indústria ao aplicar algas em alimentos convencionais (HOSSEINKHANI; MCCAULEY; RALPH, 2022). Por exemplo, quando adicionado 9- 12% de *Chlorella* em cookies, não houve aceitação do consumidor, enquanto que em menores concentrações (até 6%) a aceitação foi boa, visto que algumas características como cor, crocância e dureza não foram afetadas (SAHNI; SHARMA; SINGH, 2018).

Em um recorte nacional, o Brasil ainda subutiliza o potencial das algas como ingrediente na indústria de alimentos. Ao consultar a ferramenta de busca da ANVISA, que dispõe sobre novos alimentos e ingredientes, é possível inferir que grande parte dos produtos de algas aprovados no país são os óleos de microalgas – utilizados como suplementos alimentares – e algumas farinhas da microalga *Chlorella sp.*, utilizadas como substituintes de ingredientes, a exemplo de leite e ovos. Em relação à spirulina, a ANVISA permite seu uso como corante

alimentício, podendo ser utilizado em balas, confeitos e produtos de confeitaria, como os chocolates aqui listados (ANVISA, [s.d.]).

É possível comparar os produtos listados com os convencionais do mercado. Em alimentos, como o iogurte contendo *Chlorella* da empresa Nobel Headquarters, notou-se concentrações mais elevadas de proteína (PTN: 3,2 g), ferro (Fe: 2,25 mg) e cálcio (Ca: 350 mg), se comparada com a mesma quantidade do produto tradicional, considerando-se uma média de diferentes marcas (em 85 g do iogurte: 2,65 g de PTN; 0,31 mg de Fe; ~109 mg de Ca) disponibilizada na Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (TBCA) (TBCA, [s.d.]). Pode-se destacar, ainda, a média da concentração proteica dos cookies da Tabela 5 com a de diferentes marcas na TBCA. Os cookies feitos com microalgas na massa possuem cerca de 1 g a mais de proteína a cada 100 g do produto se comparados ao da tabela de composição (TBCA, [s.d.]).

Dessa forma, percebe-se que a aplicação das macroalgas e microalgas nos produtos alimentícios pode ser benéfica no que diz respeito à melhora do valor nutricional dos alimentos e às características funcionais e sensoriais do produto a ser comercializado. É importante ressaltar, porém, que as comparações nutricionais dos produtos da Tabela 5 foram feitas com alimentos nacionais presentes na TBCA, podendo haver diferenças limitantes já que a composição bioquímica da matéria-prima depende de alguns fatores como o local onde foi produzida.

Por fim, em relação aos preços de comercialização notou-se durante a pesquisa, que, em geral, o valor agregado aos produtos com adição de algas é maior se comparado ao preço dos alimentos tradicionais. Por exemplo, o macarrão da marca Pasta Natura – italiana – tem custo de €3,50 em 250 g do produto (PASTA NATURA, [s.d.]) enquanto que, em 1 kg da massa seca sem adição de algas, custava cerca de €1,60, no ano de 2020 (STATISTA, 2022).

8. LEGISLAÇÕES SOBRE ALGAS

Apesar da potencialidade nutricional e ecológica das algas, ainda não existem legislações específicas para os processos de produção e comercialização de alimentos à base dessas. Mesmo assim, em termos de comparação, países que fazem parte da União Europeia – com destaque para Irlanda e França (CENTRE D’ÉTUDE ET DE VALORISATION DES ALGUES, 2020; PABULO H. RAMPELOTTO; ARMIN HALLMANN, 2019) – além dos Estados Unidos, possuem aparatos legais bem mais definidos que o Brasil, o que pode ser explicado por questões de ordem financeira em pesquisas e a finalidade dessas. No Brasil, a maior parte dos estudos relacionadas ao uso de algas, com grandes financiamentos, está voltado para a produção de biocombustíveis (MATOS, 2021).

Nesse sentido, considera-se algumas partes de documentações legais que acabam por abranger as algas, ainda que de forma indireta.

8.1. UNIÃO EUROPEIA

No que diz respeito ao cultivo das microalgas e macroalgas, o respaldo legal tem como objetivo garantir o menor dano possível ao ecossistema, levando em consideração a posição que as algas ocupam na cadeia alimentar, por exemplo, bem como a capacidade de armazenamento de carbono e outras questões relacionadas ao equilíbrio ecológico que essas promovem no ambiente marinho (BARBIER et al., 2019). Em um recorte voltado para as algas cultivadas para fins alimentares, e alimentos no geral, a Autoridade Europeia para Segurança Alimentar (EFSA) é o órgão responsável por fornecer respaldo científico para a Comissão Europeia em relação aos possíveis riscos relacionados aos alimentos (UNIÃO EUROPEIA, [s.d.]). Diante disso, as principais regras objetivam manter e garantir a segurança alimentar no que diz respeito ao acúmulo de metais pesados e outros contaminantes, alérgenos, microrganismos patogênicos e à qualidade higiênico-sanitária do alimento, por exemplo (VAN DER SPIEGEL; NOORDAM; VAN DER FELS-KLERX, 2013). Para tanto, a legislação vigente desde 2002 é o Regulamento da Comissão Europeia (CE) N° 178/2002, que dispõe sobre as diretrizes gerais na produção de alimentos na União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, [s.d.]).

É importante ressaltar, ainda, que algumas espécies de macroalgas não são permitidas como alimento ou suplemento, sendo consideradas novos alimentos, ou seja, são definidas como alimentos não tradicionalmente consumidos. Assim, essas espécies precisam passar por processos que confirmem a segurança do consumo. Das espécies listadas no “Novel Food Catalogue” pode-se citar: *Saccharina latissima*, *Enteromorpha sp.*, *Ulva lactuca*, *Gracilaria*

verrucosa, *Palmaria palmata*, *Fucus vesiculosus*, *Alaria esculenta* e *Monostroma nitidum* (LÄHTEENMÄKI-UUTELA et al., 2021).

Nos últimos anos, a União Europeia publicou alguns atos que revisam as diretrizes gerais dos novos alimentos, a exemplo do Regulamento (CE) N° 2.283/2015 (revoga o de 1997); do Regulamento de Execução da Comissão (CE) N° 2.470/2017) que dispõe a lista sobre os novos alimentos; do Regulamento de Execução da Comissão (CE) N° 2.469/2017), que estabelece padrões científicos e administrativos para autorização de novos alimentos; e do Regulamento de Execução da Comissão (CE) N° 456/ 2018, relacionado às etapas de consulta para determinar se o alimento é ou não considerado novo alimento (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA GERÊNCIA-GERAL DE ALIMENTOS, 2020).

Deste modo, para que um produto à base de algas possa ser comercializado na Europa, ele deve estar de acordo com os critérios pré-estabelecidos acerca dos níveis microbiológicos, dos limites máximos toleráveis para a presença de iodo e metais pesados na matéria seca e dos padrões de segurança alimentar que envolvem toda a cadeia de produção (CENTRE D'ÉTUDE ET DE VALORISATION DES ALGUES, 2020). Caso algum alimento/ ingrediente encontre-se fora da lista de novos alimentos, a empresa produtora deve apresentar ao Comitê Científico de Alimentos da EFSA estudos que comprovem a segurança do produto (ENZING et al., 2014).

8.2. ESTADOS UNIDOS

Nos Estados Unidos, a regulamentação de produtos alimentícios é feita pela Food and Drug Administration (FDA) e pelo United States Department of Agriculture (USDA) sendo que as algas podem ser classificadas em três diferentes categorias: como suplemento; aditivo alimentar; e alimento geneticamente modificado (MAYFIELD, [s.d.]). Para a comercialização, os alimentos podem, ou não, serem classificados como seguros (“Generally Recognized As Safe” - GRAS), seja por meio de métodos científicos de comprovação, seja por meio do uso contínuo daquele produto ao longo do tempo, com consumo datado anteriormente ao ano de 1958 (FDA, 2019), o que se assemelha com a conceituação de alimento tradicional versus “novel food” na legislação europeia citada anteriormente.

De maneira geral o conjunto de leis estadunidenses que regulamenta processos relacionados à segurança alimentar dos produtos comercializados é a Lei Federal de Alimentos, Medicamentos e Cosméticos dos Estados Unidos (Federal Food, Drug, and Cosmetic Act/ FD&C Act), Título 21/ Capítulo 9 no “United States Code” (FDA, 2018). Nesse sentido, de acordo com as categorias previamente mencionadas, diferentes subcapítulos dessa lei se

aplicam às algas. Como aditivo alimentar, o 21 CFR 170 dispõe sobre as condições e processos para a garantia da segurança alimentar ao utilizar substâncias, a exemplo das algas (U.S FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2022), como ingrediente na produção de comidas para o consumo humano e animal. Já como suplemento, a regulamentação segue as diretrizes da parte 190 (21 CFR 190), que dispõe sobre as etapas que precedem a comercialização do suplemento (NATIONAL ARCHIVES, 2021). Por fim, em relação aos alimentos de bioengenharia que, segundo a definição do 7 CFR 66 (NATIONAL ARCHIVES, 2021), são aqueles modificados geneticamente em laboratório e que não podem ser encontrados na natureza ou criados por métodos convencionais de reprodução. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, determina disposições gerais e relacionadas ao comércio, como padrões de rotulagem, desses alimentos.

8.3. BRASIL

No Brasil, o órgão associado ao Ministério da Saúde que regulamenta processos envolvidos na fabricação e comercialização de produtos voltados para o consumo humano é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (ANVISA, 2021), que, assim como os órgãos estadunidenses e da União Europeia, não dispõe de legislações específicas para a fabricação e comercialização de alimentos à base de algas. Diante disso, pensando na utilização das algas para fins alimentares, partes de documentos são considerados para caráter regulatório.

Como suplemento alimentar, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 243/2018 dispõe sobre requisitos de qualidade, segurança, composição e rotulagem de suplementos alimentares (ANVISA, 2018). Semelhante aos conceitos de novos alimentos da União Europeia, a ANVISA dispõe que alimentos não utilizados tradicionalmente - consumidos por grupos representativos ou pela população no geral por menos 25 anos - (ANVISA, 2021) devem seguir Regulamento Técnico específico para que seja comprovada sua segurança alimentar (ANVISA, 2005). Nesse sentido, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2021), caso o alimento seja novo, a avaliação da segurança alimentar dá-se por meio da Petição 4.109. Por fim, o órgão regulatório disponibiliza uma ferramenta que permite a consulta de novos alimentos aprovados contendo informações acerca das doses mínimas e máximas permitidas e de especificações publicadas em compêndios, como os “Food Chemicals Codex” (FCC) (ANVISA, 2021).

8.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE LEGISLAÇÕES

Dos países que lideram a produção de macroalga e microalga, destacam-se a China e o Chile, respectivamente (CAI, 2021; KOYANDE et al., 2019). Nesse sentido, entende-se a importância de descrever, ainda que brevemente, sobre os marcos regulatórios desses países, sendo que a China é referência no que tange aos padrões alimentares para processos regulatórios, por exemplo. Assim, em 2014, publicou-se a Proposta Formulada e Revisada de Normas Nacionais de Segurança Alimentar (“National Food Safety Standards Formulated and Revised Proposal”) que teve como objetivo melhorar os padrões de higiênico-sanitários dos produtos à base de algas, em específico das microalgas (CHEN, Jun et al., 2016). O Chile, por sua vez, apesar de ser o maior produtor do continente americano, exporta a biomassa para que essa seja aproveitada em outros países asiáticos e europeus, sendo o cultivo majoritariamente voltado para a produção de hidrocoloides (CAMUS; HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ; BUSCHMANN, 2018). Assim, as determinações legais acerca de padrões de qualidade estão relacionadas ao uso de ágar, carragenina e alginatos, por exemplo, como espessantes e estabilizadores (Decreto Nº 977, Título III, Parágrafo II, Artigo 150) (MINISTERIO DE SALUD, 1997).

De maneira geral, o subdesenvolvimento do potencial comercial das algas se dá por barreiras relacionadas a aspectos socioculturais, científicos, econômicos, tecnológicos e legislativos, sendo os três últimos os mais importantes. Foi observado que cerca de 81% dos acionistas apontaram o déficit de habilidades legislativas específicas ou treinamento para profissionais da área que lidam com os aspectos legislativos do setor como um empecilho para o desenvolvimento da indústria das algas. Ainda, destacaram os processos burocráticos para a exploração de espécies não nativas e para a comercialização de produtos estrangeiros a base de algas como impeditivo importante, bem como a falta de uniformidade legislativa entre os países que fazem parte da União Europeia (RUMIN et al., 2021).

Em um recorte voltado para o Brasil, em específico na produção de macroalgas, por exemplo, alguns impasses no âmbito legal podem se relacionar com a integração do Ministério de Pesca e Aquicultura - criado em 2009 - com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, em 2015 (SIMIONI; HAYASHI; OLIVEIRA, 2019), uma vez que o agronegócio no país é extremamente rentável. Nesse sentido o desenvolvimento do segmento de proteínas alternativas no mercado poderia gerar prejuízos a essa atividade no Brasil.

Dessa forma, é possível concluir que dentre as barreiras previamente citadas, os déficits legislativos e políticos que contemplam a produção e comercialização de produtos à base de algas são determinantes no que tange à estagnação do desenvolvimento dessa atividade no Brasil.

9. CONCLUSÃO

Com as informações apresentadas nesta revisão, conclui-se que a utilização de algas como fonte alternativa de nutrientes é possível, haja vista que possuem boas quantidades de proteínas, vitaminas, ácidos graxos poliinsaturados e outros biocompostos.

Nesse sentido, destacam-se duas espécies de microalgas, *Spirulina* e *Chlorella sp.* devido aos seus potenciais nutricionais, bem como à alta digestibilidade da biomassa, portanto, à biodisponibilidade de tais compostos. Ainda, torna-se claro o potencial da ingestão de algas ou seus componentes para a saúde dos consumidores, seja em aspectos fisiológicos, seja considerando os aspectos ambientais que determinam os processos de saúde-doença, uma vez que a produção de algas não demanda extensas áreas produtivas bem como grandes quantidades de água, o que torna a produtividade sustentável mesmo com o aumento populacional. Por fim, as proteínas de algas têm características tecno-funcionais marcantes as quais reforçam a potencialidade da aplicação de microalgas no setor alimentício. Além disso, com altos valores proteicos e de demais nutrientes, a exemplo da vitamina B12, as algas são uma oportunidade valiosa para que a indústria desenvolva produtos para o mercado vegetariano e vegano, principalmente, os quais estão em constante ascensão.

Contudo, algumas características das macroalgas e microalgas dificultam sua utilização como alimento, a exemplo da rígida parede celular, a qual impede a acessibilidade dos compostos intracelulares demandando processos de ruptura celular que aumentam consideravelmente os custos de processamento da biomassa. A parede celular também influencia na digestibilidade da alga, conseqüentemente na disponibilidade dos biocomponentes. Outrossim, os nutrientes são bastante influenciados por características da produção, ou seja, as condições e métodos de cultivo, coleta e armazenamento da biomassa.

A utilização de algas como alimentos e/ou ingredientes alimentícios é dificultada, também, pela possibilidade de contaminação por toxinas, bem como por questões sensoriais associadas, a exemplo da cor e do cheiro.

Em relação ao desenvolvimento do setor, o déficit de legislações específicas e pesquisas voltadas para a utilização de algas na alimentação, tal como visto para o Brasil, são responsáveis por reduzir o crescimento do mercado algal. Por fim, apesar de alguns artigos já descreverem impactos positivos do consumo de algas para a saúde, destaca-se a necessidade de mais estudos que investiguem esses desfechos *in vivo*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Ana P. et al. A comparison between microalgal autotrophic growth and metabolite accumulation with heterotrophic, mixotrophic and photoheterotrophic cultivation modes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 159, p. 112247, maio 2022.
- ACUINUGA. **Las algas, clave de sostenibilidad**. Disponível em: <<https://www.acuinuga.com/es/las-algas-clave-de-sostenibilidad/>>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- ADENAN, Nurul Salma et al. Enhancement of lipid production in two marine microalgae under different levels of nitrogen and phosphorus deficiency. **Journal of Environmental Biology**, v. 37, p. 669–676, jul. 2016.
- AGARWAL, Akanksha et al. Investigating the modulation of metabolites under high light in mixotrophic alga *Asteracys* sp. using a metabolomic approach. **Algal Research**, v. 43, 1 nov. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Disponível em: <<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>>. Acesso em: 7 nov. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA GERÊNCIA-GERAL DE ALIMENTOS. **Novos alimentos e ingredientes: Documento de base para discussão regulatória**. [S.l: s.n.], 2020. Disponível em: <<http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33880/5833856/Documento+de+base+sobre+novos+alimentos/ed783550-fc93-42c2-91cc-ccb02c36fc9>>. Acesso em: 3 maio 2022.
- ALBERS, Eva et al. Influence of preservation methods on biochemical composition and downstream processing of cultivated *Saccharina latissima* biomass. **Algal Research**, v. 55, p. 102261, maio 2021.
- ALLMAN, Tony. **The Difference Between Batch, Fed-batch and Continuous Processes**. Disponível em: <<https://www.infors-ht.com/pt/blog/the-difference-between-batch-fed-batch-and-continuous-processes/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- ANVISA. **Anvisa disponibiliza consulta de novos ingredientes e alimentos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2021/anvisa-disponibiliza-consulta-de-novos-ingredientes-e-alimentos>>. Acesso em: 8 jan. 2022a.
- _____. **Novos Alimentos, Novos Ingredientes, Probióticos e Enzimas Aprovadas**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNTA3ZDQxOGEtYzg0NC00NTI1LTg0MzYtOGEzMWU4MThlNjAwliwidCI6ImI2N2FmMjNmLWMzZjMtNGQzNS04MGM3LWI3MDg1ZjVlZGQ4MSJ9>>. Acesso em: 21 out. 2022.
- _____. **Novos ingredientes e alimentos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/alimentos/novos-ingredientes-e-alimentos>>. Acesso em: 8 jan. 2022b.
- _____. **Quem somos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-vigilancia-sanitaria>>. Acesso em: 8 jan. 2022c.
- _____. **RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 268, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005**. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/%281%29RDC_268_2005_.pdf/db5416e0-e965-474e-9446-8f13c195397e>. Acesso em: 8 jan. 2022.

- AYDEMIR, Levent Yurdaer; YEMENICIOĞLU, Ahmet. Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 686–694, mar. 2013.
- BALASUBRAMANIAM, V. et al. Carotenoid composition and antioxidant potential of *Eucheuma denticulatum*, *Sargassum polycystum* and *Caulerpa lentillifera*. **Heliyon**, v. 6, n. 8, 1 ago. 2020.
- BARBIER, Michèle et al. **Pegasus-Phycomorph European Guideline for a Sustainable Aquaculture of Seaweeds, COST Action FA1406**. . [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/334171886>>.
- BARTY DEXTRO, Rafael. **Tilacoide**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/citologia/tilacoide/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- BENAVENTE-VALDÉS, Juan Roberto et al. Effects of shear rate, photoautotrophy and photoheterotrophy on production of biomass and pigments by *Chlorella vulgaris*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 92, n. 9, p. 2453–2459, 1 set. 2017.
- BLEAKLEY, Stephen; HAYES, Maria. Algal proteins: Extraction, application, and challenges concerning production. **Foods**, v. 6, p. 1–34, 1 maio 2017.
- BULUT MUTLU, Yasemin et al. The effects of nitrogen and phosphorus deficiencies and nitrite addition on the lipid content of *Chlorella vulgaris* (Chlorophyceae). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 3, p. 453–456, 2011. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/AJB>>.
- CAI, Junning. **Global status of seaweed production, trade and utilization**. . [S.l.: s.n.], 28 mar. 2021. Disponível em: <<https://www.competecaribbean.org/wp-content/uploads/2021/05/Global-status-of-seaweed-production-trade-and-utilization-Junning-Cai-FAO.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- _____. **SEAWEEDS AND MICROALGAE: AN OVERVIEW FOR UNLOCKING THEIR POTENTIAL IN GLOBAL AQUACULTURE DEVELOPMENT**. FAO. Roma: [s.n.], 2021.
- CAMUS, Carolina; HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, Mariá Del Carmen; BUSCHMANN, Alejandro H. **The seaweed resources of Chile over the period 2006-2016: Moving from gatherers to cultivators**. **Botanica Marina**. [S.l.]: De Gruyter. , 1 jun. 2018
- CENTRE D'ÉTUDE ET DE VALORISATION DES ALGUES. **Edible seaweed and microalgae-Regulatory status in France and Europe 2019 update**. . [S.l.: s.n.], 2020.
- CERMEÑO, Maria et al. **Current knowledge on the extraction, purification, identification, and validation of bioactive peptides from seaweed**. **Electrophoresis**. [S.l.]: Wiley-VCH Verlag. , 1 out. 2020
- CHAUTON, Matilde Skogen et al. Sustainable resource production for manufacturing bioactives from micro- and macroalgae: Examples from harvesting and cultivation in the Nordic region. **Physiologia Plantarum**, v. 173, p. 495–506, 2021.
- CHEN, Jun et al. Microalgal industry in China: challenges and prospects. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 2, p. 715–725, 1 abr. 2016.
- CHEN, Yixuan et al. Physicochemical and functional properties of proteins extracted from three microalgal species. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 510–517, 1 nov. 2019.

CHEW, Kit Wayne et al. **Effects of water culture medium, cultivation systems and growth modes for microalgae cultivation: A review**. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. [S.l.]: Taiwan Institute of Chemical Engineers. , 1 out. 2018

CHIES, Vivian. **Pesquisa encontra microalgas que crescem em resíduos e geram biocombustíveis** . Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/20361833/pesquisa-encontra-microalgas-que-crescem-em-residuos-e-geram-biocombustiveis>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

CHUNG, Deborah D.L. Cement-Matrix Composites. **Carbon Composites**, p. 333–386, 2017. Acesso em: 13 jan. 2022.

COELHO, Renato S. et al. High cell density cultures of microalgae under fed-batch and continuous growth. **Chemical Engineering Transactions**, v. 38, p. 313–318, 2014.

COLLINS, Niall et al. Economic and environmental sustainability analysis of seaweed farming: Monetizing carbon offsets of a brown algae cultivation system in Ireland. **Bioresource Technology**, v. 346, 1 fev. 2022.

DE FREITAS COELHO, Diego et al. Microalgae: Cultivation aspects and bioactive compounds. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, 2019.

DEL MONDO, Angelo et al. **Challenging microalgal vitamins for human health**. **Microbial Cell Factories**. [S.l.]: BioMed Central Ltd. , 1 dez. 2020

_____. **Insights into phenolic compounds from microalgae: structural variety and complex beneficial activities from health to nutraceuticals**. **Critical Reviews in Biotechnology** . [S.l.]: Taylor and Francis Ltd. , 2021

DEMARCO, Mariana et al. **Digestibility, bioaccessibility and bioactivity of compounds from algae**. **Trends in Food Science and Technology**. [S.l.]: Elsevier Ltd. , 1 mar. 2022

D'HONDT, E. et al. Cell disruption technologies. **Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock Cultivation to End-Products**. [S.l.]: Elsevier Inc., 2017. p. 133–154.

EINSTEIN CURTIS, Aerin. **New bioreactor to speed production of microalgae for feed, fuel uses**. Disponível em: <<https://www.feednavigator.com/Article/2017/08/11/New-bioreactor-to-speed-production-of-microalgae-for-feed-fuel-uses>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

EMBRAPA. **Soja em Números (safra 2020/21)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

ENZING, Christien. et al. **Microalgae-based products for the food and feed sector : an outlook for Europe**. [S.l.]: European Commission, 2014.

EUROPEAN COMMISSION. **General Food Law**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/general-food-law_en>. Acesso em: 28 dez. 2021.

FDA. **Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (FD&C Act)** . Disponível em: <<https://www.fda.gov/regulatory-information/laws-enforced-fda/federal-food-drug-and-cosmetic-act-fdc-act>>. Acesso em: 2 jan. 2022.

_____. **Generally Recognized as Safe (GRAS)** . Disponível em: <<https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras>>. Acesso em: 2 jan. 2022.

FEHRENBACHER, Katie. **Conheça os novos empresários americanos que cultivam algas marinhas para alimentação e combustível**. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/jun/29/seaweed-farms-us-california-food-fuel>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

FIGUEIREDO, Bruno dos Santos Alves. Microalgas: a 3ª geração de biocombustíveis no Brasil. Fotos: Daniela Collares. [s.d.].

FITZGERALD, Ciarán et al. **Heart health peptides from Macroalgae and their potential use in functional foods**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. [S.l.: s.n.], 13 jul. 2011

FLEURENCE, J.; MORANÇAS, M.; DUMAY, J. Seaweed proteins. **Proteins in Food Processing: Second Edition**. [S.l.]: Elsevier Inc., 2018a. p. 245–262.

_____. Seaweed proteins. **Proteins in Food Processing: Second Edition**. [S.l.]: Elsevier Inc., 2018b. p. 245–262.

FONSECA, Juliana Azevedo. **Aplicação de Algas na Indústria Alimentar e Farmacêutica**. 2016. 1–75 f. Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2016.

Food Data Central. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171450/nutrients>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **Plant based Protein Supplements Market Size | Global Report, 2028**. Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/plant-based-protein-supplements-market-100082>>. Acesso em: 7 nov. 2022.

GAAN, Kyle; KRELLING, Felipe. **Brazilian Plant-Based Market Overview**. . [S.l.: s.n.], 12 nov. 2020.

GAILLARD, Charlotte et al. Amino acid profiles of nine seaweed species and their in situ degradability in dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 241, p. 210–222, 1 jul. 2018.

GARCIA-VAQUERO, M.; LOPEZ-ALONSO, M.; HAYES, M. Assessment of the functional properties of protein extracted from the brown seaweed *Himantalia elongata* (Linnaeus) S. F. Gray. **Food Research International**, v. 99, p. 971–978, 1 set. 2017.

GEADA, P. et al. Microalgal Biomass Cultivation. **Algal Green Chemistry: Recent Progress in Biotechnology**. [S.l.]: Elsevier, 2017. p. 257–284.

GEADA, Pedro et al. **Algal proteins: Production strategies and nutritional and functional properties**. *Bioresource Technology*. [S.l.]: Elsevier Ltd. , 15 abr. 2021a

_____. **Algal proteins: Production strategies and nutritional and functional properties**. *Bioresource Technology*. [S.l.]: Elsevier Ltd. , 1 jul. 2021b

GOOD FOOD INSTITUTE. **Technological Review of Algae-based Proteins for Alternative Protein Applications**. . [S.l.: s.n.], [s.d.].

GROSSMANN, Lutz; HINRICHS, Jörg; WEISS, Jochen. **Cultivation and downstream processing of microalgae and cyanobacteria to generate protein-based technofunctional food ingredients**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. [S.l.]: Bellwether Publishing, Ltd. , 24 set. 2020

GROWTH SUPPLEMENTS. **Whey Protein Concentrado (1KG)**. Disponível em: <https://www.gsuplementos.com.br/whey-protein-concentrado-1kg-growth-supplements-p985936?tsid=16&safe&gclid=CjwKCAjw8JKbBhBYEiwAs3sxN8VezcenLAuVLTPZZwDn302y6NTcG1RMxfU-CGOzfoMpaYsUICE2KxoCuHkQAvD_BwE>. Acesso em: 6 nov. 2022.

- GUIRY, Michael D. **How many species of algae are there?** *Journal of Phycology*. [S.l: s.n.]. , out. 2012
- GUTIÉRREZ-PLIEGO, L E et al. Effect of Supplementation with n-3 Fatty Acids Extracted from Microalgae on Inflammation Biomarkers from Two Different Strains of Mice. *Journal of Lipids*, v. 2018, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2018/4765358>>.
- HATCH AQUACULTURE ACCELERATOR PROGRAM. **The promise that is heterotrophic microalgae cultivation**. Disponível em: <<https://www.hatch.blue/blog/2019/6/20/the-promise-that-is-heterotrophic-microalgae-cultivation>>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- HAYASHI, Leila. **Extração, teor e propriedades de carragenana de Kappaphycus alvarezii (Doty) Doty ex P. Silva, em cultivo experimental em Ubatuba, SP**. 2001. 1–92 f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. . Acesso em: 16 nov. 2022.
- HOEKSTRA, Arjen Y. The hidden water resource use behind meat and dairy. *Animal Frontiers*, v. 2, n. 2, p. 3–8, 1 abr. 2012.
- HU, Yulin; BASSI, Amarjeet. Extraction of biomolecules from microalgae. **Handbook of Microalgae-Based Processes and Products**. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 283–308.
- JANSSEN, Marcel; WIJFFELS, Rene H; BARBOSA, Maria J. Microalgae based production of single-cell protein. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 75, n. 102705, jun. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102705>>.
- JUUL, L. et al. Digestibility of seaweed protein from *Ulva* sp. and *Saccharina latissima* in rats. *Algal Research*, v. 63, 1 abr. 2022.
- KEERIE, Maia. **Record \$3.1 billion invested in alt proteins in 2020 signals growing market momentum** . Disponível em: <<https://gfi.org/blog/2020-state-of-the-industry-highlights/>>. Acesso em: 7 nov. 2022.
- KHONGTHONG, Sunisa et al. Characterization and immunomodulatory activity of sulfated galactan from the red seaweed *Gracilaria fisheri*. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 189, p. 705–714, 31 out. 2021.
- KO, Seok-Chun et al. A novel angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptide from a marine *Chlorella ellipsoidea* and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Process Biochemistry*, v. 47, n. 12, p. 2005–2011, dez. 2012.
- KOSE, Ayse et al. Investigation of in vitro digestibility of dietary microalga *Chlorella vulgaris* and cyanobacterium *Spirulina platensis* as a nutritional supplement. *3 Biotech*, 29 jun. 2017. Acesso em: 21 set. 2022.
- KOYANDE, Apurav Krishna et al. **Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans**. *Food Science and Human Wellness*. [S.l.]: Elsevier B.V. , 1 mar. 2019
- KUMAR, B. Ramesh et al. **Microalgae as rich source of polyunsaturated fatty acids**. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. [S.l.]: Elsevier Ltd. , 1 jan. 2019
- KUMAR, Raman et al. **Microalgae as a sustainable source of edible proteins and bioactive peptides – Current trends and future prospects**. *Food Research International*. [S.l.]: Elsevier Ltd. , 1 jul. 2022
- KUMARI, Samantha Udayangani. **Difference Between Macroalgae and Microalgae**. Disponível em: <<https://www.differencebetween.com/difference-between-macroalgae-and-microalgae/>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

LÄHTEENMÄKI-UUTELA, Anu et al. European Union legislation on macroalgae products. **Aquaculture International**, v. 29, p. 487–509, 20 jan. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-020-00633-x>>.

LEHR, Florian. **Newly Developed Plate Reactor [IMAGE]** | . Disponível em: <<https://www.eurekalert.org/multimedia/683052>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

LIU, Shixiang et al. Recent advances on protein separation and purification methods. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 284, n. 102254, out. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102254>>.

LOPES, Diana et al. Valuing Bioactive Lipids from Green, Red and Brown Macroalgae from Aquaculture, to Foster Functionality and Biotechnological Applications ALGApplus-Production and Trading of Seaweeds and Derived Products Lda. **Molecules**, v. 25, n. 3883, p. 3830–196, 2020. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/molecules>.

MA, K K ; et al. Citation: Functional Performance of Plant Proteins. **Foods**, v. 11, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods11040594>>.

MAPA. **Projeções do Agronegócio Brasil 2019/20 a 2029/30 Projeções do Longo Prazo**. . [S.l: s.n.], 2020. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>.

MARKET RESEARCH REPORT. **Seaweed Cultivation Market Size, Share, Trends, and Forecasts to 2025** | . Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/commercial-seaweed-market-152763701.html>>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MARQUES, Francisca et al. Seaweed Blends as a Valuable Source of Polyunsaturated and Healthy Fats for Nutritional and Food Applications. **Marine Drugs**, v. 19, n. 684, p. 3830–196, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/md19120684>>.

MATOS, Ângelo Paggi. Advances in Microalgal Research in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, p. 1–15, 2021.

_____. The Impact of Microalgae in Food Science and Technology. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 94, n. 11, p. 1333–1350, 1 nov. 2017.

MATTOS, Paulo de Carvalho. **Tipos de Revisão da Literatura**. Disponível em: <<https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

MAYFIELD, Stephen P. **Regulatory Approval for New Algae Food Products Algae Biotechnology Commercial Production | Coursera**. Disponível em: <<https://pt.coursera.org/lecture/algae-biotechnology/regulatory-approval-for-new-algae-food-products-V9JrH>>. Acesso em: 2 jan. 2022.

MICHALAK IZABELA; CHOJNACKA KATARZYNA. Algal extracts: Technology and advances. **Engineering in Life Sciences**, v. 14, p. 581–591, 2014. Disponível em: <www.els-journal.com>.

Microalgae Market by Size, Share, Forecasts, & Trends Analysis | Meticulous Research®. Disponível em: <<https://www.meticulousresearch.com/product/microalgae-market-5197>>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE/ ANVISA. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 243, DE 26 DE JULHO DE 2018**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/materia/>-

/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/34379969/do1-2018-07-27-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-243-de-26-de-julho-de-2018-34379917>. Acesso em: 8 jan. 2022.

MINISTERIO DE SALUD. **Decreto-977**. Disponível em: <<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=71271>>. Acesso em: 14 abr. 2022.

MOLOO, Naila. **Microalgae, The Key To Replacing Fossil Fuels | by Naila Moloo | Medium**. Disponível em: <<https://moloonaaila.medium.com/microalgae-the-key-to-replacing-fossil-fuels-b3d1a320a95>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

MUYLAERT, K. et al. Harvesting of microalgae: Overview of process options and their strengths and drawbacks. **Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock Cultivation to End-Products**. [S.l.]: Elsevier Inc., 2017. p. 113–132.

NARALA, Rakesh R. et al. Comparison of microalgae cultivation in photobioreactor, open raceway pond, and a two-stage hybrid system. **Frontiers in Energy Research**, v. 4, n. AUG, 2016.

NATIONAL ARCHIVES. **eCFR :: 7 CFR Part 66 -- National Bioengineered Food Disclosure Standard**. Disponível em: <<https://www.ecfr.gov/current/title-7/subtitle-B/chapter-I/subchapter-C/part-66>>. Acesso em: 3 jan. 2022a.

_____. **eCFR :: 21 CFR Chapter I Subchapter B -- Food for Human Consumption**. Disponível em: <<https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B>>. Acesso em: 3 jan. 2022b.

NICCOLAI, Alberto et al. Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. **Algal Research**, v. 42, 1 set. 2019.

NIELSEN, Mette Møller et al. Variation in biochemical composition of *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* along an estuarine salinity gradient in inner Danish waters. **Algal Research**, v. 13, p. 235–245, 1 jan. 2016.

OLIVEIRA, Luiz Edson Mota de. **Tilacóides**. Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/fotossintese-em-plantas-superiores/etapa-fotoquimica/estrutura-dos-pigmentos-fotossinteticos/tilacoides/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

ONWEZEN, M. C. et al. **A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat**. **Appetite**. [S.l.]: Academic Press., 1 abr. 2021

OSEMWOTA, Etinosa C; ALASHI, Adeola M; ALUKO, Rotimi E. Physicochemical and functional properties of albumin, globulin and glutelin fractions of green lentil seed. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, p. 3967–3981, 2022.

OTTEN, Jennifer J.; HELLWIG, Jennifer Pitzzi; MEYERS, Linda D. Dietary Reference Intakes. **Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements (2006)**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2006. p. 459–465. Disponível em: <<http://www.nap.edu/catalog/11537>>.

PABULO H. RAMPELOTTO; ARMIN HALLMANN. **Grand Challenges in Biology and Biotechnology Grand Challenges in Algae Biotechnology**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/13485>>.

PALHARES, J.C.P. **Pegada hídrica na produção de carne e leite bovino no Brasil**. EMBRAPA. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.eventos.ufu.br/iv-simprucerrado/>>. , 2018

- PANAHI, Yunes et al. A randomized controlled trial of 6-week *Chlorella vulgaris* supplementation in patients with major depressive disorder. **Complementary Therapies in Medicine**, v. 23, n. 4, p. 598–602, 1 ago. 2015.
- PARIKH, Panam; MANI, Uliyar; UMA, Iyer. Role of Spirulina in the Control of Glycemia and Lipidemia in Type 2 Diabetes Mellitus. **Journal of Medicinal Food**, v. 4, n. 4, p. 193–199, 2001.
- PATEL, Anil Kumar et al. Effect of light conditions on mixotrophic cultivation of green microalgae. **Bioresource Technology**, v. 282, p. 245–253, 1 jun. 2019.
- PATIL, Apurva D; KASABE, Pramod J; DANDGE, Padma B. Pharmaceutical and nutraceutical potential of natural bioactive pigment: astaxanthin Open Access Natural Products and Bioprospecting. **Natural Products and Bioprospecting**, v. 12, n. 1, 2022. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>.
- PELLIZZARI, Franciane; REIS, Renata Perpetuo. Seaweed cultivation on the southern and Southeastern Brazilian coast. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 21, n. 2, p. 305–312, 2011.
- PEREIRA, Stefany A.; KIMPARA, Janaina M.; VALENTI, Wagner C. A bioeconomic analysis of the potential of seaweed *Hypnea pseudomusciformis* farming to different targeted markets. **Aquaculture Economics and Management**, v. 24, n. 4, p. 507–525, 2020.
- PHONG, Win Nee et al. Evaluation of different solvent types on the extraction of proteins from microalgae. **Chemical Engineering Transactions**, v. 52, p. 1063–1068, 2016.
- PŁACZEK, Małgorzata; PATYNA, Agnieszka; WITCZAK, Stanisław. Technical evaluation of photobioreactors for microalgae cultivation. **E3S Web of Conferences**, v. 19, n. 02032, 2017. Acesso em: 19 dez. 2022.
- POORE, J.; NEMECEK, T. **Land use per 100 grams of protein**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/grapher/land-use-protein-poore>>. Acesso em: 20 mar. 2022.
- POSTMA, P R et al. Selective extraction of intracellular components from the microalga *Chlorella vulgaris* by combined pulsed electric field-temperature treatment. **Bioresource Technology**, p. 80–88, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.012>>.
- QIN, Pingxu; WANG, Taoran; LUO, Yangchao. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, 1 mar. 2022.
- RADULOVICH, Ricardo et al. Farming of seaweeds. **Seaweed Sustainability: Food and Non-Food Applications**. [S.l.]: Elsevier Inc., 2015. p. 27–59.
- RIOUX, Laurie Eve; BEAULIEU, Lucie; TURGEON, Sylvie L. **Seaweeds: A traditional ingredients for new gastronomic sensation**. **Food Hydrocolloids**. [S.l.]: Elsevier B.V. , 1 jul. 2017
- RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. **Forests and Deforestation**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/soy#citation>>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- RUMIN, Judith et al. Improving Microalgae Research and Marketing in the European Atlantic Area: Analysis of Major Gaps and Barriers Limiting Sector Development. **Marine Drugs**, v. 19, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/md19060319>>.
- SABATÉ, Joan; SORET, Sam. Sustainability of plant-based diets: Back to the future. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 100, n. SUPPL. 1, p. 476–482, 1 jul. 2014.

- SAFI, C. et al. Biorefinery of microalgal soluble proteins by sequential processing and membrane filtration. **Bioresource Technology**, v. 225, p. 151–158, 1 fev. 2017. Acesso em: 12 jan. 2022.
- SAFI, Carl et al. Aqueous extraction of proteins from microalgae: Effect of different cell disruption methods. **Algal Research**, v. 3, n. 1, p. 61–65, 2014.
- SAMBUICHI, Regina Helena Rosa et al. **A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA: IMPACTOS, POLÍTICAS PÚBLICAS E DESAFIOS**. . Rio de Janeiro: [s.n.], out. 2012. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>.
- SÁNCHEZ-BAYO, Alejandra et al. Cultivation of Microalgae and Cyanobacteria: Effect of Operating Conditions on Growth and Biomass Composition. **Molecules**, v. 25, n. 12, 1 jun. 2020. Acesso em: 2 mar. 2022.
- SATHASIVAM, Ramaraj et al. **Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine**. **Saudi Journal of Biological Sciences**. [S.l.]: Elsevier B.V. , 1 maio 2019
- SCHUTYSER, M A I; VAN DER GOOT, A J. The potential of dry fractionation processes for sustainable plant protein production. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, p. 154–164, 2011.
- SHAHBANDEH, M. **Land required per gram protein by species 2018**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/883386/land-required-per-gram-protein-by-species/>>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- SHARMA, Sandeep et al. Seasonal and depth variations in the chemical composition of cultivated *Saccharina latissima*. **Algal Research**, v. 32, p. 107–112, 1 jun. 2018.
- SHRESTHA, Smriti et al. Lentil and Mungbean protein isolates: Processing, functional properties, and potential food applications. **Food Hydrocolloids**, v. 135, n. 108142, fev. 2023.
- SILVA, Aurora et al. Macroalgae as a Source of Valuable Antimicrobial Compounds: Extraction and Applications. **Antibiotics**, v. 9, 2020. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/antibiotics>. Acesso em: 24 out. 2022.
- SIMIONI, Carmen; HAYASHI, Leila; OLIVEIRA, Mariana C. **Seaweed resources of Brazil: What has changed in 20 years?** **Botanica Marina**. [S.l.]: De Gruyter. , 2019
- SINGH, Dig Vijay et al. Health benefits of bioactive compounds from microalgae. **Phytomedicine: A Treasure of Pharmacologically Active Products from Plants**. [S.l.]: Elsevier, 2021. p. 291–319.
- SISSINI, Marina Nasri; TOLEDO, Karina. **Estudo discute origem de algas marinhas flutuantes que invadiram costa brasileira**. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/study-discusses-origin-of-floating-seaweed-that-invaded-brazilian-coast/25386/>>. Acesso em: 19 dez. 2022.
- SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA (SEEG). **Emissões Totais** . Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- SOTO-SIERRA, Laura; STOYKOVA, Petya; NIKOLOV, Zivko L. Extraction and fractionation of microalgae-based protein products. **Algal Research**, v. 36, p. 175–192, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.10.023>>.
- SOUZA, Gabrielle Chaiben Consentino Franco de. **Algas marinhas**. . [S.l.: s.n.], 25 maio 2011.
- SOUZA FILHO, Pedro F. et al. **Mycoprotein: environmental impact and health aspects**. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. [S.l.]: Springer Netherlands. , 1 out. 2019

STEEMIT. **Cultivo de Macroalgas**. Disponível em:

<<https://steemit.com/scienc/@nacaridg7/cultivation-of-macroalgae>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

STONE, Andrea K. et al. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. **Food Research International**, v. 76, n. P1, p. 31–38, 1 out. 2015.

SUI, Yixing; VLAEMINCK, Siegfried E. Effects of salinity, pH and growth phase on the protein productivity by *Dunaliella salina*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 94, n. 4, p. 1032–1040, 1 abr. 2019.

SUMI, Yoshihiko. Microalgae Pioneering the Future — Application and Utilization —. **SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS**, n. 34, dez. 2019. Disponível em:

<<https://core.ac.uk/download/pdf/236667555.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SURESH KUMAR, K et al. Studies on the functional properties of protein concentrate of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty-An edible seaweed. **Food Chemistry**, v. 153, p. 353–360, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.058>>.

SZULINSKA, M. et al. *Spirulina maxima* improves insulin sensitivity, lipid profile, and total antioxidant status in obese patients with well-treated hypertension: a randomized double-blind placebo-controlled study. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 21, n. 10, p. 2473–2481, 2017.

TARAGJINI, Endri et al. Pilot-Scale Production of *A. platensis*: Protein Isolation Following an Ultrasound-Assisted Strategy and Assessment of Techno-functional Properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, p. 1299–1310, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11947-022-02789-1>>.

TBCA - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Disponível em:

<http://www.tbca.net.br/base-dados/composicao_alimentos.php>. Acesso em: 27 out. 2022.

THE GOOD FOOD INSTITUTE. **INDÚSTRIA DE PROTEÍNAS ALTERNATIVAS 2020**. . [S.l.: s.n.], 2020.

THERMO FISHER SCIENTIFIC. **Traditional Methods of Cell Lysis for Protein Extraction**. Disponível em: <[https://www.thermofisher.com/br/en/home/life-science/protein-biology/protein-biology-learning-center/protein-biology-resource-library/pierce-protein-methods/traditional-methods-cell-lysis.html?ef_id=Cj0KCQiAuP-](https://www.thermofisher.com/br/en/home/life-science/protein-biology/protein-biology-learning-center/protein-biology-resource-library/pierce-protein-methods/traditional-methods-cell-lysis.html?ef_id=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpej27IhjRoSshmUjYxKtSAN_pkOqKCRB5Y6CzcnwCNppjTfZbI9TYwaAhQ9EALw_wcB:G:s&s_kwcid=AL!3652!3!386244973888!!g!!&cid=bid_pca_ppf_r01_co_cp1359_pjt0000_bid00000_0se_gaw_dy_pur_con&gclid=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpej27IhjRoSshmUjYxKtSAN_pkOqKCRB5Y6CzcnwCNppjTfZbI9TYwaAhQ9EALw_wcB)

[OBhDqARIsAD4XHpej27IhjRoSshmUjYxKtSAN_pkOqKCRB5Y6CzcnwCNppjTfZbI9TYwaAhQ9EALw_wcB:G:s&s_kwcid=AL!3652!3!386244973888!!g!!&cid=bid_pca_ppf_r01_co_cp1359_pjt0000_bid00000_0se_gaw_dy_pur_con&gclid=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpej27IhjRoSshmUjYxKtSAN_pkOqKCRB5Y6CzcnwCNppjTfZbI9TYwaAhQ9EALw_wcB](https://www.thermofisher.com/br/en/home/life-science/protein-biology/protein-biology-learning-center/protein-biology-resource-library/pierce-protein-methods/traditional-methods-cell-lysis.html?ef_id=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpej27IhjRoSshmUjYxKtSAN_pkOqKCRB5Y6CzcnwCNppjTfZbI9TYwaAhQ9EALw_wcB:G:s&s_kwcid=AL!3652!3!386244973888!!g!!&cid=bid_pca_ppf_r01_co_cp1359_pjt0000_bid00000_0se_gaw_dy_pur_con&gclid=Cj0KCQiAuP-OBhDqARIsAD4XHpej27IhjRoSshmUjYxKtSAN_pkOqKCRB5Y6CzcnwCNppjTfZbI9TYwaAhQ9EALw_wcB)>. Acesso em: 12 jan. 2022.

THIVIYA, Punniamoorthy et al. Seaweeds as a Source of Functional Proteins. **Phycology**, v. 2, n. 2, p. 216–243, 11 maio 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2673-9410/2/2/12>>.

TN SUL. **Estadual: Governo Federal autoriza o cultivo comercial de macroalgas | TN Sul | Portal de Notícias**. Disponível em: <<https://tnsul.com/2020/geral/estadual-governo-federal-autoriza-o-cultivo-comercial-de-macroalgas/>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

TOKUS, OGLU, Ö; ÜNAL, M K. **Biomass Nutrient Profiles of Three Microalgae: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, and *Isochrysis galbana***. **1144 JOURNAL OF FOOD SCIENCE**. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <www.ift.org>.

UNIÃO EUROPEIA. **European Food Safety Authority**. Disponível em: <https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/efsa_en>. Acesso em: 9 jan. 2022.

UNM SUSTAINABILITY STUDIES PROGRAM. **The Superfood of Algae** . Disponível em: <<https://abqstew.com/2020/05/05/the-superfood-of-algae/>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

URSU, Alina Violeta et al. Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology**, v. 157, p. 134–139, 2014a.

_____. Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology**, v. 157, p. 134–139, 2014b.

U.S FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **CFR- Code of Federal Regulations Title 21**.

VAN DER SPIEGEL, M; NOORDAM, M Y; VAN DER FELS-KLERX, H J. Safety of Novel Protein Sources (Insects, Microalgae, Seaweed, Duckweed, and Rapeseed) and Legislative Aspects for Their Application in Food and Feed Production. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, p. 662–678, 2013.

VENDEMIATTI, Alexandre. **Brazil's Plant-Based Food Trends**. . São Paulo: [s.n.], 18 maio 2020. Disponível em: <www.bluediamondalmonds.com.br>.

WANG, Xiaoqing et al. Characterization, functional properties, and antioxidant activities of macromolecular extracts isolated from *Pyropia yezoensis*. **Journal of Oceanology and Limnology**, v. 40, n. 1, p. 273–283, 1 jan. 2022.

WANG, Yanwen et al. Microalgae as Sources of High-Quality Protein for Human Food and Protein Supplements. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods10123002>>.

WANG, Yanwen; TIBBETTS, Sean M; MCGINN, Patrick J. Microalgae as Sources of High-Quality Protein for Human Food and Protein Supplements. **Foods**, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods10123002>>.

WATANABE, Fumio et al. **Vitamin B12-containing plant food sources for vegetarians**. **Nutrients**. [S.l.]: MDPI AG. , 5 maio 2014

YANG, Yang et al. Characterization of structural and functional properties of soybean 11S globulin during the renaturation after the guanidine hydrochloride denaturation. **Food Hydrocolloids**, v. 130, 1 set. 2022.

YEH, Kuei-Ling; CHANG, Jo-Shu. Effects of cultivation conditions and media composition on cell growth and lipid productivity of indigenous microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31. **Bioresource Technology**, v. 105, p. 120–127, fev. 2012.

YUCETEPE, Aysun. A combination of osmotic shock and ultrasound pre-treatments and the use of enzyme for extraction of proteins from *Chlorella vulgaris* microalgae: Optimization of extraction conditions by RSM. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 16, p. 1516–1527, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11694-021-01258-1>>.

ZHAI, Xiaoqian et al. Seawater supplemented with bicarbonate for efficient marine microalgae production in floating photobioreactor on ocean: A case study of *Chlorella* sp. **Science of the Total Environment**, v. 738, 10 out. 2020.

ZHU, Yunping et al. Extraction, structural and functional properties of Haematococcus pluvialis protein after pigment removal. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 140, p. 1073–1083, 1 nov. 2019. Acesso em: 5 maio 2022.