



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS - ICF
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FARMÁCIA

JUDSON BORGES RAMALHO

Propriedades alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas da Spirulina: Uma revisão da literatura científica.

MACEIÓ – AL

2024

JUDSON BORGES RAMALHO

Propriedades alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas da Spirulina: Uma revisão da literatura científica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do Instituto de Ciências Farmacêuticas da Farmácia da Universidade Federal de Alagoas, como parte do requisito para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

Orientador: Prof. Dr. Ticiano Gomes do Nascimento

MACEIÓ - AL

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- R165p Ramalho, Judson Borges.
 Propriedades alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas da Spirulina : uma
 revisão da literatura científica / Judson Borges Ramalho. – 2024.
 91 f. : il.
- Orientador: Ticiano Gomes do Nascimento.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Farmácia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Farmacêuticas. Maceió,
2024.
- Bibliografia: f. 73-91.
1. Spirulina. 2. Propriedades biotecnológicas. 3. Microalgas. 4. Métodos de
cultivo. 5. Biomassa. I. Título.

CDU: 615.2

Folha de Aprovação

JUDSON BORGES RAMALHO

Propriedades alimentícias, nutracêuticas e farmacêuticas da Spirulina: Uma revisão da literatura científica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do Instituto de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Alagoas, como parte do requisito para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

Documento assinado digitalmente
 **TICIANO GOMES DO NASCIMENTO**
Data: 26/03/2024 10:58:09-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Orientador - Dr. Ticiano Gomes do Nascimento

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **JOSE RUI MACHADO REYS**
Data: 29/03/2024 16:42:47-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Examinador(a) interno(a) - Dr. José Rui Machado Reys, Ufal)

Documento assinado digitalmente
 **GISELDA MACENA LIRA**
Data: 26/03/2024 19:32:20-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

(Examinador(a) Interno(a) - Dra. Giselda Macena Lira, Ufal)

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha gratidão inicial a Deus, por conceder-me a vida, por proporcionar-me saúde e força para superar desafios, pela oportunidade oferecida, pelas bênçãos recebidas, pelo fortalecimento ao longo da jornada e por nunca desistir de mim, permitindo a concretização de mais um sonho.

Quero agradecer aos meus amados pais, Júlio e Claudenice, que sempre se empenharam ao máximo para garantir que eu e minhas irmãs estudássemos, tivéssemos acesso a todos os recursos necessários para completar esta fase, eles foram constantes em seu apoio, nunca me permitindo desistir. Além disso, sou imensamente grato pelo amor incondicional e carinho que sempre me proporcionaram. Sou grato por eles serem minha fonte de segurança e afeto, amo muito vocês.

Agradeço imensamente às minhas irmãs Cleidjane e Julycleid, que sempre foram minhas companheiras e melhores amigas, oferecendo constante apoio. Sou grato por tê-las como minhas irmãs e pela ajuda, apoio e confiança que sempre me proporcionaram. Agradeço por estarem sempre ao meu lado. Agradeço também a toda a minha família, que sempre desejou meu bem-estar e sucesso em todas as áreas da minha vida, desempenhando um papel fundamental ao longo dessa jornada. Peço desculpas por momentos em que não pude dedicar a atenção que vocês mereciam, em função deste projeto e outros compromissos.

Quero expressar minha gratidão à minha esposa, Dorys Daisy, por seu apoio incansável, paciência inabalável, carinho constante, dedicação inestimável, amizade sincera, amor incondicional, conselhos valiosos, companheirismo leal, atenção cuidadosa e compreensão da minha ausência em certos momentos. Agradeço por toda a ajuda que ela me ofereceu sempre que precisei e por me manter forte em todos os momentos. Também agradeço a meu filho, Ian Matheus, por seu amor e pela paciência em lidar com minha ausência. Agradeço por confiar e acreditar constantemente em nós.

Expresso minha gratidão aos professores, técnicos e demais colaboradores que contribuíram para minha formação. Sua dedicação e influência foram fundamentais para o desenvolvimento do meu conhecimento e na aplicação desse conhecimento aqui. Agradeço por sempre terem dedicado o máximo de seus esforços.

Quero expressar minha gratidão ao Prof. Dr. Ticiano Gomes do Nascimento pela confiança depositada em mim, assim como pela valiosa ajuda, conselhos, orientação, atenção, dedicação, competência, estímulo, respeito, paciência e disponibilidade durante todo o percurso acadêmico. Seu conhecimento transmitido e ensinamentos, entre outros aspectos, são preciosos

para mim e continuarão a ser lembrados com apreço. Desde o início dessa jornada, recebi um apoio inestimável, e agradeço pela amizade e carinho, elementos fundamentais para o meu desenvolvimento profissional e pessoal. Agradeço pelo papel crucial no enriquecimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Levo comigo o conhecimento, respeito, admiração e gratidão que permanecerão sempre presentes.

Gostaria de expressar minha gratidão à banca avaliadora, composta pelos **Prof. Dr. José Rui Machado Reys e Profa. Dra. Giselda Macena Lira**, por terem gentilmente aceitado o convite para avaliar este trabalho, pelo reconhecimento dado e pelas valiosas contribuições feitas ao trabalho final.

Quero expressar minha gratidão aos queridos amigos da minha turma de 2017.2 por todos os momentos que compartilhamos juntos. Agradeço pela paciência ao me ouvir diariamente, pelo apoio constante, incentivo e torcida. Valorizo os conselhos, as alegrias compartilhadas, as horas de estudo, as palavras motivadoras nos momentos difíceis, o companheirismo e as conquistas alcançadas. Agradeço por estarem sempre ao meu lado, dividindo suas vidas comigo ao longo dos anos de graduação. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental nesta conquista. Estou convicto de que foi a vontade divina que entrelaçou nossos destinos, e eu os guardarei eternamente nos meus pensamentos e no coração, não importando a distância que nos separe. Quero que saibam que estou sempre à disposição para ajudar. Expresso meus profundos agradecimentos.

Também expresso minha gratidão à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) pela totalidade da estrutura oferecida, pela chance de desenvolver minhas habilidades profissionais ao longo deste notável curso e por seu compromisso, dentro das possibilidades, com o acesso público, gratuito e com padrão de excelência.

E, finalmente, expresso minha gratidão a todas as pessoas que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para minha jornada até este ponto, tornando possível a realização deste trabalho nesta fase da minha vida. Agradeço imensamente pelo apoio.

RESUMO

As microalgas estiveram entre os primeiros seres vivos a habitar a Terra, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos. O principal propósito do cultivo de microalgas é produzir biomassa para produção de alimentos e obter compostos naturais de alto valor no mercado global. Essas microalgas têm ampla aplicação em diversas áreas, não apenas na alimentação de humanos e animais, mas também na geração de bioenergia, remoção de nutrientes em águas residuais e fabricação de produtos cosméticos e farmacêuticos. As microalgas se destacam por apresentarem várias propriedades biológicas, incluindo ação antimicrobiana, antioxidante e anti-inflamatória, bem como atividades benéficas contra diabetes, problemas cardiovasculares e câncer. O propósito deste estudo foi conduzir uma revisão literária narrativa abordando o amplo potencial da microalga *Spirulina* tanto como fonte alimentar quanto como ingrediente na indústria de alimentos. Para atingir esse objeto foi conduzida uma revisão da literatura científica sobre *Spirulina platensis*, utilizando termos como "Microalgas", "Spirulina", "Propriedades biotecnológicas", "Métodos de cultivo" e "Biomassa". As fontes consultadas incluíram o PubMed, Scientific Electronic Library (SciELO), Science Direct, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Os resultados desta revisão indicaram que microalga *Spirulina platensis* tem sido objeto de estudo e produção devido às suas propriedades nutricionais e benefícios para a saúde. Destaca-se pelo seu elevado valor biológico, evidenciado pelo alto teor de proteínas, presença de ácidos graxos poliinsaturados, minerais, vitaminas, fibras, aminoácidos, esteróis, pigmentos e uma variedade de compostos naturais. Desse modo, a *Spirulina* é categorizada como um produto nutracêutico, demonstrando diversos benefícios para a saúde, sendo amplamente reconhecida por sua eficácia na prevenção de diversas doenças, incluindo desnutrição, problemas de colesterol e triglicérides elevados, câncer, infecções virais, diabetes mellitus, doenças cardiovasculares, desordens lipídicas, alguns tipos de anemia, rinite alérgica, deficiência de vitamina A e outras enfermidades metabólicas. Portanto, devido ao aumento constante na utilização de alimentos alternativos com propriedades funcionais, é crucial manter a pesquisa contínua nesse campo. Isso é essencial para atender às necessidades da indústria e assegurar a qualidade e eficácia dos produtos associados à *Spirulina*, conforme mencionado anteriormente.

Palavras-Chave: Spirulina; Propriedades biotecnológicas; Microalgas; Métodos de cultivo; Biomassa.

ABSTRACT

Microalgae were among the first living organisms to inhabit the Earth, approximately 3.5 billion years ago. The primary purpose of microalgae cultivation is to produce biomass for food production and obtain high-value natural compounds in the global market. These microalgae have wide-ranging applications in various areas, not only in human and animal nutrition but also in bioenergy generation, nutrient removal in wastewater, and manufacturing of cosmetic and pharmaceutical products. Microalgae stand out for their various biological properties, including antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory actions, as well as beneficial activities against diabetes, cardiovascular problems, and cancer. The purpose of this study was to conduct a narrative literature review addressing the extensive potential of the microalga *Spirulina* both as a food source and as an ingredient in the food industry. To achieve this objective, a review of the scientific literature on *Spirulina platensis* was conducted, using terms such as "Microalgae", "Spirulina", "Biotechnological properties", "Cultivation methods", and "Biomass." The consulted sources included PubMed, Scientific Electronic Library (SciELO), Science Direct, Virtual Health Library (BVS), and the National Health Surveillance Agency (ANVISA). The results of this review indicated that the microalga *Spirulina platensis* has been studied and produced due to its nutritional properties and health benefits. It stands out for its high biological value, evidenced by its high protein content, presence of polyunsaturated fatty acids, minerals, vitamins, fibers, amino acids, sterols, pigments, and a variety of natural compounds. Thus, *Spirulina* is categorized as a nutraceutical product, demonstrating various health benefits, widely recognized for its effectiveness in preventing various diseases, including malnutrition, high cholesterol and triglycerides, cancer, viral infections, diabetes mellitus, cardiovascular diseases, lipid disorders, some types of anemia, allergic rhinitis, vitamin A deficiency, and other metabolic disorders. Therefore, due to the constant increase in the use of alternative foods with functional properties, it is crucial to maintain ongoing research in this field. This is essential to meet the needs of the industry and ensure the quality and effectiveness of products associated with *Spirulina*, as mentioned earlier.

Keywords: *Spirulina*; Biotechnological properties; Microalgae; Cultivation methods; Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Tanques de cultivo de Spirulina em sistema aberto.....	29
Figura 2 –	Tanques abertos de cultivo de microalgas.....	29
Figura 3 –	Tanques abertos de cultivo de microalgas expostos ao ambiente.....	30
Figura 4 –	Sistema de cultivo em circuito (receway).....	30
Figura 5 –	Sistema de cultivo circular.....	31
Figura 6 –	Tanques de cultivo de Spirulina em sistema fechado.....	33
Figura 7 –	Fotobiorreatores utilizados para o cultivo de microalgas.....	34
Figura 8 –	Ilustração dos sistemas.....	36
Figura 9 -	Sistemas híbridos para o cultivo de microalgas.....	40
Figura 10 –	<i>Spirulina platenses</i>	40
Figura 11 –	Fotografia microscópica da microalga Spirulina.....	41
Figura 12 -	Spirulina em pó.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Algumas aplicações biotecnológicas das microalgas.....	27
Quadro 2 –	Perspectivas e limitações de alguns sistemas de cultivo de Spirulina.....	36
Quadro 3 -	Comparação das características dos sistemas aberto e fechado.....	38
Quadro 4 -	Percentuais de proteínas presentes em alguns alimentos.....	44
Quadro 5 –	Composição da biomassa da Spirulina.....	44
Quadro 6 –	Aminoácidos presentes na biomassa da Spirulina.....	45
Quadro 7 –	Composição de micronutrientes e macronutrientes da Spirulina em pó....	48
Quadro 8 -	Classificação taxonômica <i>Arthrospira (Spirulina) platenses</i>	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACD	Delineamento inteiramente casualizado
ACE	Enzima Conversora de Angiotensina
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BVS	Biblioteca Virtual em Saúde
CA-SP	Espirulan de cálcio
CMSP	Células mononucleadas do sangue periférico
DM	Diabetes mellitus
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EPS	Exopolissacarídeos
EUA	Estados Unidos da América
FDA	Food and Drug Administration
GLA	Ácido γ -linolênico
GRAS	Generally Recognized As Safe
HAS	Hipertensão arterial sistêmica
HIV	Vírus da imunodeficiência humana
HSV	Vírus do herpes simples
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
NCI	National Cancer Institute
NK	Natural Killer
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PBR	Fotobiorreator
PGK	Fosfoglicerato cinase
PHB	Ácido polihidroxibutírico
SCIELO	Scientific Electronic Library
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 METODOLOGIA.....	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1 Alimentação contemporânea.....	18
4.2 A insustentabilidade dos sistemas atuais de produção de alimentos.....	19
4.3 Produtos fortificados (Enriquecidos).....	20
4.4 Cianobactérias e biotecnologia.....	21
4.5 Histórico e aplicações das microalgas.....	22
4.5.1 Histórico do cultivo de microalgas.....	23
4.5.2 Histórico do cultivo de microalgas no Brasil.....	25
4.5.3 Aplicações das microalgas.....	26
4.6 Métodos de cultivo da biomassa.....	27
4.6.1 Sistemas abertos.....	28
4.6.2 Sistemas fechado.....	33
4.6.3 Sistemas híbridos.....	39
4.7 Spirulina.....	40
4.8 Características nutricionais.....	43
4.9 Classificação taxonômica.....	49
4.10 Aplicação alimentícia.....	52
4.11 Propriedades nutraceuticas.....	55
4.11.1 Efeitos na Hiperlipidemia.....	56
4.11.2 Efeitos na Obesidade.....	57
4.11.3 Efeitos no Diabetes Mellitus.....	58
4.11.4 Efeitos na Hipertensão Arterial.....	59
4.11.5 Efeitos no Sistema Imunológico.....	60
4.11.6 Efeitos na Toxicidade Renal.....	61
4.11.7 Efeitos Radioprotetor.....	61
4.11.8 Efeitos no Câncer.....	62
4.11.9 Efeitos Antivirais.....	63
4.11.10 Efeitos na Microbiota Intestinal.....	64

4.11.11 Efeitos na Desnutrição.....	65
4.11.12 Efeitos contra a Anemia.....	67
4.11.13 Efeitos Antioxidantes.....	68
4.12 Toxicidade.....	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

As pessoas na vida moderna buscam conveniências em alimentos que demandam menos tempo de preparo e reduzem a frequência de compras. Esse modo de comportamento suscita importantes preocupações em reavaliar os hábitos alimentares e o estilo de vida da população, resultando em um novo desafio de identificar alimentos alternativos que atendam aos objetivos de uma alimentação balanceada, de qualidade nutricional, de baixo custo e de mínima interferência nas características das formulações de alimentos atualmente disponíveis (GARCIA, 2003; KAC; VELASQUEZ-MELÉNDEZ, 2003).

Muitos estudos têm sido realizados no campo da biotecnologia de alimentos, inclusive pela própria indústria alimentícia, com o objetivo de descobrir novas fontes de alimentos ou enriquecer produtos já existentes. As microalgas, por exemplo, são uma das opções de fortificação e estão ganhando popularidade no contexto de tratamento de deficiências nutricionais (VIDOTTI, 2004).

As microalgas são um grupo diversificado de organismos eucariotas fotossintéticos unicelulares, devido à sua composição são produtores extremamente eficazes de energia, algumas espécies transformam a luz solar, água e dióxido de carbono em óleo natural, hidratos de carbono e proteínas. Por ter sua estrutura unicelular tem muita facilidade de adaptação ao meio que está envolvido, assim, podendo se desenvolver tanto em águas salinas ou doce, apresentam crescimento e sobrevivência em condições adversas como calor, frio, anaerobiose, salinidade e exposição à radiação ultravioleta (MIRA, 2015).

As microalgas são utilizadas na alimentação humana há séculos, tendo sido usadas como fonte de proteínas por tribos indígenas do Chad e pelos Astecas (NAVALHO, 1998). No Japão, na década de 60 se iniciou a produção comercial da *Chlorella* em grande escala, dessa forma, a produção de microalgas na indústria de biotecnologia cada vez mais se expandi e diversifica (BOROWITZKA, 1999). A *Spirulina* teve sua produção industrial iniciada em 1969, pela empresa Texcoco S.A, no Lago Texcoco, no México, pouco tempo depois da produção da *Chlorella* no Japão (SONI; SUDHAKAR; RANA, 2017; SPOLAORE *et al.*, 2006).

As microalgas são bastante utilizadas em várias áreas, além da alimentação humana e animal, também na produção de bioenergia, remoção de nutrientes das águas residuais, produtos cosméticos e farmacêuticos. As microalgas destacam-se pelas diversas propriedades biológica que possui, entre elas: ação antimicrobiana, antioxidante e anti-inflamatórios, atividade antidiabética, cardiovascular e anticancerígenos (MIRA, 2015).

Conforme Rosa, Carvalho e Goldbeck (2005) a Spirulina também conhecida como Arthrospira, devido suas propriedades nutricionais e benéficas a saúde, tem sido a principal microalga estudada e produzida. A Spirulina é classificada como um produto nutracêutico, o qual possui vários efeitos positivos a saúde e se tornou muito atuante na prevenção de várias doenças como: desnutrição, hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia, câncer, infecções virais, diabetes mellitus, doenças cardiovasculares, dislipidemias, alguns tipos de anemia, rinite alérgicas, hipovitaminose A e outras doenças metabólicas (ALI; SALEH, 2012).

Dessa forma, a utilização de alimentos alternativos e com propriedades funcionais estão em constante crescimento, diante do que foi exposto, essa pesquisa literária tem como objetivo apresentar o grande potencial da microalga Spirulina como alimento e ingrediente para indústria de alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral elaborar um levantamento de informações bibliográfica sobre a microalga *Spirulina*, explorando os benefícios reconhecidos desse microrganismo para a saúde e suas diversas aplicações na indústria alimentícia.

2.2 Objetivos específicos

Levantar dados bibliográficos sobre o histórico de produção mundial e brasileira de *Spirulina*;

Descrever os hábitos alimentares na população contemporânea e os impactos da insustentabilidade dos sistemas atuais de produção de alimentos frente ao crescimento populacional;

Informar sobre processo biotecnológico para a produção de alimentos enriquecidos utilizando microalgas para atender à crescente demanda por alimentos funcionais e nutritivos;

Comparar os diferentes métodos de cultivo da biomassa da *Spirulina*;

Caracterizar de forma taxonômica e bioquímica a microalga *Spirulina*;

Informar as possíveis aplicações da *Spirulina* como ingrediente na indústria de alimentos;

Demonstrar os principais aspectos relacionados às propriedades nutracêutica e funcionais e os benefícios da biomassa *Spirulina* para saúde;

Estudar sobre a possível toxicidade da microalga *Spirulina*.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão literária do tipo revisões narrativas, foi feita através de pesquisas bibliográficas na literatura científica disponíveis a respeito do tema proposto, os artigos científicos utilizados foram encontrados nas línguas portuguesa e inglesas. As pesquisas foram consultadas utilizando palavras-chaves como: "Microalgas", "Spirulina", "Propriedades biotecnológicas", "Métodos de cultivo" e "Biomassa", em diversas bases de dados científicos como: PubMed, Scientific Electronic Library (SciELO), Science Direct, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

A obtenção de dados ocorreu entre fevereiro de 2022 e novembro de 2023. Contudo, os artigos selecionados para esta revisão que cumpriram aos critérios de inclusão e exclusão, foram limitados ao intervalo de tempo entre 1967 e 2021. Artigos duplicados, incompletos ou que não se enquadravam na questão central foram excluídos da análise.

Os artigos coletados foram analisados, dos quais foram avaliados os seus conteúdos, após a análise, as informações relevantes evidenciadas por diversos especialistas foram agrupadas com a finalidade de obter organização, contribuindo para um melhor entendimento a respeito do assunto abordado.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Alimentação contemporânea

As estruturas sociais e econômicas sofreram mudanças nos últimos anos, em vários países, inclusive o Brasil, geraram mudanças expressivas nos hábitos e estilos de vida das pessoas, resultando no aumento do consumo de alimentos industrializados. Essas mudanças estão sendo atribuídas a uma transição nutricional, ou seja, uma mudança da desnutrição para a obesidade, como evidenciado por uma transformação nos modelos de distribuição de problemas relacionados a nutrientes em uma determinada população ao longo do tempo. Esse comportamento nos alerta para a necessidade de reavaliar o estilo de vida da população e os hábitos alimentares, direcionando-nos para a procura de métodos capazes de promover hábitos alimentares saudáveis, pois as dietas estão cada vez menos nutritivas e mais calóricas, devido, em parte, ao aumento do consumo de gorduras e açúcares nestes alimentos (KAC; VELASQUEZ- MELÉNDEZ, 2003).

Dentro dessa perspectiva, vale destacar a importância do consumo de proteínas de alto valor nutricional humano, pois desempenham um papel na construção e manutenção do organismo vivo. A ingestão inadequada de proteínas é danosa em qualquer fase da vida, no entanto é mais prejudicial em gestantes, lactantes, lactentes, pré-escolares e crianças em idade escolar. Esta situação exige uma intervenção coercitiva baseada na melhoria do perfil nutricional da população, mais do que focar na variedade de alimentos que consomem, mas também na sua qualidade nutricional, garantindo uma equilibrada alimentação, consequentemente, promovendo assim o crescimento máximo do indivíduo, desenvolvimento e manutenção, refletindo diretamente na capacidade cognitiva e laboral e, portanto, com impacto direto e positivo no crescimento econômico do país (GARIB, 2002; NICOLETTI, 2007).

Em decorrência dessas circunstâncias socioeconômicas relacionadas à globalização, houve um aumento para buscar fontes alternativas de alimentos e novos processos tecnológicos, com o objetivo de diminuir os custos dos produtos e atender a demanda nutricional, inclusive de populações carentes (BATISTUTI; FREITAS, 1995). Como resultado, uma dieta balanceada rica em macronutrientes (proteínas, carboidratos e gorduras) e micronutrientes (vitaminas e sais minerais) é fundamental para resolver os problemas que surgiram como resultado da transição nutricional (NICOLETTI, 2007).

4.2 A insustentabilidade dos sistemas atuais de produção de alimentos

A população mundial chegará a 8 bilhões de pessoas até 2023 de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), no entanto, de acordo com estimativas e estudos na área, nosso atual sistema alimentar só pode sustentar uma população de 3,4 bilhões de pessoas antes de atingir os limites do planeta (ONU, 2020).

A demanda pela produção de alimentos deve aumentar proporcionalmente ao tamanho do crescimento da população mundial, que deverá passar de 6 bilhões em 2000 para 9 bilhões em 2050 (UNDP, 2006), os efeitos da agricultura sobre o meio ambiente estão se tornando cada vez mais graves. Avalia-se que como resultado deste fato, 10 bilhões de hectares de ecossistemas naturais serão convertidos para agricultura, causando maior incerteza na demanda de água (BONFILS; LOBELL, 2007; TILMAN, 1999; TILMAN *et al.*, 2001), mas, considerando que 70 % da água doce utilizada pelo homem já está empenhada na agricultura, garantindo que será um sério fator limitante (ROSEGRANT; CAI; CLINE, 2002).

Alimentar uma população de 9 bilhões de pessoas usando os métodos agrícolas atuais, preveem mais de 1 bilhão de hectares de habitats naturais que precisarão ser convertidos principalmente em países em desenvolvimento, com o uso de nitrogênio e fósforo sendo duplicado ou triplicado, e o consumo de água aumentando cerca de duas vezes e três vezes o uso de pesticida (TILMAN *et al.*, 2001).

No Brasil, há uma grande preocupação com a conversão de capital natural em capital humano, devido principalmente à expansão das fronteiras agrícolas. O cerrado foi gradualmente ocupado pela soja, expandindo o desmatamento da Amazônia. Independentemente de a soja ser plantada em áreas da Amazônia que já foram convertidas para pecuária, as implicações das conversões não são necessariamente atribuídas a ela (BRANDÃO; REZENDE; MARQUES, 2005), é preciso considerar que a chegada da soja desloca o gado para áreas de mata virgem, resultando em uma redução anual entre 400 e 830 milhões de hectares (RODRIGUES, 2004).

No período entre 1991 e 2001, o rebanho bovino na Amazônia aumentou 77 %, fazendo com que a produção nacional passasse de 19 % para 29%. A projeção para 2020 é de uma taxa de crescimento nacional de 30 % a 55 %, o que implica que a produção da Amazônia aumentará a um ritmo acelerado (RODRIGUES, 2004).

É impossível voltar uma vida completamente natural, não há outra alternativa a não ser controlar os espaços humanos para permitir um uso mais cooperativo dos recursos naturais para atender tanto às necessidades das gerações atuais quanto às gerações futuras (ZECHENDORF,

1999). Essa é a definição de desenvolvimento sustentável da Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente. O desenvolvimento sustentável necessita do equilíbrio entre as demandas de preservação da biodiversidade e o crescimento da produção agrícola. É fundamental neste processo avaliar o impacto de novas práticas agrícolas na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos (BUTLER; VICKERY; NORRIS, 2007).

Do ponto de vista tecnológico, é possível que novas técnicas de produção possam ser mais investigadas no futuro com o objetivo de produzir alimentos saudáveis e abundantes a baixo custo, atendendo às necessidades nutricionais diárias de populações pobres e também ao mesmo tempo em que reorientam e reconsideram as práticas agrícolas que estão atualmente em uso. Diversas contribuições biotecnológicas têm sido investigadas nesta área com o objetivo de reparar os danos ambientais e melhorar a qualidade de vida das pessoas. A procura por processos que produzem mais alimentos na mesma área provaram ser uma opção atraente, reduzindo as pressões de expansão sobre a vida selvagem (BARROS, 2010). As práticas planejadas reduzem o desperdício, o uso de fertilizantes e pesticidas, bem como os impactos ambientais, e permitem que os recursos de hoje sejam economizados para o futuro, garantindo alimentos frescos e processados com alta qualidade (CAPRA, 2002).

Para garantir a sustentabilidade humana e ambiental, deve ser feita através da procura de soluções limpas. Existem exemplos de produção de alimentos mais saudáveis, como a agricultura orgânica e a agricultura hidropônica, que estão ganhando força em todo o mundo, incluindo no Brasil. A biotecnologia será, sem dúvida, capaz de desenvolver novos recursos que ajudarão a melhorar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, a qualidade de vida humana (ZECHENDORF, 1999). A aquicultura é outra tendência que deve ser levada a sério, particularmente o cultivo em massa de organismos com alto valor nutricional, altos índices de produção de biomassa, baixos custos de insumos energéticos e químicos, e utilização de pequenos espaços. As culturas de microalgas e outros microrganismos devem ser destacadas nesse cenário (HABIB *et al.*, 2008).

4.3 Produtos fortificados (Enriquecidos)

Estudos indicam que a carência de proteína na alimentação humana é uma das grandes dificuldades dos países subdesenvolvidos, dessa forma, necessitando desenvolver novas fontes não convencionais, aumentar e diversificar as fontes proteicas existentes (CARVAJAL, 2009).

Atualmente, a preocupação com a saúde e fatores que possam garanti-la e melhorá-la vem aumentando, nesse âmbito, a função da alimentação tem sido bastante discutida. Através

da aplicação da biotecnologia moderna se tem buscado novas fontes alimentares devido a demanda de alimentos que sejam qualificados como nutricionais completos ou alimentos enriquecidos que contribuíssem com maiores quantidades de substâncias benéficas à saúde. O interesse de vários segmentos tem aumentado pelos rendimentos positivos que esses produtos tem demonstrado, principalmente as indústrias de alimentos, medicamentos e cosméticos por compostos bioquímicos ativos, grande disponibilidade desses compostos e quantidade de diversas substâncias bioativas (FERNANDES, 2016).

O interesse mundialmente tem aumentado em melhorias da qualidade nutricional e redução de gastos com saúde por meio da melhoria da qualidade, da expectativa de vida e prevenção de doenças crônicas. Assim, surgindo novo desafio de identificar alimentos alternativos que tenha como objetivos uma alimentação balanceada, qualidade nutricional, baixo custo e mínima interferência nas características das formulações alimentícias atuais encontrada no mercado (GARCIA, 2003; KAC; VELASQUEZ-MELÉNDEZ, 2003).

O desenvolvimento dos conhecimentos sobre a função dos elementos fisiologicamente ativos, de fontes animais e vegetais tem alterado a compreensão da ação da dieta sobre a saúde (ADA, 2004).

A biotecnologia tem buscado desenvolver pesquisas inovadoras, utilizando diversos micro-organismos. A partir dessas pesquisas, foram desenvolvidos vários produtos novos e melhorado os produtos existentes, inclusive os produtos do setor alimentícios, levando há uma evolução do ramo industrial aos seus consumidores (FERNANDES, 2016). Os estudos em biotecnologia alimentar utilizando microalgas tem sido vista de forma especial, principalmente devido a esses organismos sintetizarem diversas substâncias, entretanto, o cultivo e coleta desses organismos para ser usados na alimentação humana são realizadas há séculos (RICHMOND, 1988).

4.4 Cianobactérias e biotecnologia

Uma das áreas mais expressivas da biotecnologia é a utilização de microrganismos e seus produtos metabólicos pelo humano. O conhecimento da atividade desses microrganismos na conversão de determinadas substâncias em outras, bem como a possibilidade de utilização de substratos para obtenção de produtos e subprodutos viáveis, é de extrema importância (COLLA, 2002).

As cianobactérias, também conhecidas como algas cianofíceas, são organismos que pertencem ao reino Monera. Assim, esses procariontes possuem material genético disperso por

todas as suas células. (DERNER, 2006). Ainda é desconhecido o número de espécies de microalgas, nos dias atuais são citados em estudos que podem existir mais de 200 mil até alguns milhões representantes deste organismo, as microalgas apresentam enorme capacidade para produção de ácidos graxos e pigmentos (clorofila e carotenoides) que são de grande interesse da indústria alimentícia, farmacêutica e cosméticas, sendo bastante usado como suplemento alimentar, devido sua alta quantidade de ácidos graxos poliinsaturados e minerais (NORTON; MELKONIAN; ANDERSEN, 1996; PULZ; GROSS, 2004).

Essas cianobactérias são microrganismos fotossintéticos que crescem em meio líquido e rapidamente se reproduzem, permitindo que sua biomassa multiplique em menos de 24 horas e produzam compostos biologicamente ativos, como exemplo as proteínas. O interesse em cultivar esses organismos decorre de suas muitas e potencialmente úteis aplicações, incluindo alimentos, produção de energia, aquisição de pigmentos e tratamento de águas residuais (BURJA *et al.*, 2001). Esses organismos possuem grande importância biológica, ecológica e econômica, essa última é determinada pelas diferentes formas de utilização das microalgas nos diversos países, como na indústria de alimentos, medicamentos, imunoestimulantes, biocombustíveis, cosmética e agricultura (VIDOTTI, 2004).

A elevada taxa de crescimento das cianobactérias, que resulta numa elevada produção de nutrientes, nomeadamente proteínas, e a capacidade de utilizar como substrato fontes de energia de baixo custo, como os resíduos da agroindústria, têm despertado o interesse em sua exploração para a produção de alimentos humanos em larga escala. Essas características determinam vantagens tecnológicas e comerciais sobre as técnicas tradicionais de produção de proteínas (ANUPAMA; RAVINDRA, 2000).

4.5 Histórico e aplicações das microalgas

O termo microalga carece de valor taxonômico porque engloba organismos muito diferentes em termos de origem, morfologia e composição química. Ele se refere a um grande número de espécies que compõem o fitoplâncton, que engloba um espectro diversificado de organismos como unicelulares, multicelulares e autotróficos que variam em tamanho de 2 a 100 µm e são o primeiro elo da cadeia alimentar, servindo como alimento direto para os organismos filtrantes. O número exato de espécies de microalgas é desconhecido, e em meio as 200 mil espécies catalogadas a maior parte permanece inexplorada de formas bioquímica e metabólica (DERNER, 2006; LOURENÇO, 2006; SHEEHAN *et al.*, 1998).

As microalgas são organismos microscópicos que contêm pigmentos fotossintéticos que podem ser divididos em três categorias: as clorofilas (em particular, clorofila *a*, pigmento mais essencial para a fotossíntese, pois desempenha um papel central no sistema de fotossíntese para a captação de energia luminosa), os carotenoides e as ficobilinas. Esses pigmentos diferem em sua composição química, bem como em sua capacidade de absorver luz em um comprimento de onda específico. Esses microrganismos são capazes de realizar fotossíntese de oxigênio, possuem baixas necessidades de nutrientes e podem ser encontrados em todos os ecossistemas do mundo, tanto nos meios aquáticos, mas também terrestres, e incluem uma extensa quantidade de espécies que vivem amplamente em diversas condições ambientais (ANDRADE; COSTA, 2008; MATA; MARTINS; CAETANO, 2010; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001; ROUND, 1983).

As microalgas representam pelo menos 60% da produção primária mundial. Elas acumulam energia solar, transformando-a em energia biológica e se tornando alicerce de várias cadeias tróficas em ambientes aquáticos, por exemplo, sendo o alimento primário para fitófagos, como alguns tipos de peixes, moluscos bivalves (fitófagos ao longo de todo seu ciclo de vida), crustáceos durante suas fases larvais e para o zooplâncton em geral (ARREDONDO-VEGA, 1995; CHISTI, 2004; SHELEF; SOEDER, 1980).

As microalgas foram um dos primeiros organismos vivos a colonizar a Terra, há cerca de 3,5 bilhões de anos (GOLUBIC, 1976). As microalgas são utilizadas na alimentação humana desde a antiguidade, com algumas espécies do gênero *Nostoc*, que são consumidas na Ásia, e a *Spirulina* sendo utilizada no México pelos Astecas, que a consumiam com cereais na forma de um molho conhecido como "chimolli" ou molho asteca e na África pelo Kanembous das tribos indígenas do Chad, onde as mulheres cultivavam a *Spirulina* no lago Chad, quando os ventos sopravam e aglomeravam as microalgas as margens do lago, posteriormente enxugavam a biomassa ao sol e depois recolhiam com as mãos, acomodava em blocos e depois cortava em pequenos pedaços em forma de tabletes. Também era possível fazer "dihé" com essa biomassa, que consistia em uma mistura de *Spirulina* com molho de tomate e diversos temperos (AARONSON; BERNER; DUBINSKY, 1980; CIFERRI; TIBONI, 1985; NAVALHO, 1998; NORTON; MELKONIAN; ANDERSEN, 1996).

4.5.1 Histórico do cultivo de microalgas

O cultivo de microalgas tem como objetivo principal a produção de biomassas visando a elaboração de alimentos e adquirir compostos naturais com elevado valor no mercado mundial

(DERNER *et al.*, 2006). O cultivo de microalgas é uma das técnicas mais avançadas de biotecnologia. O primeiro registro histórico do cultivo de microalgas é atribuído a Cohn em 1850 por manter a alga flagelada verde *Haematococcus* viva em laboratório, porém foi Famintzin em 1871 quem desenvolveu os primeiros estudos experimentais de cultivo de microalgas. Alguns de seus primeiros estudos sobre a fisiologia das algas foram realizados com o cultivo das algas verdes *Chlorococcum infusionum* e *Protococcus viridis* em soluções salinas inorgânicas, quando se descobriu que esses sais inorgânicos eram necessários para o desenvolvimento das microalgas. Essas descobertas tiveram um impacto significativo nas ações dos primeiros pesquisadores no campo do cultivo de microalgas. No período de 1890 e 1893, Beijerinck isolou clorofíceas de água doce dos gêneros *Chlorella* e *Scenedesmus*, e o uso dessas culturas para pesquisas da fisiologia vegetal foi introduzida por Warburg no início do século XX. Desde então, tem havido um aumento constante no interesse no cultivo de microalgas (BENEMANN; TILLET; WEISSMAN, 1987; CHAUMONT, 1993; LOURENÇO, 2006).

Após este estágio inicial de desenvolvimento de cultivos de microalgas, a taxa de geração e diversificação de conhecimento aumentou, resultando no surgimento de mais estudos ecológicos, fisiológicos, ontogenéticos, bioquímicos e genéticos. Como resultado, aumentou o interesse em produzir biomassa de algas para uso como alimentação animal e humana, apesar de tais estudos terem sido realizados anteriormente com foco puramente biológico. A partir de 1940, em Stanford (EUA), Essen (Alemanha) e Tóquio (Japão), as culturas em massa de microalgas começaram a receber mais atenção, e Burlew em 1953, publicou um livro clássico resumindo muitos desses estudos. A Segunda Guerra Mundial, possivelmente tenha influenciado a exploração deste novo recurso (LOURENÇO, 2006; RICHMOND; SOEDER, 1986).

O cultivo em escala comercial de microalgas começou no Japão em 1960 com o cultivo de *Chlorella*, no começo de 1970, seguido pelo estabelecimento de *Spirulina* em larga escala no Lago Texcoco, no México e na Tailândia em 1977. Nos meados de 1980, na Ásia haviam 46 fábricas de grande porte que produzia mais de 1.000 kg de microalgas por mês, principalmente o gênero *Chlorella*. A produção comercial de *Dunaliella salina* como fonte de β -caroteno pela Western Biotechnology Ltd e Betatene Ltd (atualmente Cognis Nutrition & Health) em 1986 se tornou a terceira maior potência industrial de microalgas da Austrália, depois de Israel e dos Estados Unidos da América (EUA). Várias fábricas que produzem *Haematococcus pluvialis* como fonte de astaxantina foram recentemente estabelecidas nos Estados Unidos da América (EUA) e na Índia. Como resultado, a indústria de biotecnologia de microalgas cresceu e se diversificou significativamente, em cerca de 30 anos (LOURENÇO,

2006; SHELEF; SOEDER, 1980). A Spirulina teve sua produção mundial bastante evoluída, em 1975 era 30 toneladas, em 1998 passou para 2.500 toneladas e atualmente alcançou 3.000 toneladas (BOROWITZKA, 1999). Os Estados Unidos, Tailândia, Índia, Taiwan, China e Grécia foram os maiores produtores mundiais de Spirulina em 2019 (ECYCLE, 2019).

4.5.2 Histórico do cultivo de microalgas no Brasil

Os primeiros estudos sobre o cultivo de microalgas foram realizados no Brasil em um período em que a diversificação de estudos e aplicações biotecnológicas já estavam bastantes avançados em escala mundial. Clovis Teixeira e Armando A. H. Vieira do Instituto de Oceanográfico da Universidade de São Paulo (USP) começaram a colecionar as primeiras microalgas marinhas em cultivo laboratorial em 1970 e publicaram os primeiros resultados com o cultivo de diatomácea *Phaeodactylum tricornutum* em 1976. Armando Vieira fundou a primeira coleção de microalgas de água doce do país em 1977 na Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) (LOURENÇO, 2006). A Spirulina descoberta no Brasil pelo pesquisador Jorge Alberto Vieira Costa, pertencente à espécie *Arthrospira platensis*, cujo habitat nativo é a Lagoa Mangueira, localizada entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico no Rio Grande do Sul (JONH, 2016).

Apesar do cultivo de microalgas ter sido realizado anteriormente em instituições ligadas à aquicultura, ele começou a se expandir pelo país a partir de 1980, com a participação de pesquisadores e universidades de diversos estados, das quais estão as Fundação Universidade de Rio Grande, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal da Paraíba. Foram criados mais laboratórios de cultivo de microalgas a partir de 1990, totalizando 45 unidades em todo país (LOURENÇO, 2006).

Os cultivos da cianobactéria são bastantes encontrados no semiárido do nordeste da Paraíba, devido ao baixo custo, altas temperaturas da região, altos índices de insolação e água do subsolo salinizada, e as mesmas cultivadas em tanques com capacidade até 15 mil litros de água (ECYCLE, 2019). Além disso, existem empresas no Brasil que cultivam Spirulina para fins comerciais, e essa cultura está se ampliando para várias regiões do país, normalmente encontrada na forma mínima de processamento. Por exemplo, a maior parte da produção de Spirulina estão localizadas em Palhoça/Santa Catarina e Patos/Paraíba (FERREIRA, 2020).

A Spigreen, empresa de tecnologia nutricional focada em pesquisa, produção, desenvolvimento e comercialização de Spirulina, está sediada na cidade brasileira de Diamantino/Mato Grosso e iniciou a produção de Spirulina em larga escala em 2019. Para tal

fim, passou sete anos desenvolvendo novas técnicas de cultivo e colheita de cianobactérias para uma produção mais eficiente (BONOMETTI, 2020).

Esta empresa é a maior produtora de Spirulina da América Latina e visando o mercado global, com objetivo de obter o auge da produção internacional nos próximos cinco anos, com foco na nutrição humana, pois esta microalga requer quatro vezes menos água que a soja, cinco vezes menos que o arroz e cinco mil vezes menos que a carne bovina. Segundo Matheus Moraes, vice-presidente da Spigreen, a produção desse alimento é transformadora porque produz 400 vezes mais proteína que carne vermelha por hectares, 230 vezes mais proteína que arroz, 60 vezes mais proteína que trigo, 40 vezes mais proteína que o milho e 30 vezes mais proteína que a soja, com o aumento previsto da população global, o que evidencia seu potencial no combate à escassez de alimentos no futuro (EXPRESSO, 2020).

4.5.3 Aplicações das microalgas

A procura por alternativas de alimentos nutricionais que possam ajudar a reduzir a deficiência de nutrientes por meio do desenvolvimento de novos processos e matérias-primas está se intensificando. Pesquisas biotecnológicas inovadoras, com o uso de microrganismos ou enzimas para criação de novos produtos, como alimentos, estão estimulando a sociedade moderna (MULITERNO et al., 2005). O aceitação de um microrganismo, particularmente para uso na nutrição humana e animal, é determinado pelo seu valor nutricional e segurança, que inclui baixos níveis de ácidos nucleicos, ausência de compostos residuais indesejáveis e de toxinas (BEKATOROU; PSARIANOS; KOUTINAS, 2006).

Desde os primeiros estudos de Burlew em 1953, tem havido um interesse crescente na produção em escala comercial de microalgas. Vários aspectos da biotecnologia foram desenvolvidos desde então com o objetivo de aumentar a eficiência das culturas produzidas em massa (BENEMANN; TILLET; WEISSMAN, 1987; CHAUMONT, 1993; RICHMOND; SOEDER, 1986).

As microalgas possuem compostos químicos e moleculares valiosos que podem ser usados na produção de plásticos verdes, produtos de limpeza verdes, detergentes e polímeros biodegradáveis e não-tóxicos, e que podem ser comercializados a preço comparáveis aos produtos de petróleo, cooperando com o meio ambiente e em paralelo com a saúde populacional (SIMÕES *et al.*, 2019).

A biomassa de microalgas pode ser utilizada para aquisição de biocompostos, como suplemento alimentar humano, ração animal, como fonte de biocombustíveis, de pigmentos

naturais, vitaminas e ácidos graxos e para fabricação de aditivos para formulações farmacêuticas e alimentícias. Elas também são usadas na aquicultura como fonte de alimento para moluscos, crustáceos e peixes, pois ajudam a manter a saúde da pele desses animais, intensificando sua cor e aumentando suas taxas de crescimento, sobrevivência e reprodução. Essas algas também são utilizadas como fonte de alimento para cães, gatos e aves ornamentais, além de tônico para vacas, touros e cavalos em alguns países. Essas aplicações (Quadro 1) estão se tornando cada vez mais comuns, deixando de ser um produto puramente promissor e assumindo um papel significativo na sociedade moderna (ANDRADE; COSTA, 2008; HENRIKSON, 1994; LOURENÇO, 2006).

Quadro 1 - Algumas aplicações biotecnológicas das microalgas

Produto	Componente	Aplicações
Biomassa	Biomassa	Suplementos alimentares, aditivos para alimentos, aquicultura, condicionamento de solos
Corantes e antioxidantes naturais	Xantofilas, luteína, betacaroteno, vitaminas C e E	Alimentos, suplementos alimentares e cosméticos
Ácidos graxos	Ácido araquidônico, ácido eicosapentaenóico, ácido linoleico	Aditivos alimentares
Enzimas	Luciferases, Fosfoglicerato, cinase (PGK)	Pesquisas médicas, alimentos
Polímeros	Polissacarídeos, ácido polihidroxibutírico (PHB)	Aditivos alimentares, cosméticos e medicina
Outros produtos	Peptídeos, toxinas, isótopos, aminoácidos	Pesquisas na área médica e desenvolvimento de fármacos

Fonte: Adpatada DE JESUS; DE MORAIS; DE MORIAS, 2013.

4.6 Métodos de cultivo da biomassa

A produção de biomassa de microalgas pode ser realizada de maneira simples e convencional em algumas aplicações, mas também pode envolver procedimentos e equipamentos mais avançados, tornando-a um dos processos mais modernos na área da biotecnologia. A seleção do método de cultivo depende dos produtos desejados, como biomassa, ácidos graxos, pigmentos e outros produtos, que as microalgas podem sintetizar sob determinadas condições. A partir desses cultivos, é viável obter alimentos e diversos produtos

com valor nutricional, farmacológico e industrial, muitas vezes a custos significativamente inferiores aos da agricultura tradicional, além de alcançar velocidades de produção muito mais rápidas (BARROS, 2010).

As microalgas podem ser cultivadas em diversos sistemas, variando em escala desde alguns litros até bilhões de litros (BOROWITZKA, 1999b). Em geral, os métodos de produção não são altamente complexos, já que muitas empresas optam por cultivos a céu aberto em tanques com base em terra, com pouca ou nenhuma regulação dos parâmetros ambientais (LOURENÇO, 2006). No entanto, recentemente, alguns cultivos têm sido realizados em equipamentos especializados chamados fotobiorreatores, que permitem o controle dos parâmetros ambientais. Isso resulta em um aumento na produtividade, tornando viável a produção comercial de compostos de alto valor comercial (TREDICI, 2004).

O cultivo de microalgas e cianobactérias é uma área promissora da biotecnologia com um grande potencial econômico para a fabricação de vários produtos, tais como biodiesel, bioetanol, cosméticos, suplementos alimentares e, por conseguinte, para a redução das emissões de CO₂. No entanto, a produção de biomassa algal continua sendo um processo dispendioso e desafiador (EVENS *et al.*, 2000). O cultivo de microalgas pode ser realizado em sistemas abertos ou fechados, com uso de luz natural ou artificial (KARAM; SOCCOL, 2007; PÉREZ; LABBLÉ, 2014).

Dentre os métodos massivos de cultivos, podemos destacar os sistemas abertos (como lagoas e tanques), os sistemas fechados (como fotobiorreatores) e os sistemas mistos (conhecidos como híbridos). Estes últimos foram criados com a finalidade de incorporar as vantagens de cada sistema. A seleção do método de cultivo adequado é influenciada por parâmetros como produtos e subprodutos de interesse, eficiência no uso da luz, capacidade de controle de parâmetros físicos, como a capacidade de manter a cultura estéril em monocultivos (SPOLARE *et al.*, 2006).

4.6.1. Sistemas abertos

Os sistemas mais antigos referem-se aos sistemas abertos nos quais as microalgas são cultivadas em lagoas, tanques grandes ou piscinas ao ar livre (KOCHEM, 2010). Os cultivos em sistemas abertos (representados na Figura 1) envolvem o uso de tanques naturais (lagoas) ou artificiais (com diferentes designs) e representam o método tradicional para produção de microalgas. Ambos requerem extensas áreas e são utilizados quando o objetivo é produzir biomassa. Esse sistema é altamente lucrativo pois permite tratar águas residuais de diversas

fontes, alcançando uma concentração celular de até $0,7 \text{ g.L}^{-1}$, com produtividade por hectare podendo alcançar de até 50 t.ano^{-1} (KARAM; SOCCOL, 2007; PÉREZ; LABBLÉ, 2014).

Figura 1 - Tanques de cultivo de Spirulina em sistema aberto.



Fonte: SHEFLER, 2018.

Os sistemas de cultivos abertos (representados na Figura 2) geralmente possuem uma construção mais simples e são mais fáceis de operar. Além disso, eles são duráveis e têm uma alta capacidade de produção em comparação com os sistemas de reatores fechados. No entanto, esses tanques consomem mais energia elétrica para homogeneizar os nutrientes e movimentar as células, o que fornece um suprimento significativo de energia solar essencial para o crescimento das microalgas. Quanto aos materiais utilizados na construção das paredes e do fundo do tanque pode variar desde materiais simples, como areia ou barro, até opções como tijolos, cimento ou cloreto de polivinilo, fibra de vidro ou poliuretano. Os tanques abertos são relativamente acessíveis economicamente e são de fácil limpeza após o cultivo (RICHMOND, 2004; DERNER *et al.*, 2006).

Figura 2 - Tanques abertos de cultivo de microalgas.



Fonte: Próprio autor - <https://www.indiamart.com/proddetail/open-pond-photo-bioreactor-10531541688.htm>

Os sistemas abertos consistem em lagoas rasas, que podem ser lagoas já existentes ou criadas artificialmente, e estão expostos ao ambiente (Figura 3) ou podem ser encontrados dentro de estufas. Esses sistemas podem assumir dois formatos fundamentais (WALTER, 2011):

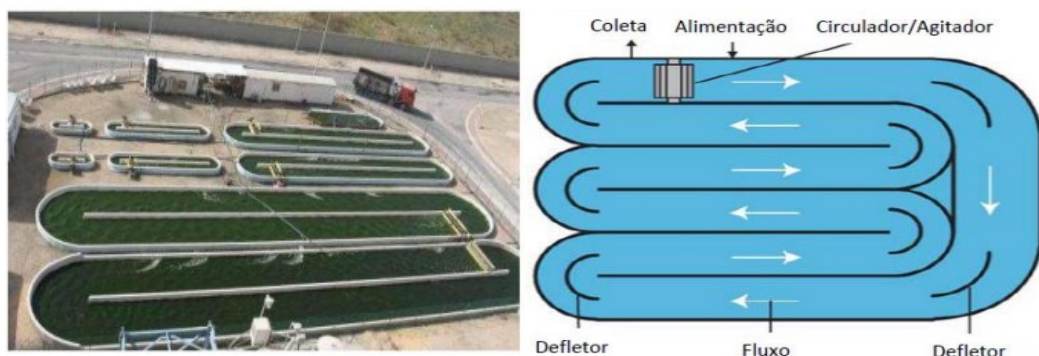
- **Raceway (circuito):** é o formato mais utilizado no cultivo comercial de algas. Sua configuração predominante inclui pás circulares, bombas ou defletores, que promovem a circulação contínua de nutrientes, gases e a cultura algal, assegurando uma eficiente mistura dos elementos essenciais para o desenvolvimento das algas (Figura. 4), isso resulta em altas taxas de crescimento algal de forma contínua;
- **Circular:** são amplamente empregados e têm a possibilidade de serem equipados com um sistema de aeração (Figura 5), no entanto, demonstram uma capacidade de mistura relativamente inferior quando comparados com os sistemas em circuito (WALTER, 2011).

Figura 3 - Tanques abertos de cultivo de microalgas expostos ao ambiente.



Fonte: Próprio autor - <https://mnegreiros.com/fazenda-tamandua-transmite-lancamento/>

Figura 4 - Sistema de cultivo em circuito (raceway)



Fonte: WALTER, 2011.

Figura 5 - Sistema de cultivo circular

Fonte: Próprio autor - <https://ciorganicos.com.br/biblioteca/fazenda-tamandua-aposta-no-cultivo-da-spirulina/>

Existem diversas formas e tamanhos possíveis para a construção dos sistemas de cultivos abertos. Atualmente, o tipo de sistema mais utilizado na atualidade e também o mais antigo é o chamado "raceway" (um sistema semelhante a uma pista de corrida), que vem sendo utilizado desde 1950 (PEQUENO, 2012).

Esses sistemas são compostos por tanques abertos ao ar livre, que têm uma profundidade geralmente variando entre 20 e 50 cm. Esses tanques são utilizados para o cultivo de microalgas e são projetados com o propósito de promover um crescimento estável e produtivo das mesmas. Para alcançar esse objetivo, é empregada a agitação e circulação do meio de cultivo. De acordo com os autores, a agitação contínua tem o efeito de evitar que as células se depositem no fundo do tanque, ao mesmo tempo em que proporciona um melhor acesso aos nutrientes e à luz solar para as microalgas (HUANG *et al.*, 2015). A geração de biomassa em tanques abertos é um processo contínuo de propagação. É recomendável que esses tanques tenham pouca profundidade, apresentando uma profundidade de até 30 cm (BERTOLDI; SANT'ANNA; OLIVEIRA, 2008).

As microalgas e os nutrientes são inseridos na parte frontal de uma pá mecânica de agitação e impulsionados até a parte final do taque, onde são colhidos. A fonte de carbono é proveniente do ar e pode ser potencializada com a instalação de aeradores, visando aumentar a captação de CO₂ (BRENNAN; OWENDE, 2010, DASGUPTA *et al.*, 2010).

No período de inverno, é necessário que os tanques sejam cobertos para evitar variações de temperatura e prevenir que a camada superior do meio de cultura não congele durante as noites em áreas de clima temperado e subtropical. Essa cobertura adicional tem o benefício de

reduzir as perdas do meio por evaporação e minimizar a contaminação causada por insetos (BERTOLDI; SANT'ANNA; OLIVEIRA, 2008).

Os tanques abertos são influenciados pelas condições do ambiente, o que impossibilita o controle adequado de fatores como temperatura, evaporação e iluminação. Embora possam gerar grandes quantidades de microalgas, eles ocupam uma área maior em comparação aos fotobiorreatores e apresentam um alto índice de contaminação biológica, incluindo protozoários, bactérias e outras microalgas (MOHEIMANI, 2005; RICHMOND, 2004; UGWU; AOYAGI; UCHIYAMA, 2008).

Os sistemas abertos possuem vantagens como facilidade de construção e operação, além de uma utilização de longa duração (PÉREZ; LABBLÉ, 2014). A simplicidade da manutenção do sistema aberto se destaca em relação aos sistemas fechados, devido à facilidade de acesso ao tanque para limpar o biofilme que se forma nas superfícies após o cultivo (FRANCO *et al.*, 2013).

No entanto, apresentam algumas desvantagens, como a limitada capacidade das células em capturar luz solar, o risco de evaporação, a exigência de extensas áreas de terra e a exposição de contaminação por organismos heterotróficos de crescimento acelerado e/ou plâncton indesejado (PÉREZ; LABBLÉ, 2014).

A dificuldade de controlar as variáveis de cultivo (como temperatura, iluminação, salinidade, pH, entre outras) é a principal desvantagem desse sistema, já que elas são altamente influenciadas pelas condições ambientais (CHISTI, 2007). Além do exposto, segundo Kumar *et al.* (2015) mencionam que existe grande perdas de água devido à evaporação, uma baixa eficiência no uso do CO₂ e elevados riscos de contaminação por espécies indesejáveis, resultando em redução do rendimento e dificuldades em erradicá-las após se estabelecerem nos tanques. Esses elementos resultam em uma produtividade significativamente menor nos sistemas abertos em comparação com os sistemas fechados (RAWAT *et al.*, 2013).

De acordo com Menna (2010), o sistema de cultivo aberto apresenta várias desvantagens, tais como: (i) limitação a uma pequena variedade de espécies de algas que conseguem se desenvolver em larga escala, (ii) aumento da presença de microrganismos predadores, (iii) grandes perdas de água devido à evaporação e dificuldades em manter o volume adequado, (iv) ineficiência na distribuição de dióxido de carbono, (v) necessidade de uma área física extensa, (vi) produtividade baixa em comparação com sistemas fechados, e (vii) custos elevados na colheita de biomassa.

4.6.2. Sistemas fechado

Os sistemas fechados (Figura 6) surgiram com o objetivo primordial de solucionar certas questões presentes nos sistemas de cultivos abertos, tais como a baixa densidade e o risco de contaminação (CHISTI, 2007). A produção em ambiente fechado ocorre através de fotobiorreatores, os quais consistem em uma sequência de tubos transparentes, comumente feitos de vidro ou plástico, que atuam como captadores de luz solar. Nesses fotobiorreatores, são regulados fatores como a temperatura, o pH, o suprimento de nutrientes e de CO₂ (CHISTI, 2007).

Figura 6 - Tanques de cultivo de Spirulina em sistema fechado.

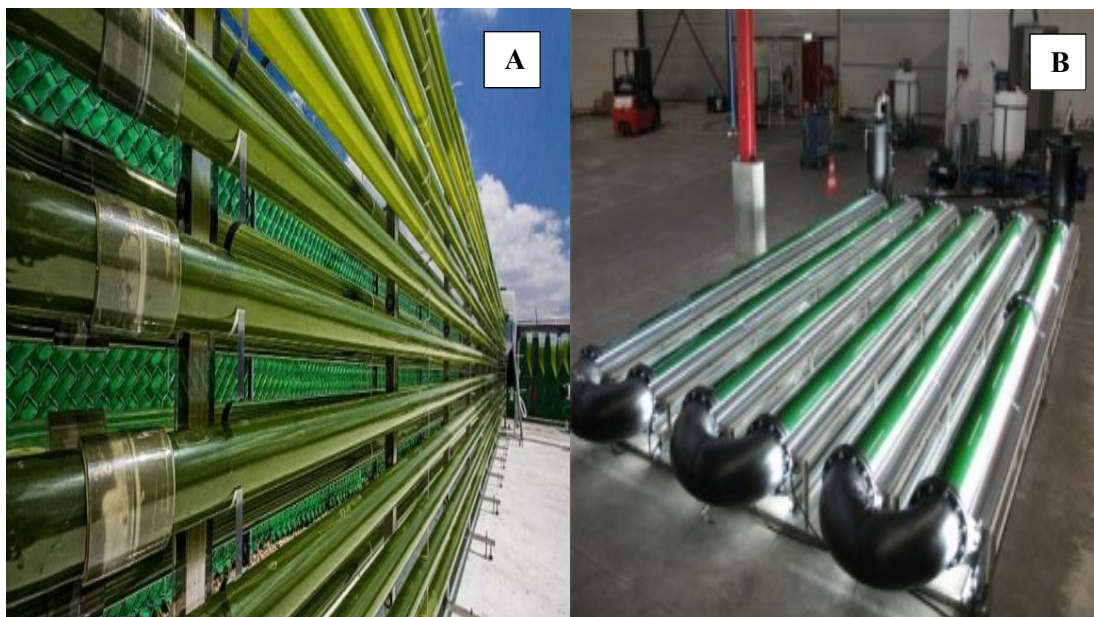


Fonte: EXTREMADURA, 2020.

Diferentemente dos sistemas abertos, os fotobiorreatores têm como sua principal finalidade o cultivo exclusivo de um tipo específico de microrganismo. Esses biorreatores têm sido utilizados com sucesso na produção de biomassa de microalgas (MENNA, 2010).

Um fotobiorreator (PBR) refere-se a um recipiente completamente fechado ou quase fechado, utilizado para realizar a produção fotoautotrófica (ANDERSEN, 2005). O Fotobiorreator (Figura 7) é um dispositivo utilizado para o cultivo ou realização de reações fotobiológicas com organismos que dependem da luz para o seu crescimento. Esses reatores são altamente adaptáveis e podem ter otimizações de acordo com as características biológicas e fisiológicas da espécie de alga que está sendo cultivada (MOHEIMANI, 2005).

Figura 7 - Fotobiorreatores utilizados para o cultivo de microalgas.



Fonte: Próprio autor – A - <https://www.ecologiaverde.com/5-sorprendentes-aplicaciones-del-cultivo-de-micro-algas-599.html> , B - Bio-Combustíveis Aquícolas Baseados em Algas: Sistemas de Tanques Abertos Versus Fotobiorreatores (mybelojardim.com)

Um projeto de fotobiorreator de qualidade necessita de uma utilização eficiente da luz, garantindo iluminação uniforme, diminuir o auto sombreamento e permitir uma rápida transferência de CO₂ e O₂. Esses sistemas oferecem condições de cultivo reprodutíveis e um controle hidrodinâmico adequado, embora enfrentem problemas de aquecimento (SHOW; LEE; CHANG, 2011). Além disso, o projeto de fotobiorreator precisa ser adaptado para o cultivo de diversas espécies de microalgas e prevenir a incrustação no reator (KUMAR *et al.*, 2011).

Os sistemas fechados e semifechados oferecem a oportunidade de exercer um controle mais rigoroso sobre os parâmetros, resultando em uma redução significativa nos desafios encontrados nos sistemas abertos. Essas opções são aconselháveis quando o objetivo é obter produtos com um alto valor agregado (KARAM; SOCCOL, 2007; PÉREZ; LABBLÉ, 2014). Os fotobiorreatores fechados são empregados na criação de microrganismos fotossintéticos com o objetivo de produzir ácidos graxos poliinsaturados, pigmentos, vitaminas e polissacarídeos (MOLINA GRIMA *et al.*, 1995; JANSSEN *et al.*, 2002).

De acordo com o formato ou configuração, os fotobiorreatores são considerados superiores aos tanques abertos devido as várias vantagens que apresentam, pois fornecem maior controle das condições de cultivo e parâmetros de crescimento como pH, temperatura e

agitação. Além disso, eles previnem a evaporação, reduzem as perdas de CO₂, fornecem um ambiente mais seguro e protegido, e minimizam ou previnem a contaminação por microrganismos concorrentes (RICHMOND, 2004).

Outro aspecto crucial para utilização desses fotobiorreatores é garantir um fornecimento eficiente de luz, alcançado a maximização da relação entre a superfície-volume de iluminação. O crescimento de microrganismos fotossintetizantes nestas condições é possivelmente limitado pelo suprimento de luz e CO₂. Além desses aspectos, a concentração de nitrogênio também exerce um papel crucial no cultivo, pois esse nutriente, é o principal utilizado para a formação de proteínas e ácidos nucleicos, fundamentais para a manutenção e crescimento das células (WATANABE; HALL, 1996).

A seleção do biorreator é um elemento crucial que afeta diretamente a eficiência da produção do cultivo da cianobactéria em análise (WATANABE; HALL, 1996). Existem diversos tipos de biorreatores empregados no cultivo de microrganismos fotossintéticos, tais como cianobactérias e microalgas. Alguns desses dispositivos são atualmente utilizados na produção industrial desses organismos (LEE, 2001).

Os sistemas fechados apresentam custos elevados tanto para implantação quanto para operação. Entretanto, em contrapartida, eles permitem um maior controle sobre as condições hidrostáticas da cultura (como o fluxo de ar e água, dissolução dos gases) e bem como as condições de cultivo (como a densidade celular ou biomassa, a concentração de nutrientes, a temperatura e pH, entre outros fatores). Além disso, esses sistemas apresentam redução da vulnerabilidade a contaminações e permitem uma utilização mais eficiente dos nutrientes presentes no meio de cultura (DERNER, 2017).

O cultivo em condições controladas, a distribuição eficiente da iluminação dentro do reator e a redução dos riscos de contaminação, seja por outras algas ou por insetos, resultam em uma produtividade volumétrica dos fotobiorreatores 8 vezes maior e uma concentração celular 16 vezes maior do que nos sistemas abertos (PEQUENO, 2012). Nesse cenário, o avanço na tecnologia de biorreatores representa um recurso com o objetivo de diminuir as despesas e aumentar a eficiência do processo de produção (EVENS *et al.*, 2000).

No entanto, os gastos envolvidos na construção, operação e manutenção são mais elevados, juntamente com a possibilidade de enfrentar outros problemas, como o superaquecimento (que requer um sistema de resfriamento), entupimento e armazenamento de oxigênio dentro do reator (BRENNAN; OWENDE, 2010).

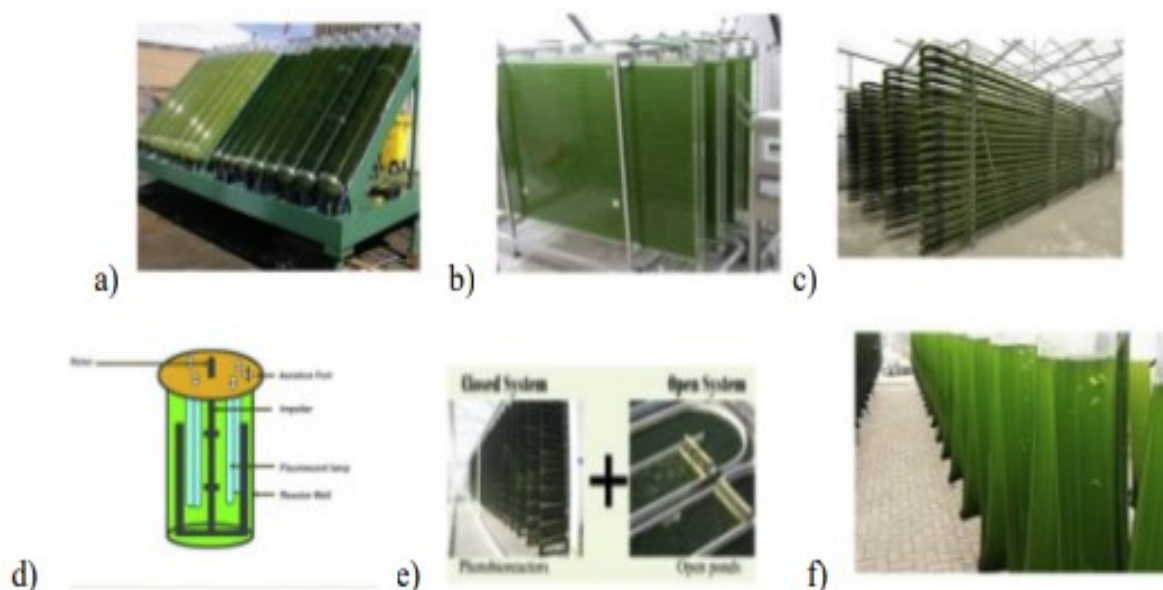
Vários modelos de fotobiorreatores fechados já foram previamente estudados e implantados em larga escala. As diversas configurações disponíveis apresentam vantagens e

desvantagens, que, quando combinados com o tipo de alga a ser cultivada, resultam em maior ou menor eficiência diante dos parâmetros de estudos (KOCHEN, 2010).

Diferentes formas de fotobiorreatores podem ser encontrados, incluindo o reator tubular vertical, o reator tubular horizontal, o reator tubular helicoidal, o reator em placas (com uma área aberta para trocas gasosas) e o reator tipo fermentador com iluminação interna (DASGUPTA *et al.*, 2010).

A Figura 8 apresenta outras formas de sistemas de cultivo da Spirulina, os quais serão minuciosamente explicados no Quadro 2, destacando as perspectivas e limitações de cada sistema.

Figura 8 - Ilustração dos sistemas. a) Coluna vertical PBR. b) Placa plana PBR; c) PBR tubular; d) PBR Iluminado Internamente, e) Sistema híbrido; f) Sacos de polietileno.



Fonte: SONI; SUDHAKAR; RANA, 2017.

Quadro 2 - Perspectivas e limitações de alguns sistemas de cultivo de Spirulina.

Sistemas de cultura	Dimensões	Taxa de Crescimento específico	Perspectivas	Limitações
Coluna vertical PBR	0,2 m de diâmetro e 4 m de altura da coluna	$0,015 \pm 0,002 \text{ h}^{-1}$	Alta transferência de massa, boa mistura com baixo estresse de cisalhamento, baixo consumo de energia, alto potencial de	Pequena área de superfície de iluminação, construção requer materiais sofisticados, tensão

			escalabilidade, fácil de esterilizar, bom para imobilização de microalgas, foto inibição reduzida e foto-oxidação.	de cisalhamento para culturas de microalgas, diminuição da área de superfície de iluminação mediante ampliação.
Placa plana PBR	0,07 m de largura, 1,5 m de altura, 2,5 m de comprimento Volume 250lts Produtividade - 1,0 g / L por dia		Grande área de superfície de iluminação, adequada para culturas ao ar livre, boa para imobilização de microalgas, bom caminho para a luz, boas produtividades de biomassa, relativamente barata, fácil de limpar, facilmente temperada e com baixo teor de oxigênio.	A expansão requer muitos compartimentos e materiais de suporte, dificuldade em controlar a temperatura da cultura, algum grau de crescimento da parede, a possibilidade de estresse hidrodinâmico em algumas linhagens de microalgas.
PBR tubular	D = 3-10 cm	0,055 h ⁻¹	Grande área de superfície de iluminação, adequada para culturas ao ar livre, produtividades razoavelmente boas de biomassa, relativamente baratas.	Gradientes de pH, oxigênio dissolvido e CO ₂ ao longo dos tubos, incrustações, algum grau de crescimento da parede, requerem um grande espaço na terra.
PBR Iluminado Internamente	Não especificado		Grande área de superfície de iluminação, pode utilizar o sistema de luz solar e artificial, a	O cultivo em massa de microalgas ao ar livre exige alguns esforços técnicos.

			contaminação pode ser minimizada neste sistema.	
Sistema híbrido	Não especificado		Minimiza a contaminação microbiana, maximiza a biomassa e o rendimento do produto, maximiza o fornecimento de CO ₂ .	Requer grandes áreas de terra e alguns esforços técnicos.
Sacos de polietileno	D <30 cm	0,20 dia ⁻¹	Flexibilidade do local, materiais de baixo custo, fácil escalabilidade, ótima exposição à luz, isolamento da colheita de predadores, concentração muito alta de biomassa, baixo consumo de energia e proteção climática eficaz.	As culturas de sacolas de polietileno têm uma vida útil relativamente curta, porque a superfície interna atrai detritos e bactérias da cultura, que coletivamente reduzem a penetração da luz e são uma fonte de contaminação.

Fonte: Adaptado de SONI; SUDHAKAR; RANA, 2017.

Nesse cenário, existe uma busca contínua por novos fotobiorreatores visando melhorar os cultivos de microalgas. O Quadro 3 apresenta uma comparação entre os sistemas de cultivos aberto e fechado em relação a vários parâmetros.

Quadro 3 - Comparação das características dos sistemas aberto e fechado.

Parâmetro	Sistemas abertos (Tanques raceways)	Sistemas fechados (Fotobiorreatores)
Espaço requerido	Muito	Pouco
Risco de contaminação	Alto	Médio a baixo
Perda de água	Alta	Baixa
Concentração de oxigênio	Usualmente baixa	Alta; requer continua remoção
Perda de CO ₂	Alta	Muito baixa
Reprodutibilidade	Média a baixa	Alta
Controle de processo	Limitado	Alto

Desgaste do material de construção	Baixo	Usualmente baixo
Dependência de condições climáticas	Alto	Baixa
Controle da temperatura	Baixo	Alto
Custo de colheita	Alto	Médio
Manutenção	Fácil	Difícil
Custo de construção	Médio	Alto
Concentração de biomassa na colheita	Baixa	Alta

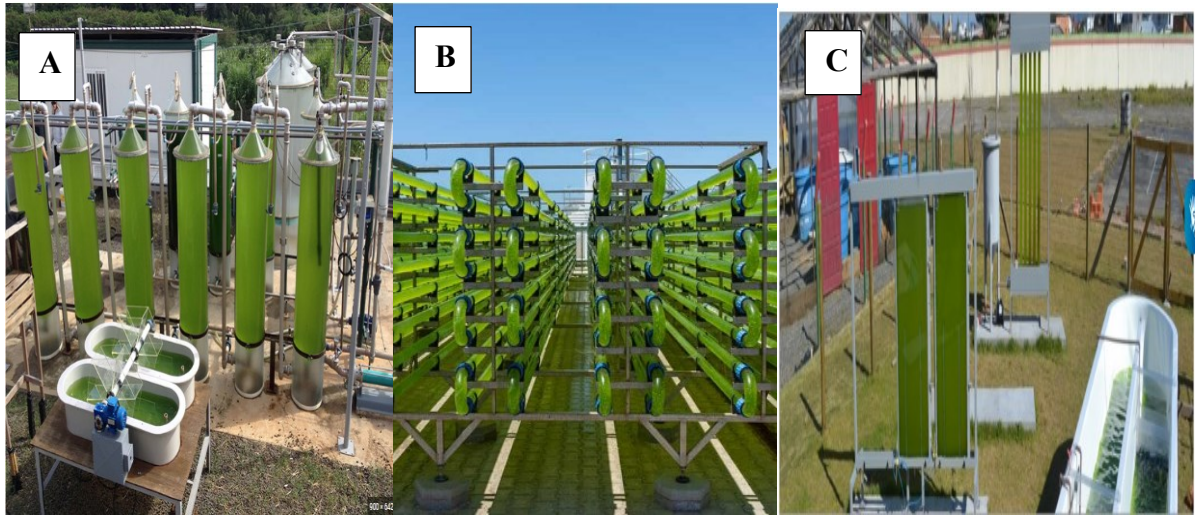
Fonte: Adaptado FRANCO *et al.*, (2013); LEITE; ABDELAZIZ; HALLENBECK, 2013.

4.6.3. Sistemas híbridos

Os sistemas híbridos unem os métodos de cultivo fechados e abertos (Figura 9), foram concebidos com a concepção de otimizar as vantagens e reduzir as desvantagens presentes de cada um desses sistemas quando aplicados separadamente (RODOLFI *et al.*, 2008). O cultivo híbrido é realizado em duas fases distintas: inicialmente, as células são cultivadas em um ambiente fechado com condições controladas para reduzir a possibilidade de contaminação por outros organismos e incentivar a divisão celular. Posteriormente, a segunda fase, realizada em um ambiente aberto, com o propósito de submetê-las a condições de estresse de nutrientes e estimulando a produção de substâncias desejadas, como os lipídios (HUNTLEY; REDALJE, 2007). Na etapa inicial de produção, quando ocorre em fotobiorreatores, há uma concentração significativamente maior de microalgas no meio de cultivo, o qual se encontra em estado puro. Isso facilita a rápida ocupação e o domínio nos ambientes de sistemas abertos, reduzindo o aparecimento de espécies não desejadas (AZEREDO, 2012).

Nesta situação, Demirbas (2011) declara que a utilização combinada de sistemas abertos juntamente com sistemas fechados de cultivo, como os fotobiorreatores, permite alcançar resultados melhores. De acordo com o autor, a integração desses sistemas provavelmente é uma opção mais racional para proporcionar uma relação custo-benefício mais vantajosa.

Figura 9 - Sistemas híbridos para o cultivo de microalgas.



Fonte: Próprio autor – A - <https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/microalga-brasileira-tratar-efluentes/>, B - <https://barlavento.sapo.pt/destaque/necton-cria-tecnologia-que-recicla-agua-das-estufas-enquanto-produz-microalgas>, C - <https://www.udesc.br/ceres/lcba/linhasdepesquisa>

4.7 Spirulina

O gênero *Spirulina* (*Arthrospira*) possui várias espécies, particularmente a *S. platensis* (Figura 10) que possui enorme interesse comercial e sua capacidade econômica vem sendo bastante reconhecida. Fatores positivos que incentivam a produção e o estudo desse tipo de microalga incluem algumas características únicas da *S. platensis*, como seu alto teor de proteína e alta digestibilidade, baixo custo de extração de componentes, separação de biomassa, tolerância a ambientes alcalinos e o tamanho de seus agregados celulares relativamente grandes (HENRIKSON, 1989).

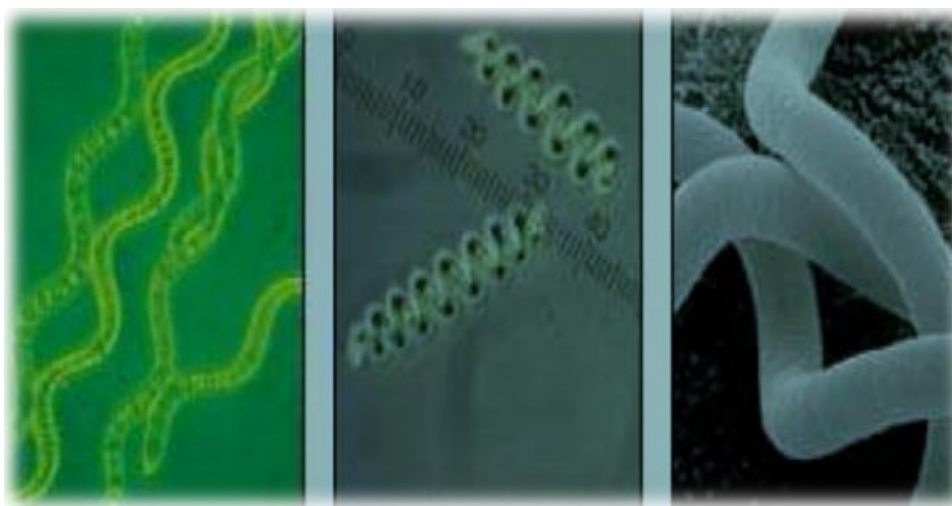
Figura 10 - *Spirulina platensis*.



Fonte: SCHEFLER, 2018.

A *Spirulina* é uma microalga fotoautotrófica filamentosa que vive em ambientes como pântanos, solos, lagos alcalinos e águas marinhas, salobras e doces (RICHMOND, 1990). Essa microalga possui livre flutuação de modo geral, ocorrendo naturalmente em lagos tropicais e subtropicais com pH e concentrações de carbono e bicarbonato elevados, e possui composição adequada para uso como suplemento alimentar, com potencial para ser utilizado no combate à desnutrição (FOX, 1996). Encontra-se no formato de filamentos (tricomas) composto por células cilíndricas, não ramificadas, helicoidais e móveis, que variam em tamanho de 1 e 12 micrómetros de diâmetro (Figura 11). Sendo um dos microrganismos mais habituais e numerosos em muitos lagos alcalinos localizados na África e na América (RICHMOND, 1983).

Figura 11 - Fotografia microscópica da microalga *Spirulina*.



Fonte: SHIMAMATSU, 2004.

Diversas microalgas são utilizadas para aumentar a capacidade nutricional de alimentos convencionais, resultando de forma positiva na saúde dos seres humanos, devido suas características bioquímicas, esses microrganismos despertaram atenção pela sua grande produção proteica que dependendo das espécies podem chegar a mais de 50% de material proteico, entres essas espécies está a *Spirulina* (BECKER, 1994).

A *Spirulina platensis*, como outras microalgas se destaca por possuir alto teor de proteínas (50-70%), aminoácidos essenciais, vitaminas (especialmente B12), sais minerais, pigmentos (carotenoides, ficocianinas e clorofilas), ácidos graxos poliinsaturadas (incluindo os ácidos graxos ômega-3) e outros compostos biológicos ativos (AARONSON; BERNER; DUBINSKY, 1980; BOROWITZKA, 1999; COLLA *et al.*, 2007).

Essa microalga por responder bem à radiação solar intensa, altas temperaturas, crescer em águas com alcalinidade e alta salinidade, tornando-se uma alternativa na produção de

biomassa alimentar em regiões áridas com escassez hídrica. Ela adquire energia da luz através da fotossíntese para fixar o carbono necessário para construir a biomassa. A microalga libera oxigênio na atmosfera como subproduto da reação (CHRONAKIS, 2001).

Apesar da *Spirulina* ter como o principal método para obter o carbono seja a fotossíntese, ela também possui a característica de ser mixotrófica, o que significa que pode obter energia de compostos orgânicos (MARQUEZ *et al.*, 1993). Para o crescimento necessita de alguns nutrientes que incluem carbono, nitrogênio, fósforo, ferro e outros oligoelementos (VONSHAK, 1997).

A *Spirulina* transforma os nutrientes do meio em material celular liberando oxigênio por meio da fotossíntese (COLLA, 2002). O envoltório celular da *Spirulina* é mais semelhante à de uma bactéria do que de uma alga, isto é, como suas paredes celulares são feitas de mucopolissacarídeos em vez de celulose, como as microalgas eucarióticas, elas são mais digeríveis, demonstrando benefício no aproveitamento dos nutrientes, preservação da integridade dos constituintes como vitaminas e ácidos graxos poliinsaturados, que podem melhorar a qualidade da proteína (TOMASELLI, 1993).

Os componentes da parede celular da *Spirulina*, que incluem glucosaminas e um ácido murâmico ligado a peptídeos, são semelhantes aos das bactérias gram-positivas. Apesar de não ser digeríveis, essas paredes possuem fragilidades e permitem que o conteúdo celular seja facilmente acessível às enzimas digestivas, em comparação com organismos com paredes celulares feitas de celulose, esta é uma vantagem significativa (isto é, leveduras, *Chlorella*), (FALQUET, 1997).

Segundo Ambrosi (2008), a *Spirulina* spp. tem a capacidade de combater doenças provocada por desnutrição, câncer, vírus, diabetes, hipercolesterolemia e outras doenças, além de melhorar a saúde no geral, tem se tornando um destaque o seu uso como nutracêutico e gera interesse em seu potencial como fonte de produtos farmacêuticos. Embora tenha sido por muito tempo consumido como alimento pelo povo da África e da Ásia, apenas no final do século passado, quando começou a ser utilizada como suplemento nutricional devido à presença de várias substâncias benéficas para o ser humano, é que os cientistas descobriram os benefícios desta microalga (BEZERRA, 2006).

O crescimento populacional global e a demanda por suplementos proteicos insuficientes levaram os pesquisadores a procurar fontes alternativas de proteínas. Este objetivo poderia ser alcançado com a *Spirulina platensis* (SPOLAORE *et al.*, 2006). Juntamente com nutrientes básicos, a incorporação de sua biomassa fornece componentes bioativos de extrema

importância para a alimentação humana (ANUPAMA; RAVINDRA, 2000; IYER; DHURV; MANI, 2008).

Diversas microalgas como *Chlorella* e *Spirulina* possuem o certificado GRAS (Generally Recognized As Safe) desde 2003, o qual foi aprovada para ser utilizada como alimento sem risco a saúde. A FDA (Food and Drug Administration) aceitou a *Spirulina* legalmente em 23 de junho de 1981, o qual declarou “A *Spirulina* é uma fonte de proteínas e contém várias vitaminas e minerais. Ela pode ser legalmente comercializada como alimento ou complemento alimentar desde que precisamente qualificada e livre de contaminantes e de adulteração com substâncias” (MORAES; MIRANDA; COSTA, 2006).

A FDA (Food and Drug Administration) autorizou legalmente a *Spirulina platensis* como suplemento nutricional na Europa, Estados Unidos e Japão sem causar efeitos tóxicos sobre o organismo (BELAY *et al.*, 1993; VON DER WEID; DILLON; FALQUET, 2000). A FDA sugere que o consumo diário dessa microalga seja de acordo com aporte físico de quem vai consumi-la, com variação de 0,1 a 6g e a média de consumo de 3g/indivíduo/dia (FDA, 2003).

No Brasil, desde que o produto final ao qual o microrganismo foi adicionado esteja registrado adequadamente, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) permite sua comercialização (HENRIKSON, 1994). Desde de 2009, a *Spirulina* é considerada um alimento e seu consumo diário de 1,6g/indivíduo e limitado pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (BRASIL, 2009).

4.8 Características nutricionais

A utilização da espécie *Spirulina* na alimentação foram descritos na época da pré-história, com base em informações de que caçadores de tribos colhiam e consumiam de forma cruas ou cozidas as massas gelatinosas de algas verde-azuladas. Essa população, também consumiram algas filamentosas colhidas de lagos alcalinos, que foram classificadas sob gênero *Spirulina*, para complementar suas dietas (RICHMOND, 1990).

Entre as propriedades nutricionais da *Spirulina*, a mesma apresenta elevado nível protéico, apresentando alto valor nutricional do que qualquer outra fonte de alimento (Quadro 4) e possuindo em relação a proteína de origem animal um custo menor (OLIVEIRA *et al.*, 2013). A melhoria da funcionalidade é devido possui propriedades e compostos como os fenólicos, tocoferol e pigmentos, incluindo os carotenoides, ficocianina e clorofila (MACHADO *et al.*, 2014).

Quadro 4 - Percentuais de proteínas presentes em alguns alimentos.

Alimento	Proteína Bruta (% base seca)
Spirulina em pó	65
Ovo de galinha	47
Levedura de cerveja	45
Leite em pó desnatado	37
Queijo	36
Bife Bovino	22
Peixe	22

Fonte: PERON, 2015.

A diversidade de nutrientes presentes na Spirulina determina sua importância nutricional, incluindo alguns que não são produzidos pelo corpo humano. Devido a essa diversidade, a Spirulina é considerada um alimento completo, sendo o alimento com a maior concentração de de nutrientes diferentes por fração de peso (PHANG *et al.*, 2000). Em sua composição, conseguimos proteínas (60-70%), carboidratos (20%), lipídios (8%), minerais, vitaminas, pigmentos, compostos fenólicos, ácido γ -linolênico e varios ácidos graxos essenciais (BELAY *et al.*, 1993; VON DER WEID; DILLON; FALQUET, 2000).

A biomassa da Spirulina é predominantemente vendida como um suplemento alimentar na dieta de seres humanos e animais, devido à sua composição química (conforme indicado na Quadro 5). Sua segurança como alimento tem sido comprovada ao longo do tempo, através do consumo contínuo, além de vários estudos toxicológicos realizados (CHAMORRO *et al.*, 2002).

Quadro 5 - Composição da biomassa da Spirulina.

Proteínas	55 – 70%
Lípidios	5 – 15%
Carboidratos	10 – 25%
Minerais	7%
Água	3%

Fonte: Adpatada de EARTHRIS FARM, 2009.

A Spirulina contém aproximadamente 60-70% do seu peso seco em proteínas, que são de alta qualidade e possuem uma combinação equilibrada de aminoácidos essenciais. Além disso, essas proteínas são facilmente digeríveis, com uma taxa de digestibilidade de cerca de

70%. No que diz respeito à facilidade de digestão, a ausência de celulose na parede celular das cianobactérias, ao contrário das microalgas eucarióticas, contribui para uma maior absorção de nutrientes, o que pode resultar em uma melhoria na qualidade das proteínas (HABIB *et al.*, 2008).

A *Spirulina* contém diversos aminoácidos não essenciais, como alanina, arginina, ácido aspártico, cistina, ácido glutâmico, glicina, histidina, prolina, serina e tirosina. Além disso, ela também possui aminoácidos essenciais como isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina e valina. Para satisfazer as demandas diárias de aminoácidos essenciais de um adulto saudável, seria preciso ingerir 25 gramas por dia de *Spirulina* spp. (BELAY *et al.*, 1993; HENRIKSON, 1995).

A biomassa *Spirulina* contém vários aminoácidos importantes, como destaque a lisina e o triptofano, que não são encontrados em muitas outras fontes de proteína encontradas na alimentação (CLÉMENT; GIDDEY; MENZI, 1967; DEWI; AMALIA; MEL, 2016; MADKOUR; KAMIL; NASR, 2012). O Quadro 6 mostra os alguns aminoácidos encontrados na biomassa da *Spirulina*, juntamente com suas quantidades correspondentes.

Quadro 6 - Aminoácidos presentes na biomassa da *Spirulina*.

Aminoácido	Abreviação	Quantidade (g.100g⁻¹)
Alanina	Ala	9,5
Arginina	Arg	7,3
Ácido aspártico	Asp	11,8
Cisteína	Cis	0,9
Fenilalanina	Fen	5,3
Glicina	Gli	5,7
Ácido glutâmico	Glu	10,3
Histidina	His	2,2
Isoleucina	Ile	6,7
Leucina	Leu	9,8
Lisina	Lis	4,8
Metionina	Met	2,5
Prolina	Pro	4,2
Serina	Ser	5,1
Tirosina	Tir	5,3
Treonina	Ter	6,2

Triptofano	Trp	0,3
Valina	Val	7,1

Fonte: Adaptado de BECKER, 2007.

Os carboidratos são uma das principais fontes de energia e nutrientes essenciais encontrados na natureza. As algas têm a capacidade de armazenar uma alta quantidade significativa de carboidratos (HO; CHEN; CHANG, 2012). Após as proteínas, os carboidratos são os macronutrientes mais abundantes, seguidos pelos lipídios que se apresentam tanto na forma de ácidos graxos saturados quanto insaturados (FERREIRA, 2020).

Foi comprovado que os carboidratos presentes na Spirulina, tais como glicose, frutose, sacarose, glicerol, sorbitol e manitol, podem aumentar em torno de 15 a 20%, dependendo das condições de cultivo (MATOS *et al.*, 2017). Além disso, a biomassa de Spirulina contém mio-inositol, um carboidrato que fornece fósforo orgânico e nitrogênio, bem como espirulan de cálcio (Ca-SP) e o polissacarídeo imunomodulador conhecido como Immulina (PUGH *et al.*, 2001; PYNE; BHATTACHARJEE; SRIVASTAV, 2017).

No que se refere à estrutura dos carboidratos, os polissacarídeos digeríveis constituem a maior parte (86%) da parede celular da Spirulina (HABIB *et al.*, 2008). Os polissacarídeos extracelulares, também conhecidos como exopolissacarídeos (EPS), são recuperáveis de maneira simples e apresentam um grande potencial de aplicação nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia como substâncias estabilizantes, emulsificantes e espessantes (GOMEZ, 2007).

Os lipídios predominantes nas cianobactérias são glicerolipídios, glicolipídios e fosfolipídios. Se houver limitações de fósforo ou regulação da intensidade de luz, os níveis desses lipídios aumentam, o que pode modificar a composição final da biomassa da Spirulina (MARKOU, 2012; ZHAI *et al.*, 2017). A quantidade de lipídios presentes na Spirulina pode oscilar de 2,5% a 13%, com ênfase no ácido γ -linolênico (GLA) (GROSSHAGAUER; KRAEMER; SOMOZA, 2020; SEGHIRI; KHARBACH; ESSAMRI, 2019; SPOLAORE *et al.*, 2006; VONSHAK, 2002).

A Spirulina contém minerais essenciais, como cálcio (0,13 a 0,14%), fósforo (0,67 a 0,9%) e potássio (0,64 a 1,54%). Além disso, também são encontrados magnésio, ferro, zinco, cobre, cromo, manganês e sódio. Quanto às vitaminas, a Spirulina é rica em vitamina A na forma de β -caroteno, vitamina C, vitamina D e vitaminas do complexo B (B1, B2, B3, B6, B9 e B12), biotina, ácido fólico, inositol, vitamina E e ácido pantotênico (HENRIKSON, 1994;

RICHMOND, 1990).

Os pigmentos presentes na *Spirulina* incluem ficocianina (20%) e carotenoides (0,37%) (HENRIKSON, 1994; RICHMOND, 1990). A *Spirulina*, como muitas outras cianobactérias, contém altos níveis de ficobiliproteínas, que são classificados como ficoeritrina, ficocianina e aloficocianina. Essas duas últimas são especialmente valiosas comercialmente e são amplamente utilizadas como corantes em alimentos. Além disso, as ficocianinas têm potencial para serem usadas como corantes em medicamentos e cosméticos, além de servirem como marcadores bioquímicos em diferentes aplicações (BEGUM *et al.*, 2015; LEE, 2012; RICHMOND, 2004; VONSHAK, 2002).

A *Spirulina* possui diversos pigmentos lipofílicos com propriedades bioativas diversas. Os principais são a clorofila-a, representando de 9% a 12% das frações lipídicas, e o β -caroteno. Além disso, na *Spirulina*, encontram-se outros terpenóides como xantofilas, echinenona, mixoxantofila, zeaxantina, cantaxantina, β -criptoxantina e oscilaxantina (SÁNCHEZ *et al.*, 2003).

Os ácidos orgânicos encontrados na *Spirulina* spp. são compostos fenólicos como o ácido caféico, clorogênico, salicílico, sináptico e trans-cinâmico. Essas substâncias operam de forma individual ou combinada, agindo como antioxidantes tanto em sistemas vivos quanto em experimentos *in vitro* (ESTRADA; BESCÓS; VILLAE DEL FRESNO, 2001; MIRANDA *et al.*, 1998).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), os ácidos graxos considerados essenciais incluem o ácido linoléico, o alfa-linolênico, o gama-linolênico e o araquidônico (ALONSO; MAROTO, 2000). Um dos principais ácidos graxos encontrados na *Spirulina* é o ácido gama-linolênico, que corresponde a aproximadamente 20 a 25% dos lipídios presentes nessa substância (HENRIKSON, 1995). Uma das razões para a atividade antioxidante atribuída à *Spirulina* é devido a este ácido graxo, que está relacionado à diminuição do nível de lipoproteína de baixa densidade (LDL) em indivíduos com hipercolesterolemia (CHOPRA; BISHNOI, 2008; ISHIKAWA *et al.*, 1989; JOVENTINO *et al.*, 2012; SAJILATA; SINGHAL; KAMAT, 2008).

A média da composição do pó comercial da *Spirulina* (Figura 12) é constituída por proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais, umidade, aminoácidos essenciais, vitaminas (principalmente B12), pigmentos antioxidantes (ficobiliproteínas e carotenoides) e polissacarídeos. A análise também revela que este produto possui baixo teor de gordura, não contém colesterol e apresenta baixo valor calórico, conforme indicado na Quadro 7 (FAO, 2008; PERON, 2015).

Figura 12 - Spirulina em pó.

Fonte: ZONA CEREALISTA, 2020.

No Quadro 7, é possível examinar a estrutura dos macronutrientes e micronutrientes presentes em 100g de Spirulina em forma de pó.

Quadro 7 - Composição de micronutrientes e macronutrientes da Spirulina em pó.

Macronutrientes	Por 100g	Vitaminas	Por 100g
Calorias	373 Kcal	Vitamina A (100% betacaroteno)	352.000 IU
Proteínas	63 g	Vitamina K	1090 µg
Gorduras Totais	4,3 g	Tiamina HCL (Vitamina B1)	0,5 mg
Saturada	1,95 g	Riboflavina (Vitamina B2)	4,53 mg
Poliinsaturada	1,93 g	Niacina (Vitamina B3)	14,9 mg
Monoinsaturada	0,26 g	Vitamina B6	0,96 mg
Colesterol	< 0,1 mg	Vitamina B12	168 µg
Carboidratos Totais	17, 8 g	Minerais	
Açúcares	1,3 g	Cálcio	468 mg
Lactose	< 0,1 g	Ferro	87, 2 mg
Fibra Dietética	7,7 g	Fósforo	961 mg
Aminoácidos essenciais		Iodo	142 µg
Histina	1000 mg	Magnésio	3149 mg
Isoleucina	3500 mg	Zinco	1,45 mg
Leucina	5380 mg	Selênio	25,5 µg
Lisina	2960 mg	Cobre	0,47 mg
Metionina	1170 mg	Manganês	3,26 mg
Fenilalanina	2750 mg	Crômio	< 400 µg
Treonina	2860 mg	Potássio	1,66 mg

Triptofano	1090 mg	Sódio	641 mg
Valina	3940 mg	Fitoquímicos	
Aminoácidos não essenciais		Fiocianina	17,2 %
Alanina	4590 mg	Clorofila	1,2 %
Arginina	4310 mg	Superóxido - dismutase	531.000 IU
Ácido Aspártico	5990 mg	Ácido γ -linolênico (GLA)	1080 mg

Fonte: Adaptado de PERON, 2015.

É possível observar que a Spirulina possui uma composição nutricional interessante. Conforme evidenciado no Quadro 7, os macronutrientes mais abundantes na Spirulina são as proteínas, que correspondem a aproximadamente 60% de sua massa seca. Essas proteínas estão presentes tanto na forma de aminoácidos essenciais quanto não essenciais. Após as proteínas, os carboidratos são os macronutrientes mais presentes, seguidos pelos lipídios, que consistem em ácidos graxos saturados e insaturados. Além disso, a Spirulina é rica em fibras alimentares, com aproximadamente 8% de seu peso seco (FERREIRA, 2020).

Além dos nutrientes mencionados, existe uma vasta capacidade de gerar uma variedade de produtos valiosos a partir de microalgas, tanto dentro como fora das células. Isso inclui enzimas como celulasas, proteases, galactosidases, lipases, fosfatases e outras, que têm potencial aplicação em setores alimentícios e químicos (BRASIL *et al.*, 2017; ELLEUCH *et al.*, 2021; VINGIANI *et al.*, 2019).

Portanto, pode-se afirmar que a Spirulina é um produto alimentar de alta qualidade devido à sua abundância de nutrientes essenciais, tanto em termos de macronutrientes quanto de micronutrientes (GRONEVALT, 2012). A Spirulina foi designada como o principal superalimento global, devido às suas propriedades nutricionais ser completa (MOORHEAD; CAPELLI; CYSEWSKI, 2013), sendo reconhecida como a melhor opção de "alimento do futuro" devido à sua sustentabilidade ecológica (SOTIROUDIS, T; SOTIROUDIS, G, 2013).

4.9 Classificação taxonômica

As microalgas constituem um conjunto diversificado de organismos que abrange todos os microrganismos capazes de realizar fotossíntese, independentemente de serem eucarióticos ou procarióticos. Geralmente são unicelulares, de características gram-negativas, apresentam coloração devido à existência de pigmentos fotossintéticos e vivem predominantemente em ambientes aquáticos (OLAIZOLA, 2003; TOMASELLI, 1997).

As microalgas procarióticas conhecidas como cianobactérias, anteriormente chamadas de algas azuis-esverdeadas. A estrutura das células e o processo de fotossíntese desses microrganismos se assemelham aos encontrados nos vegetais (LEHNINGER; NELSON; COX, 1995).

O conceito de cianobactérias confirma que essas algas procarióticas possuem uma relação mais próxima com as bactérias procarióticas do que com as algas eucarióticas (BOONE; CASTENHOLZ; GARRITY, 2001). O filo Cyanobacteria é composto por diversas espécies bacterianas e está classificado no Reino Monera. A *Arthrospira* (Spirulina) é uma das espécies desse grupo e exibe uma coloração verde-azulada (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

O método empregado para discriminar as cianobactérias é baseado em suas características fenotípicas, recentemente apoiadas por dados ultra-estruturais e moleculares. Atualmente 3 ordens de cianobactérias filamentosas são identificadas: Oscillatoriales, Nostocales e Stigonematales. A ordem Oscillatoriales se diferencia ao não produzir heterocistos e nem aquinetos. É importante destacar que esta ordem inclui a família Phormidiaceae, que engloba o gênero *Arthrospira*, e a família Pseudanabaenaceae, que inclui o gênero *Spirulina* (KOMARÉK; KOMÁRKOVÁ; KLING, 2003).

Pertencente à ordem Oscillatoriales, a *Spirulina* é um gênero de cianobactéria microscópica que possui coloração verde-azulada. Ela é unicelular, fotossintética e filamentosa, sendo composta por tricomas em formato espiral de 5-6 μm de largura e 20-200 μm de comprimento. O nome do gênero deriva dessa estrutura em espiral. Essa cianobactéria é encontrada em ambientes aquáticos alcalinos (HOFF; SNELL, 1999; SHIMAMATSU, 2004). As espécies mais notáveis dentro do gênero incluem *S. platensis*, seguida por *S. maxima* e *S. fusiformes* (COZZA; COSTA, 2000; RICHMOND; SOEDER, 1986).

O gênero *Arthrospira* apresenta tricomas que possuem uma forma espiralada e estão livres, o revestimento de mucilagem, fino e incolor é raro ocorrer. Como as células não são comprimidas nas paredes transversais (ou comprimidas muito suavemente), que são claramente observáveis neste gênero. No gênero *Spirulina*, as paredes transversais somente podem ser observadas utilizando certas técnicas de coloração em microscopia óptica. Na sua forma, o comprimento é inferior à largura, sendo mais longas que largas nas *Spirulinas*. Dificilmente móveis por meio de rotação (*Spirulina* demonstra movimento intenso, girando tanto no sentido horário quanto no anti-horário). Ela contém aerótopos, que são conjuntos de vesículas de gás, não presentes na *Spirulina*. Apresenta um padrão específico de poros em sua membrana, organizados em uma única linha ao redor da célula (no gênero *Spirulina*, que possui múltiplas linhas). As células apicais dos tricomas possuem formas arredondadas ou cônicas. A divisão se

dá através das células necridiais, as quais estão ausentes na *Spirulina*, de maneira que ocorre no sentido perpendicularmente ao eixo horizontal do tricoma. As hormogônias formadas a partir dessa divisão não possuem capacidade de movimento, enquanto no gênero *Spirulina*, as hormogônias são móveis e se formam do surgimento de uma lamela fina entre as células vizinhas (KOMARÉK; KOMÁRKOVÁ; KLING, 2003).

Em 1827, a partir de uma amostra de água doce, PJ Turpin realizou o isolamento da *Arthrospira platensis* (CIFERRI, 1983). No ano de 1844, nas proximidades da cidade de Montevidéu, foi observada por Wittrock e Nordstedt a existência de uma microalga em forma helicoidal, septada, de cor verde-azulada, conhecida como *Spirulina*. No entanto, somente em 1852, Stizenberger produziu o primeiro documento de classificação taxonômica. Ele nomeou o gênero recente de *Arthrospira* de acordo com a existência de septos, formato helicoidal e organização multicelular. Em 1892, Gomont confirmou as pesquisas realizadas por Stizenberger. Este autor atribuiu a características sem septo ao gênero *Spirulina*, enquanto associou a forma com septo ao gênero *Arthrospira*. No ano de 1932, Geitler reclassificou os membros de ambos os gêneros como *Spirulina* devido à sua morfologia helicoidal, sem levar em conta a presença do septo, mas a semelhança morfológica. Em 1989, ocorreu a classificação desses microrganismos em dois gêneros, seguindo a proposta feita por Gomont em 1892, sendo essa classificação atualmente reconhecida (SANCHEZ *et al.*, 2003).

Hoje em dia, muitos pesquisadores concordam em classificar *Arthrospira* e *Spirulina* como dois gêneros distintos, uma distinção que é respaldada por características morfológicas e genéticas. No entanto, é importante ressaltar que a biomassa de *Arthrospira* que é produzida comercialmente, ainda é comumente referida como *Spirulina* (ARAÚJO; FACCHINETTI; SANTOS, 2003; KOMARÉK; KOMÁRKOVÁ; KLING, 2003).

Devido à *Arthrospira platensis* ter tido sua classificação original no gênero *Spirulina*, é possível identificá-la também como *Spirulina platensis*. Essa nomenclatura é usada principalmente por razões de tradição, práticas e tecnológicas do que de taxonomia, já que esse microrganismo tem sido extremamente reconhecido no mercado comercial por um longo período. Dessa forma, é provável que o termo *S. platensis* continue em uso. No entanto, é importante destacar que esses gêneros são distintos e possuem uma distância filogenética, apesar de apresentarem a mesma a forma helicoidal (VONSHAK, 1997).

De acordo com Tomaselli (1997), a *Spirulina* passou por uma reclassificação e agora é reconhecida oficialmente como *Arthrospira* sp. no *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (CASTENHOLZ, 1989). No entanto, é mais frequente encontrar o termo *Spirulina* sendo usado

na literatura. O Quadro 8 apresenta a classificação taxonômica do microrganismo *Arthrospira (Spirulina) platensis*.

Quadro 8 - Classificação taxonômica *Arthrospira (Spirulina) platensis*.

Domínio	Procariota
Reino	Bactéria
Sub Reino	Negibactéria
Filo	Cianobactéria
Classe	Cianoficeae
Subclasse	Oscillatorioophycideae
Ordem	Oscillatoriales
Família	Phormidiaceae
Gênero	<i>Arthrospira (Spirulina)</i>
Espécie	<i>Arthrospira (Spirulina) platensis</i>

Fonte: Adaptado ALGAE BASE, 2009; NCBI, 2009.

4.10 Aplicação alimentícia

As microalgas são vistas como um recurso com grande potencial na indústria de alimentos devido às suas propriedades nutricionais. Além disso, os componentes nutricionais em questão variam de acordo com as espécies empregadas e as condições de crescimentos fornecidas, incluindo os fatores como a exposição à luz, temperatura e disponibilidade nutricionais (CAMACHO; MACEDO; MALCATA, 2019).

A exploração comercial das microalgas oferece atrativos diversificados devido à capacidade de permitir a obtenção de produtos de grande valor agregado. O cultivo de microalgas não entra em concorrência com a produção de alimentos, uma vez que não requer o uso de áreas de terra e água potável. Além disso, as microalgas podem ser empregadas na captura de carbono, contribuindo para a diminuição dos níveis de CO₂ na atmosfera (OLAIZOLA, 2003).

Diversas espécies de microalgas estão atualmente sendo cultivadas com fins comerciais em diversos países e com sua biomassa produzida sendo predominantemente utilizada na indústria alimentícia. Há um certo tempo, o uso de microalgas no mercado de alimentos funcionais, em países como França, Estados Unidos e China (MORDOR INTELLIGENCE, 2020).

Os alimentos funcionais representam uma tendência recente no mercado, e a *Spirulina*

tem sido utilizada para aumentar o teor de proteína e desenvolver novos produtos, ao mesmo tempo que se concentra em adotar tecnologias, cumprir padrões e atender aos requisitos legais (VAN'T LAND, 1991). O resultado de um produto recém-lançado está vinculado à capacidade da empresa em comunicar os benefícios esperados do alimento a um grupo específico de consumidores, ao mesmo tempo em que estabelece as características ideais do produto. Uma das estratégias para aumentar o valor de produtos alimentícios reside na utilização de novas ou distintas formas na aplicação de ingredientes, embalagens e métodos de produção (RICHMOND, 2004).

A demanda dos consumidores por alimentos que contenham ingredientes naturais e saudáveis está crescendo de forma constante. Como mencionado anteriormente, existem muitos benefícios em adicionar a Spirulina como componente em produtos alimentares, especialmente quando se trata de melhorar o valor nutricional dos alimentos. Além disso, é possível utilizar microalgas na elaboração de alimentos para aproveitar suas funcionalidades tecnológicas, como propriedades espumantes, emulsificantes, gelificantes e outras (BENELHADJ *et al.*, 2016).

Nos países como França, Estados Unidos, China e Tailândia, observa-se um crescimento significativo na utilização de microalgas na produção de massas, pães, iogurtes e bebidas (GUALTIERI; BARSANTI, 2006; RAGNI, 2008). No Brasil, a Spirulina é predominantemente comercializada como suplementos alimentares em forma de comprimidos, cápsulas e pó, sendo direcionada tanto para aqueles que se dedicam a atividades esportivas com regularidade quanto para aqueles indivíduos que buscam um estilo de vida saudável (POELMAN; DE PAUW; JEURISSEN, 1997). Com o objetivo de expandir sua presença no mercado brasileiro, estão sendo conduzidas pesquisas sobre a utilização dessa microalga em diversas categorias de alimentos (SAMPAIO *et al.*, 2016).

A inclusão da Spirulina na dieta alimentar ocorre devido à sua composição química, que, por conseguinte, oferece benefícios nutricionais e possivelmente funcionais para quem a consome (MORAIS, 2006). A alimentação tem sido assegurada por um longo período por meio do consumo e segurança da realização de diversos estudos de toxicologia (CHAMORRO *et al.*, 2002).

Dessa forma, inúmeras pesquisas foram conduzidas para analisar como os alimentos se comportam em termos de suas características físico-químicas após a inclusão da Spirulina, além disso, estão sendo detalhados o aspecto sensorial e a receptividade por parte dos consumidores em relação a esses produtos enriquecidos. Isso ocorre porque um dos desafios ao incorporar a Spirulina em formulações está relacionado ao seu sabor marcante (FERREIRA, 2020).

Uma pesquisa realizada por Lima *et al.* (2018) avaliaram aceitabilidade dos cookies que

continham *Arthrospira platensis* enriquecida em diferentes níveis de suplementação (1%, 3% e 5%). Sousa *et al.* (2018), realizaram uma análise das propriedades físico-química de polpa mista de ciriguela (*Spondias purpurea* L.) que foi misturada com *Arthrospira platensis* seca por meio do processo de liofilização. Moraes, Miranda e Costa (2006) conduziram uma pesquisa em que incorporaram *A. platensis* em biscoitos, com concentrações de 1%, 3% e 5%. Em seguida, através das análises centesimais, eles fazem comparação entre os biscoitos enriquecidos com as do biscoito de controle.

Salous *et al.* (2018), conduziram doze experimentos com o objetivo de aprimorar a fabricação de chocolates. Nesses experimentos, foram modificando as concentrações de cacau, *Spirulina máxima* e frutas desidratadas (abacaxi, banana e laranja). As proporções de cada ingrediente em cada formulação foram determinadas com base na avaliação dos provadores, com o objetivo de reduzir o sabor típico da Spirulina e aumentar a quantidade das frutas desidratadas.

Mira (2015) elaborou formulações diferentes de iogurte, algumas com e outras sem a incorporação de Spirulina, e conduziu uma análise comparativa entre os tipos de iogurte, incluindo iogurte natural sem lactose e iogurte grego natural. Yamaguchi *et al.* (2019) conduziram uma avaliação da influência da inclusão de microalgas em afetar o iogurte liofilizado. Foram realizados testes adicionando Spirulina tanto antes do processo de fermentação e secagem, quanto após o iogurte já ter passado por fermentação e liofilização.

Rodríguez (2018) criou uma bebida que incluiu cereais (Amaranto), Spirulina, frutas e foi adoçada com estévia. O estudo empregou um método de delineamento inteiramente casualizado (ACD) envolvendo 18 formulações iniciais, com várias proporções de Amaranto e Spirulina. Uma pesquisa conduzida por Omid, Sarhadi e Shahdadi (2018) investigou a utilização de um extrato da *Arthrospira platensis* como agente antioxidante no óleo de gergelim.

A utilização mais frequente das microalgas tem sido na aquicultura, sendo destinadas como alimento de forma direta ou indireta de para diversos animais como peixes, moluscos e crustáceos. Além de serem cultivadas para produzir biomassa, certas espécies de microalgas são criadas por sua capacidade produzir substâncias nutraceuticas, como os ácidos graxos poli-insaturados e os pigmentos que possuem propriedades terapêuticas. Elas também têm a possibilidade de serem comercializadas como suplementos alimentares em diferentes formatos, se apresentando como pó, tabletes, cápsulas e extratos, ou serem adicionadas a produtos alimentícios como massas, pães e iogurtes, sendo comercializadas em vários países (BOROWITZKA, 1999; DERNER, 2006).

Uma outra utilização da Spirulina na área de alimentos envolve a sua inclusão na

composição de alimentos destinados para animais. Vários estudos de cunho nutricional foram conduzidos para avaliar a inclusão da Spirulina em dietas de uma variedade de animais, tais como ratos, suínos, aves e bezerras. De forma geral, os animais aceitam bem a Spirulina, resultando em um ganho de peso e uma deposição de nitrogênio comparando as obtidas por outras fontes de proteína. Em camarões, lagostins e alevinos de diversas espécies de relevância comercial, o uso de Spirulina como biomassa resultou em um crescimento igual ou até superior quando comparado à ração convencional. Além disso, em algumas espécies, a maturidade sexual foi alcançada mais cedo, possibilitando um ciclo reprodutivo mais rápido (KARAM; SOCCOL, 2007).

Atualmente, essas substâncias são comercializadas como alimentação natural ou como suplementação alimentar, e estão disponíveis em diversas formas, como pó, tabletes, cápsulas e extratos. Além disso, são utilizadas em produtos alimentícios como massas, petiscos, doces, bebidas, entre outros, tanto para suplementação nutricional quanto como corantes naturais (BECKER, 2004; COLLA *et al.*, 2004; PULZ; GROSS, 2004).

As microalgas são transformadas em encapsulados enriquecidos com elevada concentração de vitaminas e proteínas para serem consumidas diretamente na alimentação humana, ou seu pó é utilizado na produção de alimentos industrializados, como biscoitos, massas, bebidas e doces (LOURENÇO, 2016).

Nesse contexto, observa-se que a Spirulina tem diversas possibilidades de utilização como componente na criação de novos produtos na indústria alimentícia, contribuindo para o aumento do valor nutricional dos produtos e representando uma alternativa viável para fortalecer alimentos destinados a população em situação de carência.

4.11 Propriedades nutraceuticas

Os alimentos funcionais e nutraceuticos frequentemente são considerados semelhantes, mas é fundamental preservar os alimentos funcionais em sua forma natural e incorporá-los à dieta para promover benefícios específicos à saúde. Além disso, essa prática ajuda a reduzir o risco de diversas doenças e a manter a qualidade de vida dos indivíduos (MORAES; COLLA, 2006). A propriedade nutraceutica refere-se à capacidade de um alimento ou de um componente extraído de um alimento em oferecer benefícios médicos e de saúde, incluindo a prevenção e tratamento de doenças. Esses produtos podem incluir desde nutrientes isolados, suplementos dietéticos em forma de cápsulas e planos alimentares, até produtos especialmente formulados

para promover a saúde, produtos à base de plantas e alimentos processados como cereais, sopas e bebidas (KWAK; JUKES, 2001).

Os ingredientes funcionais ou nutracêuticos podem ser agrupados em categorias como probióticos e prebióticos, alimentos ricos em enxofre e nitrogênio, pigmentos e vitaminas, compostos fenólicos, ácidos graxos poliinsaturados e fibras (MORAES; COLLA, 2006). Os efeitos positivos para a saúde provenientes do consumo de microalgas têm sido objeto de estudo e têm ganhado maior reconhecimento e valorização ao longo das últimas duas décadas, especialmente desde a incorporação de compostos probióticos (BARROW; SHAHIDI, 2008).

A Spirulina e seus componentes apresentam diversas propriedades nutricionais e terapêuticas que a tornam um suplemento alimentar excepcional. Ela é uma fonte promissora para ser usada na prevenção e tratamento de várias doenças, o que a torna uma alternativa eficaz para o desenvolvimento de produtos nutracêuticos. Além disso, ela se destaca como um microrganismo relevante no contexto dos alimentos funcionais (AMBROSI *et al.*, 2008). Os componentes nutritivos encontrados na biomassa dessa cianobactéria, especialmente em relação a proteínas, vitaminas e lipídios, têm sido alvo de interesse significativo devido aos seus potenciais benefícios para a saúde humana (ARAÚJO; FACCHINETTI; SANTOS, 2003).

Algumas propriedades da Spirulina indicam possíveis usos na área clínica, e diversos estudos demonstraram os benefícios terapêuticos desse microrganismo em pacientes que sofrem de várias doenças (RICHMOND, 1990). A Spirulina é considerada como um produto nutracêutico, com diversos efeitos positivos para a saúde, e vêm sendo destacada por sua capacidade de ajudar na prevenção de hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia, câncer, infecções virais, diabetes mellitus, doenças cardiovasculares e outras doenças metabólicas (ALI; SALEH, 2012).

4.11.1 Efeitos na Hiperlipidemia

A hiperlipidemia é caracterizada por uma série de problemas causados pelo excesso de substâncias como o colesterol, triacilgliceróis e lipoproteínas no sangue, sendo um fator significativo de risco no desenvolvimento de aterosclerose e doenças cardíacas. Ela pode surgir devido a fatores genéticos, condições clínicas diversas ou influências do ambiente, ou ainda como resultado da interação entre esses elementos (BRUNTON; LAZO; PARKER, 2006).

O primeiro registro de diminuição nos níveis de colesterol sérico devido ao consumo de *S. platensis* foi documentado em estudos com ratos por Devi e Venkataraman (1983).

Desde então, vários cientistas confirmaram esta descoberta em testes envolvendo animais e humanos. Em uma pesquisa com ratos conduzida por Kato *et al.* em 1984, foi observado um aumento nos níveis de colesterol total e fosfolipídios séricos devido uma dieta contendo 1% de colesterol. No entanto, esses níveis elevados foram significativamente diminuídos quando 16% de *S. platensis* foi adicionada à dieta anteriormente mencionada. Os resultados mostraram que esta microalga tem o potencial de prevenir desenvolvimento de hipercolesterolemia e aterosclerose, conforme demonstrado por estudos anteriores (BELAY *et al.*, 1993; KATO *et al.*, 1984).

É de conhecimento que a *S. maxima* contém substâncias como os compostos fenólicos, o β -caroteno e o tocoferol, os quais têm propriedades antioxidantes (MIRANDA *et al.*, 1998). Um estudo anterior realizado, revelou como o pigmento ficocianina exerce um efeito antioxidante na peroxidação lipídica em óleos vegetais (SOUZA *et al.*, 2006). A oxidação do LDL desempenha um papel fundamental no surgimento e progressão da aterosclerose, e várias pesquisas indicam que os antioxidantes podem reduzir a oxidação dessas lipoproteínas, impedindo, desse modo, o avanço da aterosclerose (MORIEL *et al.*, 1998).

Ao analisar os resultados da administração oral de Spirulina a 36 adultos ao longo de seis semanas (com uma dose diária de 4 g), foram observados resultados desenvolvidos em parâmetros séricos, como os níveis de lipídios, glicose e aminotransferases, bem como na pressão arterial, além de ter demonstrado um impacto hipolipidêmico notável, particularmente nos níveis de triacilgliceróis e colesterol LDL, e com efeitos indiretos também sobre o colesterol total. Além disso, houve uma diminuição na pressão arterial tanto sistólica quanto diastólica (DURAN; HERMOSILLO; OROPEZA, 2007).

Portanto, os elementos antioxidantes presentes na *Spirulina* spp. desempenham um papel significativo na manutenção da hiperlipidemia, pois evitam o desenvolvimento e o agravamento de problemas decorrentes dela.

4.11.2 Efeitos na Obesidade

Uma forma clássica de definir a obesidade é como o aumento excessivo de tecido adiposo no organismo, sendo uma doença influenciada por fatores genéticos, mas também é fortemente influenciada pelo ambiente. Isso resulta em alterações nos processos metabólicos, que favorecem um aumento no saldo energético e resultando no ganho de peso (NUNES *et al.*, 1998). O excesso de peso se manifesta devido a uma desigualdade entre a ingestão de alimentos e a quantidade de atividade física realizada. A obesidade é um problema complexo que está

ligado ao modo de vida, ao ambiente e à genética (MAHAN; ESCOTT-STUMP; RAYMOND, 2013).

Em uma pesquisa realizada por Becker *et al.* (1986), foi observado que a inclusão de 2,8 gramas de Spirulina na dieta alimentar, administrada três vezes ao dia ao longo de quatro semanas, levou à diminuição do peso corporal em pacientes ambulatoriais com obesidade. Outro possível mecanismo relacionado à diminuição do peso causado pela Spirulina está relacionado à influência da proteína na sensação de saciedade. De acordo com alguns autores, o aumento dos níveis de aminoácidos plasmáticos, que ocorre após a ingestão de proteínas, que estimula a liberação de hormônios anorexígenos e insulina. Esses hormônios atuam sobre o centro da saciedade, resultando na redução da sensação de fome (LANG *et al.*, 1998; PAIVA; ALFENAS; BRESSAN, 2007).

Na atualidade, muitas pessoas estão em busca de uma solução rápida para perder peso, seja por meio de produtos diversos, planos de dietas, alimentos especiais e receitas, que prometem uma solução rápida para acelerar a perda de peso. Muitas informações foram divulgadas sobre o uso de extratos e compostos naturais derivadas de plantas, bem como extratos de algas, com o objetivo de promover um emagrecimento saudável.

4.11.3 Efeitos no Diabetes Mellitus

O diabetes mellitus (DM), é um problema de saúde pública globalmente reconhecida, apresenta atualmente uma alta taxa de morbidade e mortalidade. Ela é caracterizada por um grupo variado de distúrbios metabólicos que acompanha o elemento comum da hiperglicemia, causada por deficiências na ação da insulina, na produção de insulina ou em ambos os processos. Esses níveis elevados de glicose estão relacionados ao surgimento de complicações cardiovasculares, retinopatias, neuropatias, perdas graduais da função renal e aumento da predisposição para infecções (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2014).

De acordo com informações fornecidas pela Associação Americana de Diabetes e pela Organização Mundial da Saúde, o diabetes mellitus é caracterizado pelo aumento nos níveis normais de glicose no sangue e pode ser classificado de várias formas, incluindo diabetes mellitus tipo I, diabetes mellitus tipo II, outros tipos de diabetes específicos relacionados às condições clínicas ou síndromes identificáveis, e diabetes mellitus gestacional (CECIL; GOLDMAN; AUSIELLO, 2005b; DÂMASO, 2003).

Hosoyamada, Takai e Kato (1991) realizaram um estudo no qual compararam os efeitos das partes hidrossolúveis e lipossolúveis da Spirulina na redução dos níveis de glicose sérica de

ratos em jejum. Eles descobriram que a fração solúvel rica em ficocianina foi eficaz na redução dos níveis de glicose no sangue, enquanto a fração lipossolúvel rica em ácidos graxos poliinsaturados foi eficaz na diminuição dos estoques de glicose.

Num ensaio clínico realizados com 15 indivíduos com diabetes, foi notada uma redução nos níveis de glicose no sangue dos pacientes em jejum após um período de 21 dias de administração com 2 gramas diárias de Spirulina (MANI; IYER; SUBRAMANIAN, 1998). Em um estudo clínico randomizado, um grupo de 25 indivíduos com diabetes mellitus tipo II foi designados de forma aleatória para receber Spirulina ou fazer parte do grupo de controle. Após dois meses de suplementação com Spirulina em uma dose de 2 gramas por dia, houve uma notável redução nos níveis de glicose em jejum e pós-prandial. Além disso, foi observada uma redução significativa nos níveis de hemoglobina glicosilada, o que indica uma melhoria a longo prazo no controle dos níveis de glicose (PARIKH; MANI; IYER, 2001).

4.11.4 Efeitos na Hipertensão Arterial

A hipertensão arterial sistêmica (HAS) é uma enfermidade crônica e degenerativa causada por diversos fatores, incluindo influências genéticas, neuro-humorais, dietéticas, vasculares, renais e cardíacas (NUNES *et al.*, 1998). A hipertensão é característica quando a pressão arterial atinge 140/90 mmHg ou mais, visto que é nesse ponto que os possíveis benefícios do tratamento parecem superar os possíveis riscos (CECIL; GOLDMAN; AUSIELLO, 2005a).

Iwata, Inayama e Kato (1990) observaram que a pressão sanguínea dos ratos diminuiu quando foram administradas *S. platensis*, devido a uma característica vasodilatadora do microrganismo. Torres-Duran *et al.* (2007) examinaram os impactos de administrar *S. maxima* por via oral em uma quantidade de 4,5 g por dia, ao longo de um período de seis semanas, em um conjunto de 36 participantes (composto por 16 homens e 20 mulheres, cujas idades variavam entre 18 e 65 anos). O resultado obtido foi uma diminuição da pressão sanguínea sistólica e diastólica antes e depois do período de tratamento.

Um estudo mais atual isolou o primeiro peptídeo com propriedades anti-hipertensivos (um inibidor da ACE - Enzima Conversora de Angiotensina I) na Spirulina, conhecida como Ile-Pro-Gln. Os experimentos foram realizados em ratos que naturalmente apresentavam hipertensão. A aplicação oral de Ile-Pro-Gln na quantidade de 10 mg/kg resultou em uma redução notável na pressão arterial sistólica e diastólica após 4, 6 e 8 horas de tratamento. Essas descobertas mostram que os peptídeos inibidores da enzima conversora de angiotensina

provenientes da *Spirulina platenses* podem ter potencial para serem usados no tratamento e na prevenção da hipertensão (LU *et al.*, 2010).

Isso nos leva a considerar as previsões de uso não apenas da biomassa completa de *Spirulina*, mas também dos compostos bioativos que podem ser extraídos dela.

4.11.5 Efeitos no Sistema Imunológico

O sistema imunológico dos vertebrados é composto por uma variedade de tecidos, células e substâncias, com a finalidade específica de proteger os organismos contra agentes causadores de infecções. No entanto, em algumas situações, as respostas imunológicas aos antígenos podem ser intensas demais, resultando em inconveniências ou danos ao organismo hospedeiro. Essas respostas excessivas são chamadas de hipersensibilidade e seus efeitos podem levar a sintomas como vasodilatação, exsudação, edema, eritema e endurecimento tecidual devido à grande quantidade presente de leucócitos (SHARON, 2000).

A administração experimental por via oral em camundongos de ficocianina, um pigmento obtido da *Spirulina*, resultou em um aumento na atividade dos linfócitos no grupo tratado em comparação com o grupo de controle. Isso sugere que a ficocianina pode estimular o sistema imunológico. Além disso, o consumo diário desse pigmento manteve ou acelerou as funções celulares normais, o que pode ajudar a prevenir o desenvolvimento de doenças malignas, como o câncer, ou atrasar seu crescimento (DAINIPPON, 1983).

Ravi *et al.* (2010), em seu estudo de revisão sobre as características antioxidantes e imunomoduladoras da *Spirulina*, enfatizaram diversos efeitos, entre eles estão, a capacidade da *Spirulina* de estimular a geração de citocinas e anticorpos, bem como de promover a atividade das células do sistema imunológico, como macrófagos, linfócitos T e B, com destaque especial para as células Natural Killer (NK). Os dados provenientes do mesmo estudo indicaram que a substância chamada ficocianina desempenhou um papel na regulação do sistema imune, inibindo a liberação de histamina por mastócitos durante reações alérgicas. Além disso, a ficocianina também inibiu o crescimento de células tumorais, estimulando a atividade das células NK e induzindo os linfócitos do baço a produzirem o fator de necrose tumoral TNF- α .

Esses indícios fornecem razões para conduzir estudos com o objetivo de explorar os potenciais benefícios da *Spirulina* quando utilizada como um coadjuvante em condições de saúde que envolvem imunodepressão ou hipersensibilidade.

4.11.6 Efeitos na Toxicidade Renal

A toxicidade renal ocorre quando certas substâncias se acumulam nos rins em quantidades que podem resultar em efeitos tóxicos. Alguns desses compostos, como o mercúrio inorgânico, o paracetamol, a cisplatina e a gentamicina, podem ter sua toxicidade reduzida devido ao efeito protetor que a Spirulina demonstrou ter nos rins (BELAY *et al.*, 1993; BRUNTON; LAZO; PARKER, 2006).

Yamane (1988) conduziu um estudo sobre os efeitos da Spirulina no tratamento da nefrite aguda provocada por mercúrio inorgânico e medicamentos em ratos, que foram submetidos a doses elevadas de mercúrio. A nefrotoxicidade resultante foi confirmada por meio de testes que avaliam a função renal, como creatinina sérica, fosfatase alcalina, azoto uréico sanguíneo e transaminase glutâmica-oxalacética. Após incluir uma dieta com 30% de Spirulina na alimentação dos ratos, observou-se uma melhora significativa nos resultados desses exames, o que confirmou a desintoxicação renal. Em seguida, foram administrados paracetamol, gentamicina e cisplatina em três grupos de ratos, e mais uma vez, aqueles que receberam Spirulina apresentaram melhorias significativas.

Fukino, Takagi e Yamane (1990) relataram resultados similares ao usar um extrato solúvel em água da Spirulina, que é rico em ficocianina. Eles observaram que a toxicidade renal induzida por paracetamol e cisplatina em ratos diminuiu após o consumo do extrato. Os cientistas concluíram que a ficocianina desempenha um papel principal no efeito protetor da Spirulina contra a falência renal causada pelo mercúrio e medicamentos. Portanto, a microalga pode ser aplicada para diminuição das disfunções renais de forma geral.

Essas pesquisas indicam que a Spirulina pode ser vantajosa no tratamento de intoxicação por metais pesados em seres humanos, e potencialmente reduzindo os efeitos colaterais nos rins quando administrada em conjunto com medicamentos. Os efeitos colaterais frequentemente restringem a quantidade de medicamento que pode ser administrada e prolongam o período de recuperação do paciente. Portanto, a inclusão da Spirulina poderia permitir recuperações mais rápidas (YAMANE, 1988).

4.11.7 Efeitos Radioprotetor

As radiações ionizantes, como os raios-X e os raios- γ , têm o potencial de causar danos que abrangem efeitos mutagênicos, carcinogênicos e teratogênicos, juntamente com várias reações agudas e crônicas nos tecidos, como eritema, catarata do cristalino, esterilidade e depressão da hematopoiese (CECIL; GOLDMAN; AUSIELLO, 2005a).

Um estudo conduzido em 1993 no Instituto de Medicina Radioativa em Minsk, Bielorrússia, revelou que a administração diária de 5 gramas de Spirulina a crianças durante 20 dias resultou em uma diminuição de 50% nos níveis de radioatividade em sua urina. Essa descoberta reafirmou as pesquisas realizadas nos anos 1990 e 1991 que destacaram os benefícios da Spirulina na saúde de crianças afetadas por doenças relacionadas à exposição à radiação (LOSEVA; DARDYNSKAYA, 1993).

Cientistas e médicos também relataram a capacidade da Spirulina de proteger contra os efeitos da radiação em experimentos realizados com crianças afetadas pelo desastre de Chernobyl. Em um estudo conduzido em Beryozovka, 49 crianças com idades entre três e sete anos de idade receberam a microalga por 45 dias, resultando em um aumento nas células T supressoras e na produção de hormônios benéficos. Além disso, em 83% das crianças, os níveis de radioatividade na urina diminuíram (conforme relatado por Belookaya, T., presidente do Comitê Bielorrusso das Crianças de Chernobyl (BELAY *et al.*, 1993).

4.11.8 Efeitos no Câncer

O câncer é uma enfermidade de origem genética que resulta de uma sucessão de mutações somáticas no DNA que resultam em um descontrole na multiplicação das células. A maior parte dessas mudanças está relacionada a modificações na sequência do DNA, podem surgir devido a erros aleatórios durante a replicação, exposição a substâncias cancerígenas ou falhas nos processos de reparo do DNA (HARRISON; KASPER, 2006).

Estudos conduzidos em hamsters, utilizando extrato de Spirulina e Dunaliella, demonstraram que o β -caroteno, um dos elementos presentes nessas microalgas, conseguiu impedir o desenvolvimento de carcinoma na cavidade bucal de 40 hamsters. Isso foi alcançado aplicando uma solução tópica do extrato diretamente na região afetada, três vezes por semana, ao longo de 22 semanas. Além disso, em um segundo experimento envolvendo 80 hamsters, o β -caroteno também mostrou eficácia inibindo no início e na propagação do processo de carcinogênese oral (SCHWARTZ; SHKLAR; SUDA, 1986).

Em estudos posteriores, Schwartz *et al.* (1988), apresentaram evidências de que a administração de extratos de Spirulina e Dunaliella foi capaz de prevenir o crescimento de tumores orais em hamsters, utilizando doses significativamente menores em comparação com seu estudo anterior. Evidências foram observadas que os carcinomas em estágio inicial foram suprimidos, provavelmente devido a uma reação do sistema imune, sugerida pela presença de um grande número de linfócitos e monócitos na região afetada.

O potencial da *Spirulina* para prevenir o câncer pode ser explicado pela existência de β -caroteno, que é o precursor da vitamina A. Esse composto demonstra a capacidade de regular a diferenciação e a multiplicação de células nos epitélios (BELAY *et al.*, 1993; BRUNTON; LAZO; PARKER, 2006).

Mathew *et al.* (1995) conduziram um estudo para examinar a capacidade quimiopreventiva da *S. fusiformis*, utilizando uma dose diária de 1 grama do microrganismo por um período de 12 meses, com o objetivo de reverter a presença de leucoplasias orais em mascadores de tabaco do estado de Kerala, na Índia. Verificou-se que 45% dos indivíduos que receberam o microrganismo apresentaram uma completa regressão das lesões, em comparação com apenas 7% daqueles que receberam um placebo.

4.11.9 Efeitos Antivirais

Os vírus são organismos infecciosos intracelulares obrigatórios que se reproduzem exclusivamente no interior de células hospedeiras, uma vez que seus ácidos nucleicos não conseguem codificar as numerosas enzimas fundamentais para o metabolismo de proteínas, carboidratos, lipídios e a síntese de fosfatos de alto nível de energia (HARRISON; KASPER, 2006).

Uma solução alternativa para enfrentar essa questão é a descoberta de compostos biológicos no campo do desenvolvimento de drogas antivirais, os quais são produtos naturais, principalmente de plantas e algas. Esses produtos naturais demonstraram eficácia contra diversos vírus e podem funcionar como medicamentos antivirais. Portanto, há uma necessidade crucial de focar nas atividades antivirais dos produtos naturais obtidos de plantas, a fim de desenvolver medicamentos mais acessíveis e seguros no controle de doenças virais em seres humanos (RAMAKRISHNAN, 2013).

Patterson *et al.* (1993), mencionam pesquisas realizadas na identificação de substâncias antivirais, destacando extratos altamente eficazes de algas verdes-azuladas, incluindo a *Spirulina platensis*, que foram estudados por cientistas do National Cancer Institute (NCI) dos Estados Unidos. As substâncias mostraram um impacto antiviral considerável ao diminuir os efeitos citopáticos causados por infecções virais.

Hayashi *et al.* (1996a) e Hayashi *et al.* (1996b) declararam que a atividade antiviral de *S. platensis* é atribuída a um polissacarídeo sulfatado composto de ramnose, ribose, manose, frutose, galactose, xilose, glicose, ácido glucurônico, ácido galacturônico, sulfato e cálcio. Este polissacarídeo demonstrou um efeito inibitório seletivo na penetração do vírus herpes simples

tipo 1 (HSV-1), citomegalovírus, vírus do sarampo, vírus da caxumba, vírus influenza A e HIV-1 nas células. Esta característica foi atribuída à conformação molecular resultante da quelação entre cálcio e sulfato dentro do polissacarídeo.

Um extrato à base de água obtido a partir de *S. platensis* mostrou a capacidade de impedir a multiplicação do vírus HIV-1 em várias linhagens de células T humanas, bem como em células mononucleadas do sangue periférico (CMSP) e células de Langerhans. Os autores concluíram que a atividade antiviral do extrato de *S. platensis* é devida à fração de polissacarídeos e aos taninos presentes na microalga. Como resultado, eles chegaram à conclusão de que os extratos aquosos de *S. platensis* apresentam propriedades antirretrovirais, o que pode despertar interesse clínico (AYEHUNIE *et al.*, 1998).

Sayda *et al.* (2012), demonstrou que a combinação de metanol (Me OH), água e extratos de *Spirulina plantensis* apresentou atividade contra o Adenovírus tipo 40, que é uma causa frequente de gastroenterite aguda em crianças em todo o mundo, sendo detectado em aproximadamente 9% das crianças que sofrem com diarreia. Esses vírus ocupam o terceiro lugar em termos de ocorrência na gastroenterite infantil, ficando apenas atrás do rotavírus e o norovírus. A inclusão de spirulina na dieta estimula a produção de interferon-gama (IFN-gama), citocinas, células NK, células B e células T do sistema imunológico, promovendo assim uma resposta imune.

4.11.10 Efeitos na Microbiota Intestinal

Os microrganismos que habitam o intestino humano desempenham um papel fundamental na manutenção da saúde humana, já que residem no intestino e desempenhando funções que podem tanto beneficiar quanto prejudicar a saúde. Em sua maioria, a microbiota intestinal consiste em bactérias benéficas que promovem a saúde, enquanto uma pequena parcela é constituída por bactérias que têm o potencial de causar doenças (MORAES *et al.*, 2014).

A *Spirulina* pode ter um impacto benéfico no aumento da sobrevivência de microrganismos como o *Bifidobacterium* e o *Lactobacillus*, que fazem parte da microbiota intestinal (BELAY *et al.*, 1993; PELCZAR; CHAN; KRIEG, 2005).

Tsuchihashi, Watanabe e Takai (1987) revelaram que a inclusão de 5% de *S. platensis* na alimentação por um período de 100 dias resultou em um aumento de três vezes na população de *Lactobacilos* no ceco de ratos, em comparação com o grupo de controle que não recebeu essa microalga na dieta. Ao comparar o grupo que recebeu tratamento com o grupo de controle,

os autores chegaram à conclusão de que houve um aumento de 13% na relevância do ceco para a absorção de nutrientes. Além disso, observaram um aumento de 327% na população de *Lactobacillus* e um aumento de 43% na quantidade de vitamina B1 absorvida no ceco. Foi ressaltado que a microalga não fornece a vitamina, mas sim potencializa sua absorção. Portanto, de acordo com esta pesquisa, sugere-se que o consumo de *Spirulina* pode resultar em um aumento na presença de *Lactobacillus* no trato intestinal, o que pode tornar a absorção mais eficiente de vitamina B1 e outras vitaminas provenientes da dieta (BELAY *et al.*, 1993; TSUCHIHASHI; WATANABE; TAKAI, 1987).

4.11.11 Efeitos na Desnutrição

A desnutrição é uma condição de saúde resultante da ingestão prolongada de alimentos que não recebe todos os nutrientes essenciais para a saúde, incluindo açúcares, lipídios, proteínas, e principalmente ácidos graxos essenciais, aminoácidos, vitaminas, fibras e outros nutrientes. Além disso, a desnutrição pode ser provocada pela ingestão excessiva e desequilibrada de certos nutrientes, como gorduras, açúcares e proteínas (VON DER WEID; DILLON; FALQUET, 2000).

Por muitos anos, a desnutrição tem sido um tema de grande destaque especial, sendo inclusive objeto de discussão pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que tem explorada a possibilidade de introduzir fontes de proteínas alternativas na alimentação humana (MOURA, 1981). Nesse contexto, destaca-se a relevância da biomassa microbiana, principalmente devido à sua taxa de crescimento acelerado, requisita espaços reduzidos, a capacidade de controlar as condições de cultivo e ao seu alto teor de proteínas (ALVES; VOLTARELLI; MELLO, 2005).

Como uma alternativa para enfrentar este problema, alguns autores sugeriram que a alga azul, *Spirulina platensis*, como um dos métodos mais eficazes e melhores para combater a desnutrição (FERNANDES, 2016). No entanto, de acordo com Rouhier (2006), é importante destacar que, embora ela contenha uma ampla variedade de aminoácidos essenciais, a *Spirulina platensis* deve ser complementada com outras fontes de proteína rica em aminoácidos, uma vez que sua composição é deficientemente baixa em enxofre e aminoácidos como cisteína e metionina, que são fundamentais para indivíduos desnutridos, especialmente crianças. Além disso, é importante notar que a biomassa de *Spirulina platensis* não resolve algumas deficiências, como a de iodo, um mineral essencial para a síntese dos hormônios produzidos pela tireoide.

A *Spirulina platensis* é naturalmente rica em diversos minerais fundamentais, os quais desempenham um papel importante no tratamento da desnutrição. Ela fornece uma quantidade significativa de vitamina A, vitamina B, além de atender as necessidades de ferro e uma variedade de outros minerais essenciais, incluindo cobre, magnésio e cálcio, de acordo com Fernandes (2016). Segundo Gibson (2006), o zinco é considerado um dos principais micronutrientes essenciais em situações de desnutrição, embora a *Spirulina platensis* contenha normalmente apenas pequenas quantidades de zinco (21 - 40 ug/g), porém é possível enriquecê-la facilmente (COGNE *et al.*, 2003).

A administração de 1 grama de Spirulina por dia, no período de 150 dias, a 5000 crianças que afetadas pela desnutrição devido à falta de vitamina A, resultou em uma redução de 80% para 10% nas manchas de Bitot, que são causadas por essa carência desta vitamina. Essa quantidade mínima forneceu a quantidade diária necessária de β -caroteno (pró-vitamina A), o qual ajuda na prevenção de problemas de cegueira e outras doenças oculares (SESHADRI, 1993). Em um estudo adicional, que envolveu 400 crianças em idade escolar, foi observado que o consumo diário de β -caroteno proveniente da Spirulina aumentou os níveis de vitamina A, equiparando-se aos níveis das crianças que receberam vitamina A pura. A Spirulina foi incorporada na dieta das crianças na forma de uma massa de macarrão, adoçada com açúcar para garantir a preservação do β -caroteno. As crianças demonstraram uma boa aceitação dessa massa (SESHADRI, 1993).

Conforme Simpire *et al.*, (2006) relataram, em um estudo envolvendo 550 crianças com menos de cinco anos de idade que sofriam de marasmo devido à subnutrição, elas foram divididas aleatoriamente em quatro grupos. Um desses grupos foi submetido a um regime alimentar que incluía Spirulina, administrada juntamente com as refeições tradicionais, ao longo de um período de oito semanas. Os resultados obtidos apontaram que a inclusão de Spirulina na dieta se mostrou eficaz como um suplemento alimentar para crianças com desnutrição, superando a simples adição proteicas e energia na alimentação.

Em um estudo conduzido por Yonghuang (1994), um grupo de 50 crianças foi submetido à ingestão de sulfato de zinco durante um período de três meses, enquanto outro grupo de 50 crianças consumiu pastilhas de Spirulina. Foi observado que os benefícios proporcionados pela Spirulina superaram significativamente os do sulfato de zinco. Isso se deve ao fato da facilidade de administração da pastilha de Spirulina, que também não resultaram em efeitos colaterais. Os autores observaram que a Spirulina demonstrou melhorar a absorção de zinco, fortaleceu o sistema imunológico e promoveu uma melhoria geral na saúde. De fato, a microalga demonstrou ser aproximadamente duas vezes mais eficaz do que o sulfato de zinco

no tratamento da deficiência desse mineral em crianças. Além disso, a dose eficaz da Spirulina foi significativamente menor, variando de duas a quatro vezes menos do que a quantidade necessária de sulfato de zinco.

4.11.12 Efeitos contra a Anemia

Uma pesquisa recente revelou que ratos que consumiram Spirulina conseguiram absorver 60% a mais de ferro em comparação com aqueles que ingeriram o suplemento de sulfato ferroso (HABIB *et al.*, 2008). Já em relação nos humanos, o estudo realizado por Selmi *et al.* (2011), que envolveu quarenta voluntários com cinquenta anos de idade ou mais, de ambos os sexos, sem histórico de doenças crônicas, revelou um aumento progressivo nos níveis médios de hemoglobina corpuscular média em homens e mulheres. Além disso, observou-se um aumento no volume corpuscular médio e na concentração de hemoglobina corpuscular nos participantes do sexo masculino. As mulheres mais velhas pareceram ter benefícios mais notáveis com a suplementação de Spirulina em comparação com outros grupos. Os pacientes do estudo não ingeriram suplementos medicamentosos de ferro e foram submetidos a avaliações no início do tratamento, bem como após seis e doze meses. Além disso, o estudo também avaliou o impacto da suplementação de Spirulina afeta a função do sistema imunológico e chegou à conclusão de que a Spirulina pode ter um efeito positivo na melhoria da anemia e na imunossenescência em pessoas mais velhas (HABIB *et al.*, 2008).

Por fim, um estudo mais recente demonstra que a administração de spirulina durante 12 semanas resulta em uma melhora da anemia em pessoas mais velhas (SELMÍ *et al.*, 2011). Esses indícios destacam a importância de investigar acerca da composição mineral da Spirulina e seus potenciais impactos na regulação da mucosa intestinal, os quais podem favorecer o transporte de nutrientes relacionados ao processo de formação das células sanguíneas, conhecido como Hematopoiese (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

O tratamento oral da anemia com medicamentos frequentemente resulta em efeitos colaterais, principalmente relacionados ao sistema gastrointestinal, tais como náuseas, vômitos, epigastria, diarreia e constipação. Em cerca de 10% a 40% dos pacientes nesses casos, a intolerância a esses efeitos colaterais é tão severa que torna impossibilita prosseguir com o tratamento (RODRIGUES; JORGE, 2010).

Portanto, é importante considerar a suplementação de Spirulina como uma medida preventiva e de apoio no tratamento de pessoas com anemia, uma vez que essa condição de saúde representa um dos principais desafios de saúde pública no Brasil e em todo o mundo. De

acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde), a anemia afeta cerca de um terço da população mundial (OMS, 2001).

4.11.13 Efeitos Antioxidantes

Os antioxidantes compreendem uma variedade de componentes, que incluem vitaminas, minerais, pigmentos naturais, compostos vegetais e até mesmo enzimas. Eles desempenham um papel fundamental na neutralização dos danos causados pelos radicais livres, que são os principais agentes responsáveis pelo envelhecimento precoce, o surgimento de cancro (câncer), problemas cardiovasculares e doenças degenerativas, como a doença de Alzheimer (FINALYS TEA SOLUTIONS, 2009).

Pesquisas têm avaliado a capacidade antioxidante das microalgas em relação a diversos modelos toxicológicos, abrangendo as cianobactérias *Spirulina* e *Nostoc* (CEPOI *et al.*, 2009; MADHYASTHA; SLVASHANKARI; VATSALA, 2009). A pesquisa sobre a microalga *Spirulina* se concentra em suas características nutricionais e antioxidantes, há indícios que ela pode ter um potencial terapêutico na prevenção e redução dos danos causados pelas dislipidemias, além de servir como um composto com propriedades antioxidantes (FERNANDES. 2016).

Os componentes responsáveis por essa ação antioxidante incluem os carotenoides, tocoferóis, compostos fenólicos, bem como, mais recentemente, as ficobiliproteínas aloficocianina, ficocianina e ficoeritrina, que representam os principais pigmentos secundários encontrados nas cianobactérias (COLLA; MUCCILLO-BAISCH; COSTA, 2008; EUROPA *et al.*, 2010; GE *et al.*, 2006; MADHYASTHA; SLVASHANKARI; VATSALA, 2009). Nos dias atuais, as ficobiliproteínas têm uma ampla aplicação como marcadores fluorescentes e corantes em produtos alimentícios e cosméticos, e estão sendo estudadas por seu potencial terapêutico, que inclui propriedades antiplaquetárias, imunomoduladoras, antidiabetogênicos e anti-hepatotóxicos (GALLARDO *et al.*, 2010; MORENO; RAMIREZ, 2006; SONI; VISAVADIYA; MADAMWAR, 2009).

Guarienti, Bertolin e Costa (2010) observam que a participação da microalga *Spirulina* na preservação dos parâmetros analisados em sua pesquisa demonstra uma redução nos níveis de radicais livres e nos danos resultantes. Isso ressalta a importância da proteção antioxidante, conforme enfatizada pela teoria de Pompella, que enfatiza a importância de incluir antioxidantes na dieta e a redução do risco de desenvolver doenças relacionadas à acumulação de radicais livres. Além disso, no mesmo estudo, a *Spirulina* demonstrou a capacidade de

proteger as células da levedura contra os danos oxidativos provocados pelo paraquat em ambas as concentrações testadas.

Muitas pesquisas que exploram as vantagens da *Spirulina* concentram-se na avaliação da biomassa integral, mas apenas algumas se concentram nos extratos ou elementos isolados, com uma ênfase especial nos extratos do pigmento ficocianina. É importante realizar mais estudos nesse contexto, a fim de obter uma compreensão mais aprofundada das propriedades antioxidantes de outros componentes bioativos presentes na *Spirulina* (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

4.12 Toxicidade

Dentre os diversos microrganismos classificados como cianobactérias, a *Spirulina* sp. sobressai na esfera industrial devido à sua tecnologia de cultivo simples, sua elevada qualidade e quantidade de proteínas, bem como sua ausência de efeitos tóxicos (SALAZAR *et al.*, 1998). A segurança alimentar tem sido garantida por um longo período por meio do consumo, juntamente com inúmeros estudos de toxicologia (CHAMORRO *et al.*, 2002).

Assim como ocorre com certos tipos de cogumelos e plantas, algumas espécies de cianobactérias podem ser tóxicas. Entretanto, nos últimos anos, vários estudos científicos publicados não encontraram qualquer evidência de toxicidade na microalga *Spirulina* (CHAMORRO *et al.*, 1996). De acordo com um estudo conduzido por Salazar *et al.* (1998), em experimentos com ratos que receberam uma dieta contendo 10 a 30% de *Spirulina*, não foram observados efeitos tóxicos crônicos ou subcrônicos. Além disso, não foram detectadas mutações, efeitos teratogênicos, nem efeitos adversos na reprodução ou lactação e nem ocorrência de alergias dermatológicas nos animais investigados. Assim, a utilização da *Spirulina* é segura e nutritiva, uma vez que recebeu a certificação da FDA (Food and Drug Administration) como "GRAS" (Generally Recognized as Safe), o que assegura que seu consumo como alimento não apresenta riscos à saúde. No entanto, é importante destacar que existe a possibilidade de toxicidade devido a eventuais contaminações provenientes do cultivo da *Spirulina* em conjunto com outras microalgas tóxicas (ANDRADE; COSTA, 2008; HENRIKSON, 1994; MULITERNO *et al.*, 2005).

Alguns experimentos realizados em ratos de laboratório procuraram investigar a possível toxicidade de altas doses de *Spirulina*. Em um desses estudos, 24 ratos foram divididos em grupos de 6, e cada grupo recebeu uma quantidade específica de *spirulina* em pó em sua dieta. As doses administradas foram de 1,6 gramas, 3,2 gramas e 4,8 gramas ao longo de um período de 40 dias. Os resultados mostraram que os ratos se desenvolveram de forma saudável,

sem apresentar reações adversas nos aspectos bioquímicos, hematológicos, nutricionais e fisiológicos (TOWATANA; REANMONGK, 2008).

Em outra pesquisa, os ratos foram divididos em dois grupos. O primeiro grupo recebeu uma dose de 30g/kg/peso de spirulina em pó, o que equivale a 75 gramas, enquanto o segundo grupo recebeu uma dose de 10g/kg/peso de Spirulina em pó, totalizando 25 gramas. Durante o período de observação de sete dias, não foram registradas anormalidades patológicas e não foram observados sinais de toxicidade nos ratos, indicando que a spirulina não teve efeitos tóxicos nos ratos durante esse período (MOREIRA, 2010).

Apesar de os estudos mencionados anteriormente não tenham identificado potenciais efeitos tóxicos associados ao consumo excessivo da cianobactéria, outras pesquisas contestaram essa suposição. Devido à presença significativa de ácidos nucleicos e proteínas na spirulina, existe a possibilidade de desencadear o desenvolvimento de gota, litíase renal e até mesmo o surgimento de doenças cardiovasculares. Portanto, é recomendável que o consumo não exceda 4 gramas de ácidos nucleicos totais, uma quantidade que é encontrada em uma dose superior a 80g de Spirulina (SALMEÁN; CASTILLO; CEVALLOS, 2015; WHO, 2007).

Em um relato de caso conduzido por Hoseini et al. (2013), um adolescente de 14 anos desenvolveu sintomas de diarreia e eritema após ingerir 4 comprimidos de Spirulina, correspondentes a 2 gramas do produto, ao longo de um período de 3 horas. O consumo excessivo de Spirulina também pode resultar em efeitos colaterais graves, como hepatotoxicidade, diarreia, vômitos e rabdomiólise, sendo desaconselhado para pacientes com fenilcetonúria e doenças autoimunes devido à sua atividade imunomoduladora.

Estudos indicaram que uma pequena quantidade do produto é o suficiente para alcançar efeitos positivos devido à elevada biodisponibilidade da Spirulina. No entanto, o uso de uma dose superior à recomendada pode resultar em efeitos colaterais, tais como diarreia, vômitos e eritema, além de aumentar o risco de desenvolvimento de diversas doenças, incluindo cardiovasculares, rabdomiólise, gota e litíase renal. Isso sugere que o consumo excessivo de spirulina pode ser tóxico (SILVA, 2018).

A *Spirulina platensis* recebeu aprovação legal como suplemento alimentar na Europa, Japão e Estados Unidos, concedida pelo FDA (Food and Drug Administration), e não apresenta efeitos tóxicos no organismo (BELAY *et al.*, 1993; VON DER WEID; DILLON; FALQUET, 2000). No Brasil, a comercialização desse produto é autorizada pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), contanto que o produto final, no qual o microrganismo foi incorporado, esteja devidamente registrado (AMBROSI *et al.*, 2008). As pesquisas realizadas com *Spirulina platenses* garantem benefícios para o organismo podem ser alcançados com

doses diárias variando de 1 a 10 g/dia. Recomenda-se, geralmente, uma dosagem de 3 a 10 g/dia para adultos (FERNANDES, 2016).

É fundamental ressaltar que a Spirulina é um alimento com uma extensa trajetória de utilização segura. No entanto, é imprescindível obtê-la de fontes certificadas, pois existe uma alta variação em relação à qualidade e à segurança. Caso esteja contaminada com outras espécies de cianobactérias, a Spirulina pode conter toxinas (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Diante das informações apresentadas, embora as investigações examinadas tenham indicado benefícios positivos da adição de Spirulina e alguns estudos não tenham mencionado os potenciais efeitos tóxicos decorrentes do consumo excessivo desse suplemento para o organismo, é imprescindível realizar mais pesquisas em seres humanos para estabelecer uma dose segura do produto. Isso garantiria que sua ingestão não acarrete danos à saúde humana (SILVA, 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Examinando o conteúdo apresentado neste estudo, é possível concluir que as microalgas demonstram eficiência em uma variedade de campos comerciais, industriais e científicos. Elas são aplicáveis na fabricação de alimentos, compostos bioativos, biocombustíveis, produtos cosméticos, fixação biológica de CO₂, tratamento de efluentes, aquicultura e na produção de diversas substâncias essenciais para a indústria farmacêutica.

É evidente que a cianobactéria *Spirulina* apresenta uma variedade de vantagens para a saúde humana e animal devido à sua rica composição de micro e macronutrientes. Além disso, sua utilidade como recurso natural em várias indústrias, especialmente como componente na indústria de alimentos, apresenta benefícios, uma vez que seu cultivo em larga escala é rápido e ela prospera em diversas condições, a torna uma opção viável para cultivo tanto no Brasil quanto no mundo. É provável que nos próximos anos haja um crescimento e uma ampliação tanto na produção quanto no uso desse elemento.

O perfil nutricional favorável, sua facilidade de cultivo, baixo impacto ambiental, a torna uma alternativa atrativa para atender às crescentes necessidades alimentares da população global. Ela representa uma fonte abundante e viável de nutrientes, além disso, para população em situação de risco de desnutrição.

A *Spirulina* e seus elementos apresenta uma variedade de atividades, não apenas serve como um ótimo suplemento alimentar, mas também possui propriedades que o caracterizam como alimento funcional e nutracêutico.

Em virtude de todas as vantagens abordadas neste estudo, a introdução da *Spirulina* tem sido experimentada em diversas aplicações, como bebidas, produtos lácteos, panificação, massas, doces, entre outros produtos. Esses testes têm apresentado resultados positivos, uma vez que contribuem para o melhoramento da qualidade nutricional desses itens, conferindo-lhes um valor agregado. Isso evidencia a existência de um amplo campo de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos baseados nessa microalga, o qual ainda pode ser explorado por pesquisadores e indústrias.

Portanto, é fundamental realizar pesquisas com amostras mais amplas, concentrando-se especialmente em seres humanos, além de aprimorar a compreensão do valor nutricional e das possíveis aplicações terapêuticas e funcionais da *Spirulina*. Também é necessário aplicar métodos de divulgação, considerando o reconhecimento potencial da *Spirulina* como um ingrediente funcional que ajuda na diminuição dos fatores de risco associados a condições de saúde que representam desafios significativos para a saúde pública global.

REFERÊNCIAS

- AARONSON, S.; BERNER, T.; DUBINSKY, Z. **Microalgae as a source of chemicals and natural products**. In: **Algae biomass**. Elsevier. North Holand: Biomedical Press. 1980, p. 576-601.
- ALGAEBASE. **World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway**. 2009. Disponível em: < <http://www.algaebase.org> >. Acesso em: 01/09/2023.
- ALI, S. K.; SALEH, A. M. **Spirulina—an overview**. International journal of Pharmacy and Pharmaceutical sciences. 2012, v. 4, n. 3, p. 9-15.
- ALONSO, D. L.; MAROTO, F. G. **Plants as ‘chemical factories’ for the production of polyunsaturated fatty acids**. Biotechnol Adv. 2000, v. 18, p. 481-497.
- ALVES, C. R.; VOLTARELLI, F. A.; MELLO, M. A. R. **Spirulina como fonte proteica na recuperação de ratos desnutridos: efeitos sobre o músculo esquelético**. Rev Dig B Aires. 2005, v. 10, p. 86.
- AMBROSI, M. A. et al. **Propriedades de saúde de Spirulina spp**. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, 2008, v. 29, n.2.
- AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION (ADA). **Position of the American Dietetic Association: Functional Foods**. Journal or American Dietetic Association. 2004, v. 104, n. 5.
- ANDRADE, M. R.; COSTA, J. A. V. **Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em fontes alternativas de nutrientes**. Ciência e Agrotecnologia. 2008, v. 32, n. 5, p. 1551-1556.
- ANDERSEN, R. A. **Algal Culturing Techniques**. Elsevier, Oxford. 2005.
- ANUPAMA, P.; RAVINDRA, L. **Value-added food: Single cell protein**. Biotechnology Advances. 2000, n. 18, p. 459-479.
- ARAÚJO, K. G. L.; FACCHINETTI, A. D.; SANTOS, C. P. **Influência da ingestão de biomassa de Spirulina (Arthrospira sp.) sobre o peso corporal e consumo de ração em ratos**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2003, v. 23, n. 1, p. 6-9.
- ARREDONDO-VEGA, B. O. **Crecimiento autotrófico y mixotrófico de la microalga marina *Porphyridium cruentum***. 1995. 138 p. Tesis (Doctorado Microbiología) - Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 1995.
- AYEHUNIE, S. et al. **Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis***. J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirol. 1998, v. 18, n. 1, p. 7-12.
- AZEREDO, V. B. S. **Produção de Biodiesel a partir do Cultivo de Microalgas: Estimativa Preliminar de Custos e Perspectivas para o Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.
- BARROS, K. K. S. **Produção de biomassa de *Arthrospira platensis* (*Spirulinaplantensis*) para alimentação humana**. 2010. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de

Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

BARROW, C.; SHAHIDI, F. **Marine nutraceuticals and functional foods**. CRC Press: Taylor Francis, Group. 2008. 494 p.

BATISTUTI, J. P.; FREITAS, S. D. **Propriedade de emulsão da farinha e do concentrado protéico de feijão-guandu (*Cajanus flavus* DC.) cultivar fava-larga**. Alimentos e Nutrição. 1995, v. 6, n. 1, p. 55-67.

BECKER, E. W. et al. **Clinical and biochemical evaluations of *Spirulina* with regard to its application in the treatment of obesity**. Nutrition Reports International. 1986, v. 33, n. 4, p. 565-574.

BECKER, E. W. **Microalgae: biotechnology and microbiology**. Cambridge University Press, Cambridge. 1994, 301 p.

BECKER, W. **Microalgae in human and animal nutrition**. In: RICHMOND, A. (Ed). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology**. London: Blackwell Science. 2004, p. 312-351.

BECKER, E.W. **Micro-algae as a source of protein**. Biotechnology Advances, [S.L.]. mar. 2007, v. 25, n. 2, p. 207-210. Elsevier BV. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002> >. Acesso em: 01/09/2023.

BEGUM, H. et al. **Mohamed. Availability and Utilization of Pigments from Microalgae**. Critical Reviews In Food Science And Nutrition, [S.L.]. 12 fev. 2015, v. 56, n. 13, p. 2209-2222. Informa UK Limited. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2013.764841> >. Acesso em: 01/09/2023.

BEKATOROU, A.; PSARIANOS, C.; KOUTINAS, A. A. **Production of food grade yeasts**. Food Technology Biotechnology. 2006, v. 44, n. 3, p. 407-415.

BELAY, A. et al. **Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina***. Journal of Applied Phycology. 1993, v. 5, n. 2.

BENELHADJ, S. et al. **Effects of pH on the functional properties of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* protein isolate**. Food Chem. 2016, v. 196, p. 1056-1063.

BENEMANN, J. R.; TILLET, D. M.; WEISSMAN, J. C. **Microalgae biotechnology**. Trends in Biotechnology. 1987, v. 5, n. 2, p. 47-53.

BERTOLDI, F.; SANT'ANNA, E.; OLIVEIRA, J. **Revisão: biotecnologia de microalgas**. B. CEPPA. Curitiba, jan./jun. 2008, v. 26, n. 1, p. 9-20.

BEZERRA, R.P. **Influência do tempo de alimentação e da intensidade luminosa no cultivo de *Spirulina platensis* sob alimentação com cloreto de amônio**. 2006. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BOONE, D. R.; CASTENHOLZ, R. W.; GARRITY, G. M. **Bergey's manual of systematic bacteriology - Vol 1: The Archaea and the Deeply Branching and Phototrophic Bacteria**.

2nd.ed. New York: Springer-Velag. 2001. [s.l: s.n.]. Disponível em: < <http://www.springerlink.com/index/10.1007/978-0-387-68489-5> >. Acesso em: 15/08/2023.

BONFILS, C. L.; LOBELL, D. **Empirical evidence for a recent slowdown in irrigation-induced cooling. Proceedings of the National Academy of Sciences.** 2007, v. 104, n. 34, p. 13582–13587.

BONOMETTI, P. **Spirulina fortalece o sistema imunológico e contribui para prevenir e minimizar os efeitos de doenças Virais. Spigreen.** 2020. Disponível em: < <https://spigreen.com.br/coronavirus-covid-19-uso-da-spirulina-fortalece-o-sistema-imunologico-e-contribui-para-prevenir-e-minimizar-os-efeitos-da-doenca/> >. Acesso em: 22/02/2023.

BOROWITZKA, M. A. **Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters.** Journal of Biotechnology. 1999, v. 70.

BOROWITZKA, M. A. **Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters.** Journal of Biotechnology. 1999b, v. 70, n. 3, p. 313-321.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. **Crescimento agrícola no período 1999-2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil.** IPEA. 2005. Texto para discussão N° 1062. Disponível em: < http://ces.fgvsp.br/arquivos/ipea%20td_1062.pdf >. Acesso em: 03/04/2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos - Lista dos Novos Ingredientes aprovados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária em maio de 2009.** Disponível em: < http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/novos_ingredientes.htm >. Acesso em: 15/10/2023.

BRASIL B.d.S.A.F. et al. **Microalgas e Cyanobacteria como Biofábricas de Enzimas.** *Algal Res.* 2017, v. 25, p. 76–89. Disponível em: < DOI: 10.1016/j.algal.2017.04.035 >. [CrossRef] [Google Acadêmico]. Acesso em: 15/10/2023.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. **Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 1 fev. 2010, v. 14, n. 2, p. 557–577.

BRUNTON, L. L.; LAZO, J. S.; PARKER, K. L. **Goodman & Gilman: as bases farmacológicas da terapêutica.** 11.ed. Rio de Janeiro: McGraw Hill; 2006. 1821p.

BURJA, A. et al. **Marine cianobactérias-a profilic source of natural products.** Tetrahedron. 2001, n. 590, p. 9347- 9377.

BUTLER, S. J.; VICKERY, J. A.; NORRIS, K. **Farmland biodiversity and the footprint of agriculture.** Science. 2007, v. 315, n. 5810, p. 381–384.

CAPRA, F. **As Conexões Ocultas: ciência para uma vida sustentável.** 3^a. ed. São Paulo: Ed. Pensamento-Cultrix. 2002, 296 p.

CAMACHO, F.; MACEDO, A.; MALCATA, F. **Potential industrial applications and commercialization of microalgae in the functional food and feed industries: A short review.** Mar. Drugs. 2019, v. 17, p. 312.

CARVAJAL, J. C. L. **Caracterização e modificações químicas da proteína da microalga *Spirulina* (*Spirulina maxima*).** 2009. 138p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

CASTELHOLZ, R. W. **Subsection III, order oscillatoriales.** In: WILLIAM S. T.; SHARP, E.; HOLT, J. G.; STALEY, J. T., eds. **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.** Baltimore: William and Wilkins. 1989. v. 3, p. 1771.

CECIL R.L., GOLDMAN L., AUSIELLO D., editores. **Cecil: tratado de medicina interna.** 22.ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2005a. v.1.

CECIL R.L., GOLDMAN L., AUSIELLO D., editores. **Cecil: tratado de medicina interna.** 22.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005b. v.2.

CEPOI, L. et al. **Antioxidative activity of ethanol extracts from *Spirulina platensis* and *Nostoc linckia* measured by various methods.** Fasc Biol. 2009, v. 16, n. 2, p. 43-48.

CHAMORRO, G. et al. **Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. Resumen.** Revista de Investigación Clínica. 1996, v. 48, n. 5, p. 389–399.

CHAMORRO, G. et al. **Actualización en la farmacología de *Spirulina* (*Arthrospira*), un alimento no convencional. [Update on the pharmacology of *Spirulina* (*Arthrospira*), an unconventional food]** Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2002, v. 52, n. 3, p. 232 - 240.

CHAUMONT, D. **Biotechnology of algalbiomass production: a review of systems for outdoormass culture.** Journal of Applied Phycology. 1993, v. 5, n. 6, p. 593-604.

CHISTI, Y. **Microalgae: our marine forests.** In: RICHMOND, A. (ed.). **Handbook of Microalgal Culture: biotechnology and applied phycology.** Oxford: Blackwell Science. 2004. 566 p.

CHISTI, Y. **Biodiesel from microalgae.** Biotechnology Advances. maio 2007, v. 25, n. 3, p. 294–306.

CHOPRA, K.; BISHNOI, M. **Antioxidant Profile of *Spirulina*: a blue-green microalga.** In: GERSHWIN, M. E.; BELAY, A. (ed.). ***Spirulina* in Human Nutrition and Health.** Boca Raton, Us: Crc Press. 2008, p. 101-118.

CHRONAKIS, I. S. **Gelation of edible blue-green algae protein isolate (*Spirulina platensis* strain pacifica): thermal transitions, rheological properties, and molecular forces involved.** Journal Agricultural and Food Chemistry. 2001, v. 49, p. 888-898.

CIFERRI, O. ***Spirulina*, the Edible Microorganism.** Microbiol. Rev. 1983, v. 47, n. 4, p. 551-578.

CIFERRI, O.; TIBONI, O. **The biochemistry and industrial potencial of *Spirulina***. Annual Review of Microbiology. 1985, v.39, n. 1, p. 503-526.

CLÉMENT, G.; GIDDEY, C.; MENZI, R. **Amino acid composition and nutritive value of the alga *Spirulina maxima***. Journal Of The Science Of Food And Agriculture, [S.L.]. nov, 1967, v. 18, n. 11, p. 497-501. Wiley. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740181101> >. Acesso em: 15/10/2023.

COGNE, G; et al. **A absorção de macrominerais e oligoelementos pelo cianobactéria *Spirulina platensis* em condições fotoautotróficas: Cultura meio de otimização**. Biotechnology and Bioengineering. 2003.

COLLA, L. M. **Influência das condições de crescimento sobre o potencial antioxidantes da microalga *S. platensis* e seu potencial na redução da hipercolesterolemia**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Federal do Rio Grande, 2002.

COLLA, L. M. et al. **Fatty acids of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations**. Zeitschrift für Naturforschung. 2004, v. 59c, p.55-59.

COLLA, L. M. et al. **Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes**. Bioresource Technology. 2007, v. 98, n.7.

COLLA, L. M; MUCCILLO-BAISCH, A. L; COSTA, J. A. V. ***Spirulina platensis* effects on the levels of total cholesterol, and triacylglycerols in rabbits fed with a hypercholesterolemic diet**. Braz Arch Biol Technol. 2008, v. 51, n. 2, p. 405-411.

COZZA, K. L.; COSTA, J. A. V. **Lipídios em *Spirulina***. Vetor, Revista de Ciências Exatas e Engenharias. 2000, v. 10, n. 1, p. 69-80.

DAINIPPON INK & CHEMICALS, TOKYO KENKYUKAI, inventors and assignee. **Antitumoral agents containing phycobilin – also used to treat ulcers and hemorrhoidal bleeding**. JP patent 58065216 A 830418. 18 abr. 1983, 6 p.

DÂMASO, A. **Obesidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A. 2003, 590 p.

DASGUPTA, C. N. et al. **Recent trends on the development of photobiological processes and photobioreactors for the improvement of hydrogen production**. International Journal of Hydrogen Energy. out. 2010, v. 35, n. 19, p. 10218– 10238.

DE JESUS RAPOSO, M. F.; DE MORAIS, R. M. S. C.; DE MORAIS, A. M. M. B. **Health applications of bioactive compounds from marine microalgae**. Life sciences. 2013, v. 93, n.15, p. 479-486.

DEMIRBAS, M. F. **Biofuels from algae for sustainable development**. Applied Energy, 2011, v. 88, n. 10, p. 3473-3480.

DERNER, R. B. **Efeito de fontes de carbono no crescimento e na composição bioquímica**

das microalgas *Chaetoceros muellei* e *Thalassiosira fluviatilis*, com ênfase no teor de ácidos graxos poliinsaturados. 2006. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

DERNER, R. B. et al. **Microalgas, produtos e aplicações**. Ciência Rural, Santa Maria, 2006, v. 36, n. 6.

DERNER, R.B. **Sistemas de cultivo de microalgas – Parte I**. Biotecnologia de algas – Aquaculture Brasil, 2017.

DEVI, M. A.; VENKATARAMAN, L. V. **Hypocholesteremic effect of blue-green algae *Spirulina platensis* in albino rats**. Nutr Rep Int. 1983, v. 28, p. 519-30.

DEWI, E. N.; AMALIA, U.; MEL, M. **The Effect of Different Treatments to the Amino Acid Contents of Micro Algae *Spirulina* sp.** Aquatic Procedia, [S.L.]. ago. 2016, v. 7, p. 59-65. Elsevier BV. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.008> >. Acesso em: 10/04/2023.

DURAN, P. V. T.; HERMOSILLO, A. F.; OROPEZA, M. A. J. **Antihyperlipemic and antihypertensive effects of *Spirulina maxima* in an open sample of mexican population: a preliminary report**. Lipids Health Dis. 2007, v. 6, n. 33, p. 1-8.

EARTHRISE FARMS. 2009. Disponível em: < <http://www.earthrise.com> >. Acesso em: 10/04/2023.

ECYCLE. **Spirulina: o que é e para que serve**. 2019. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/3179-spirulina> >. Acesso em: 10/04/2023.

ELLEUCH, J. et al. **Protease Neutra Extracelular de *Arthrospira platensis*: Produção, Otimização e Caracterização Parcial**. J. Biol. 2021, v. 16, p. 1491–1498. Disponível em: < DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.102. >. [PubMed] [CrossRef] [Google Acadêmico]. Acesso em: 10/04/2023.

ESTRADA, J. E.; BESCÓS, P.; VILLAE DEL FRESNO A. M. **Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract**. Il Farmaco. 2001, v. 56, p. 497-500.

EUROPA, E. C. et al. **Phycobiliproteins from *Pseudanabaena tenuis* rich in c-phycoerythrin protect against HgCl₂- caused oxidative stress and cellular damage in the kidney**. J Appl Phyco. 2010, v. 22, n. 4, p. 495–501.

EVENS, T. J. et al. **An analytical flat-plate photobioreactor with a spectrally attenuated light source for the incubation of phytoplankton under dynamic light regimes**. Hydrobiologia, [S. l.]. 2000, v. 434, p. 55–62. Disponível em: < DOI: 10.1023/A:1004069808148. >. Acesso em: 11/04/2023.

EXTREMADURA. **Espirulina: Algas comestíveis en el corazón de Gata**. 2020. Disponível em < https://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/espirulina-algas-comestibles-corazon-gata_960409.html > Acesso em: 30/07/2023.

FALQUET, J. **The Nutritional Aspects of Spirulina**. Antenna Technology. 1997. Disponível em: < https://www.antenna.ch/wp-content/uploads/2017/03/AspectNut_UK.pdf >. Acesso em: 12/11/2022.

FAO. **A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish**. FAO Fisheries and Aquaculture Circular n. 1034 FIMA/C1034 (En). Rome, 2008.

FDA - Food and Drug Administration. **Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000127 CFSAN/Office of Food Additive Safety**. 2003. Disponível em: < <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/NoticeInventory/ucm153944.htm> >. Acesso em: 12/11/2022.

FERNANDES, J. C. A. **Elaboração de um produto de panificação, do tipo pão, enriquecido pela adição de *Spirulina platensis***. 2016, Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Nutrição). Universidade Federal de Campina Grande, Cuité - PB, 2016.

FERREIRA, M. M. **Spirulina: Uma Revisão**. 2020, 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2020.

FINALYS TEA SOLUTIONS. **Dossiê antioxidantes: os antioxidantes**. Rev. Food Ingredients Brasil, n°6, 2009.

FOX, R. D. **Spirulina production & potential**. Paris: Edisud, 1996. 232 p.

FRANCO, A. L. C. et al. **Biodiesel de microalgas: avanços e desafios**. Química Nova. 2013, v. 36, n. 3, p. 437–448.

FUKINO, H.; TAKAGI, Y.; YAMANE, Y. **Effect of Spirulina on the renal toxicity induced by inorganic mercury and cisplatin**. Eisei Kagaku. 1990, v. 36, 5p.

GALLARDO, C. A. et al. **Las ficobiliproteínas de *Spirulina maxima* y *Pseudanabaena tenuis* protegen contra el daño hepático y el estrés oxidativo ocasionado por el Hg²⁺**. Rev. Mex. Cienc. Farm. 2010, v. 41, n. 2, p 30-35.

GARCIA, R. W. D. **Reflexos da globalização na cultura alimentar: considerações sobre as mudanças na alimentação urbana**. Revista de Nutrição. 2003, v.16, n.4, p. 483-492.

GARIB, C. C. **Alimentação Balanceada: Uma proposta alternativa para merenda escolar**. 2002, 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GE, B. et al. **Antioxidant properties of recombinant allophycocyanin expressed in *Escherichia coli***. J Photochem Photobiol. 2006, v. 84, p. 175–180.

GIBSON, R. S. **Zinco: o elo perdido no combate à desnutrição de micronutrientes nos países em desenvolvimento**. Anais da Sociedade de Nutrição. 2006, v. 65, p. 51-60.

GOLUBIC, S. **Organisms that build stromatolites**. In: Walter, M. R. (ed.) **Stromatolites**.

Elsevier Science. 1976, p.113-126.

GOMEZ, M. et al. **Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes.** Food Hydrocoll. 2007, v. 21, n. 2, p. 167-73.

GRONEVALT, A. T. M. **Efeito da Spirulina platensis nos sintomas dispépticos após suspensão do uso crônico de inibidores da bomba protônica: resultados de um ensaio clínico fase II.** 2012. Dissertação (Mestrado em Envelhecimento Humano) - Faculdade de educação física e fisioterapia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

GROSSHAGAUER, S.; KRAEMER, K.; SOMOZA, V. **The True Value of Spirulina.** Journal Of Agricultural And Food Chemistry, [S.L.]. 5 mar. 2020, v. 68, n. 14, p. 4109-4115. American Chemical Society (ACS). Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08251>. >. Acesso em: 12/11/2023.

GUALTIERI, P.; BARSANTI, L. **Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology.** CRC Press, Taylor e Francis Group. 2006, 301 p.

GUARIENTI, C.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. **Capacidade antioxidante da microalga Spirulina platensis em células da levedura Saccharomyces cerevisiae submetidas ao estressor paraquat.** Revista do Instituto Adolfo Lutz. 2010, v. 69, n. 1.

HABIB, M. A. B. et al. **A review on culture, production and use of Spirulina as food humans and feeds for domestic animals and fish.** Food and agriculture Organization of the United Nations. 2008.

HARRISON. T. R; KASPER, D. L., editores. **Harrison: medicina interna.** 16.ed. Rio de Janeiro: McGraw Hill; 2006. v.1.

HAYASHI, T. et al. **A natural sulfated polysaccharide, Calcium Spirulan, isolated from Spirulina platensis: in vitro and ex vivo evaluation of anti-Herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities.** AIDS Res Human Retroviruses. 1996a, v. 12, p. 1463-1471.

HAYASHI, T. et al. **Calcium Spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga Spirulina platensis.** J Nat Prod. 1996b, v. 59, n. 1, p. 83-87.

HENRIKSON, R. **Earth food Spirulinas.** Ronore Enterprises. California, 1989, 180p.

HENRIKSON, R. **Microalga Spirulina superalimento del future.** 1 ed. Barcelona: Ediciones Urano, 1994.

HENRIKSON, R. **Microalga Spirulina: superalimento del futuro.** Barcelona: Ediciones Urano S.A., 1995.

HO, S. H.; CHEN, C. Y.; CHANG, J. S. **Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO₂ fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga Scenedesmus obliquus.** CNW-N. Bioresource Technology, [S. l.]. 2012, v. 113, p. 244–252. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.133>. >. Acesso em: 12/11/2023.

HOFF, F. H.; SNELL, T. W. **Plankton Culture Manual**. 5 ed. Dade City: Florida, Aqua Farms, 1999, 226 p.

HOSEINI, S. M. et al. **Nutritional and medical applications of spirulina microalgae**. US National Library of Medicine. Irã, 2013, v. 3, n. 2, p. 1231-1237.

HOSOYAMADA, Y.; TAKAI, T.; KATO, T. **Effects of water-soluble and insoluble fractions of Spirulina on serum lipid components and glucose tolerance in rats**. J Jpn Soc Nutr Food Sci. 1991, v. 44, p. 273-277.

HUANG, J. et al. **Investigation on the performance of raceway ponds with internal structures by the means of CFD simulations and experiments**. Algal Research. Jul. 2015, v. 10, p. 64-71.

HUNTLEY, M. E.; REDALJE, D. G. **CO₂ mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal**. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2007, v. 12, n. 4, p. 573-608.

IWATA, K.; INAYAMA, T.; KATO, T. **Effects of *Spirulina platensis* on plasma lipoprotein lipase activity in fructose induced hiperlipidemic rats**. J Nutr Sci Vitaminol. 1990, v. 36, p. 165-171.

ISHIKAWA, T. et al. **Effects of gammalinolenic acid on plasma lipoproteins and apolipoproteins**. Atherosclerosis, [S.L.]. fev. 1989, v. 75, n. 2-3, p. 95-104. Elsevier BV. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9150\(89\)90165-2](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9150(89)90165-2) >. Acesso em: 12/11/2023.

IYER, U. M.; DHURUV, S. A.; MANI, I. U. **Spirulina and its therapeutic implications as a food product**. In: Gershwin ME, Belay A, editor. **Spirulina in human nutrition and health**. London: Taylor and Francis, 2008.

JANSSEN, M. et al. **Enclosed Outdoor Photobioreactors: Light Regime, Photosynthetic Efficiency, Scale-Up, and Future Prospects**. Biotechnology and Bioengineering. 2002, v. 81, n. 2.

JONH, L. **Mais energia e imunidade com a espirulina brasileira**. Conexão Planeta: inspiração para ação. 2016.

JOVENTINO, I. P. et al. **The Microalga *Spirulina platensis* Presents Antiinflammatory Action as well as Hypoglycemic and Hypolipidemic Properties in Diabetic Rats**. Journal Of Complementary And Integrative Medicine, [S.L.]. 10 jan. 2012, v. 9, n. 1. Walter de Gruyter GmbH. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1515/1553-3840.1534> >. Acesso em: 15/10/2023.

KAC, G.; VELASQUEZ-MELÉNDEZ, G. **A Transição Nutricional e a epidemiologia da Obesidade na América Latina**. Caderno de Saúde Pública. 2003, v. 19, suppl. 1, p. s4-s5.

KARAM, L.M.; SOCCOL, C.R. **Efeito da temperatura e pH no cultivo de *Spirulina major***. Arq. Ciênc. Vet. Zool. 2007, v. 10, n. 1, p. 5-7.

KATO, T. et al. **Effects of *Spirulina platensis* on dietary hypercholesterolemia in rats.** J Jpn Soc Nutr Food Sci. 1984, v. 37, p. 323-332.

KOCHEN, L. H. **Caracterização de fotobioreator air-lift para cultivo de microalgas.** 2010, 37p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35198/000792984.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 23/07/2023.

KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ, J.; KLING, H. **Filamentous Cyanobacteria.** In: WEHR, J. D.; SHEATH, R. G. **Freshwater algae of north america: ecology and classification.** Londres. Academic Press, 2003. p. 117–196.

KUMAR, K. et al. **Development of suitable photobioreactors for CO₂ sequestration addressing global warming using green algae and cyanobacteria.** Bioresource Technology, [S. l.]. 2001, v. 102, n. 8, p. 4945–4953. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.054> >. Acesso em: 20/10/2023.

KUMAR, K. et al. **Recent trends in the mass cultivation of algae in raceway ponds.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Nov. 2015, v. 51, p. 875–885.

KWAK, N.; JUKES, D. J. **Functional foods. Part 1: The development of a regulatory concept.** Food Control. 2001, v. 12, p. 99-107.

LANG, V. et al. **Satiating effect of proteins in healthy subjects: a comparison of egg albumin, casein, gelatin, soy protein, pea protein, and wheat gluten.** Am J Clin Nutr. 1998, v. 67, 197 p.

LEE, Y. K. **Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential.** Journal of Applied Phycology. 2001, v. 13, p. 307-315.

LEE, R. **Phycology.** 4. ed. New York: Cambridge University Press, 2012.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica.** 2a. ed. São Paulo: Sarvier. 1995. ISBN 85-7378-026-6.

LEITE, G.; ABDELAZIZ, A.; HALLENBECK, P. **Algal biofuels: challenges and opportunities.** Bioresource Technology. 2013, v. 145, p. 134-141.

LIMA, R. F. et al. **Aceitabilidade de cookies enriquecidos com spirulina platensis.** Nutrição e saúde: os 47 desafios do mundo contemporâneo. Instituto Medeiros de Educação Avançada (IMEA). João Pessoa, 2018, Cap. 2.

LOSEVA, L. P.; DARDYNSKAYA, I. V. **Spirulina: a natural sorbent of radionucleides.** Research Institute of Radiation Medicine, Minsk, Belarus. 6th. International Congress of Applied Algology; Sep 1993; Czech Republic, Belarus, 1993. Disponível em: < <http://www.spirulinasource.com/libraryhuman.html> >. Acesso em: 10/10/2023.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações.** 1 ed. São

Paulo: Rima. 2006, 606 p.

LU, J. et al. **Isolation of an antihypertensive peptide from alcalase digest of *Spirulina platensis***. J Agric Food Chem. 2010, v. 58, n. 12, p. 7166–7171.

MACHADO, A. R. et al. **Influência da *Spirulina* LEB-18 em tamanho nanométrico no metabolismo de ratos fêmeos Wistar**. Revista de Ciências Agrárias, 2014, v. 37, n. 1, p. 29-36.

MADHYASTHA, H. K.; SLVASHANKARI, S.; VATSALA, T. M. **C-phycocyanin from *Spirulina fusciformis* exposed to blue light demonstrates higher efficacy of in vitro antioxidant activity**. Biochem Eng J. 2009, v. 43, n. 2, p. 221–224.

MADKOUR, F. F.; KAMIL, A. E.; NASR, H. S. **Production and nutritive value of *Spirulina platensis* in reduced cost media**. The Egyptian Journal Of Aquatic Research, [S.L.]. 2012, v. 38, n. 1, p. 51-57. Elsevier BV. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2012.09.003>. >. Acesso em: 20/10/2023.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S.; RAYMOND, J. L. **Krause: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**. 13ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

MANI, S.; IYER, U., SUBRAMANIAN, S. **Studies on the effect of *Spirulina* supplementation in control of diabetes mellitus**. In: Subramanian G et al., eds. **Cyanobacterial biotechnology**. Enfield, USA: Science Publishers Inc. 1998, p. 301-304.

MARKOU, G. **Alteration of the biomass composition of *Arthrospira (Spirulina) platensis* under various amounts of limited phosphorus**. Bioresource Technology, [S.L.]. jul. 2012, v. 116, p. 533- 535. Elsevier BV. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.022>. >. Acesso em: 13/11/2023.

MARQUEZ, F. J. et al. **Growth characteristics of *Spirulina platensis* in mixotrophic and heterotrophic conditions**. Journal of Fermentation Bioengineering. 1993, v. 5, p. 408-410.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. **Microalgae for biodiesel production and other applications: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010, v. 14, n. 1, p. 217–232.

MATHEW, B. et al. **Evaluation of chemoprevention of oral cancer with *Spirulina fusciformis***. Nutr Cancer. 1995, v. 24, n. 2, p. 197-202.

MATOS, J. et al. **Microalgas como ingredientes saudáveis para alimentos funcionais: Uma revisão**. Alimentação Funct. 2017, v. 8, p. 2672–2685. Disponível em: < DOI: 10.1039/C7FO00409E. >. Acesso em: 20/10/2023.

MENNA, S. R. **Modelagem de um biorreator do tipo airlift para cultivo de microorganismos**. 2010, 30 p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: < UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (ufrgs.br) >. Acesso em: 30/07/2023.

MERCADO DE CAROTENÓIDES - CRESCIMENTO, TENDÊNCIAS, IMPACTO DO COVID-19 E PREVISÕES (2021 - 2026). Mordor Intelligence. 20 nov. 2020. Disponível em: < <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/carotenoids-market-industry>. >. Acesso em: 11/09/2023.

MIRA, V. S. **Desenvolvimento de um Iogurte suplementado com *Spirulina platensis*: Caracterização Físico-Química, Microbiológica e Sensorial.** Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar - Peniche Instituto Politécnico de Leiria. 2015.

MIRANDA, M. S. et al. **Antioxidant activity of the microalga *Spirulina maxima*.** Braz J Med Biol Res. 1998, v. 31, p. 1075-1079.

MOHEIMANI, N. R. **The culture of Coccolithophorid Algae for carbon dioxide bioremediation.** 2005, 247 p. Theises (Ph. D.), Murdoch University, Australia, 2005.

MOLINA GRIMA, E. et al. **Biomass and icosapentanoic acid productivities from an outdoor batch culture of *Phaeodactylum tricornutum* UTEX 640 in an airlift tubular photobioreactor.** Applied Microbiology Biotechnology. 1995, v. 42, p. 658-663.

MOORHEAD, K.; CAPELLI, B.; CYSEWSKI, G. R. ***SPIRULINA Superfood da natureza.*** 2013, v. 53. Cyanotech Corporation; Kailua-Kona, HI, EUA: 2013. Disponível em: < https://www.terapiac Clark.es/Docs/spirulina_book.pdf. >. [Google Acadêmico]. Acesso em: 10/03/2023.

MORAES, M. G.; MIRANDA, M. Z.; COSTA, J. A. V. **Biscoitos de chocolate enriquecidos com *Spirulina* plágencia: características físico-químicas, sensoriais e digestibilidade.** Alimentos e Nutrição. 2006, v. 17, n. 3, p. 323-328.

MORAES, F.; COLLA, L. M. **Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde.** Rev Eletrôn Farm. 2006, v. 3, n. 2, p. 109-122.

MORAES, A. C. F. et al. **Microbiota intestinal e risco cardiometabólico: mecanismos e modulação dietética.** Arq Bras Endocrinol Metab. 2014.

MORAIS, M. G. **Fixação de dióxido de carbono e produção de ácidos graxos por microalgas.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.

MORENO, L. R.; RAMIREZ, R. O. **Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.).** Interciência. 2006, v. 31, n. 9, p. 657-663.

MOREIRA, L. M. **Efeito de diferentes concentrações de spirulina nos perfis bioquímico, hematológico e nutricional de rats wistar nutridos e desnutridos.** 2010. Tese (Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Alimentos) Universidade Federal do Rio Grande, RS, 2010.

MORIEL, P. et al. **Antioxidantes e oxidabilidade da LDL em pacientes hiperlipidêmicos.** Rev Bras Anal Clin. 1998, v. 30, n. 4, p. 176-180.

MOURA, E. C. V. **Fontes proteicas não convencionais: perspectivas de seu emprego na**

alimentação. In: Nóbrega, F. J. **Desnutrição intra-uterina e pós-natal.** São Paulo, Panamed. 1981, p. 35-56.

MULITERNO, A. et al. **Cultivo mixotrófico da microalga *Spirulina platensis* em batelada alimentada.** Ciência e Agrotecnologia. 2005, v. 29, n. 6, p. 1132-1138.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, NCBI. 2009. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/> >. Acesso em: 01/09/2023.

NAVALHO, J. **Biotecnologia de *Dunaliella salina* para a produção de beta-caroteno.** 1998. 112 p. Dissertação (Mestrado em Aquacultura), Universidade do Algarve, Algarve, Portugal, 1998.

NICOLETTI, A. M. **Enriquecimento nutricional de macarrão com uso de subprodutos agroindustriais de baixo custo.** 2007. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

NORTON, T. A.; MELKONIAN, M.; ANDERSEN, R. A. **Algal biodiversity.** Phycologia. 1996, v. 35, n. 4, p. 308–326.

NUNES, M. A. A. et al. eds. **Transtornos alimentares e obesidade.** Porto Alegre: Artmed. 1998, 215 p.

OLAIZOLA, M. **Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace.** Biomolecular Engineering. 2003, v. 20, n. 4-6, p. 459-466. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/S1389-0344\(03\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(03)00076-5) >. Acesso em: 25/10/2023.

OLIVEIRA C. A. et al. **Potencial nutricional, funcional e terapêutico da cianobactéria *spirulina*.** RASBRAN - Revista da Associação Brasileira de Nutrição. São Paulo, SP, Jan-Jun. 2013, Ano 5, n. 1, p. 52-59. ISSN 1983-3164 | ISSN 2177-7527.

OMIDI, S.; SARHADI, H.; SHAHDADI, F. **Improvement of the oxidative stability of sesame oil using *Spirulina* as a natural antioxidant.** J. Nut. Food Secur. 2018, v. 3, n. 4.

OMS (Organização Mundial da Saúde). **Iron deficiency anemia: assessment, prevention and control – a guide for programme managers.** Geneva: WHO, 2001, 114 p.

OMS (Organização Mundial da Saúde). **Iron deficiency anemia: assessment, prevention and control – a guide for programme managers.** Geneva: WHO; 2007.

ONU (Organização das Nações Unidas). **A ONU e a população mundial., 2020.** Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>>. Acesso em: 11/04/2023.

PAIVA, A. C.; ALFENAS, R. C. G.; BRESSAN, J. **Efeitos da alta ingestão diária de proteínas no metabolismo.** Rev Bras Nutr Clin. 2007, v. 22, n. 1, p. 83-88.

PARIKH, P.; MANI, U.; IYER, U. **Role of *Spirulina* in the control of glycemia and lipidemia in type 2 diabetes mellitus.** J Med Food. 2001, v. 4, p. 193-199.

PATTERSON, G. M. L. et al. **Antiviral activity of cultured blue-green algae (Cyanophyta)**. JPhycol. 1993.

PELCZAR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. São Paulo: Makron Books. 2 ed. 2005, v. 2.

PEQUENO, M. A. G. **Avaliação do potencial do óleo da microalga cultivada chlorella sp. por cromatografia gasosa**. Revista Analytica. Fev. 2012, v. 57, p. 54.

PÉREZ, A. H; LABBLÉ, J. I. **Microalgas, cultivo y beneficios**. Rev. Biol. Mar. Oceanog. 2014, v. 49, n. 2, p. 157-173.

PERON, B. C. **Desenvolvimento de massa alimentícia sem glúten com adição de *Spirulina platensis***. Universidade Federal do Paraná. 2015.

PHANG, S. M. et al. ***Spirulina* culture in digested starch factory waste water**. Journal of Applied Phycology. 2000, v. 12, n. 5, p. 395-400.

POELMAN, E.; DE PAUW, N.; JEURISSEN, B. **Resour.** Conserv. Recy. 1997, v. 19, n. 1.

PUGH, N. et al. **Isolamento de três preparações de polissacarídeos de alto peso molecular com potente atividade imunoestimulatória de *Spirulina platensis*, *afanizomenon flos-aquae* e *Chlorella pyrenoidosa***. Planta Med. 2001, v. 67, p. 737-742. Disponível em: < DOI: 10.1055/s-2001-18358. >. Acesso em: 25/11/2023.

PULZ, O.; GROSS, W. **Valuable products from biotechnology of microalgae**. Applied Microbiology Biotechnology. 2004, v. 65, p. 635-648.

PYNE, S. K.; BHATTACHARJEE, P.; SRIVASTAV, P. P. **Microalgas (*Spirulina platensis*) e suas moléculas bioativas: revisão**. Índio J. Nutr. 2017, v. 4, 160 p.

RAGNI, M. et al. J. Phycol. 2008, v. 44, 670 p.

RAMAKRISHNAN, R. **Propriedades antivirais da cianobactéria, SPIRULINA**. Dez. 2013, v. 3.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 6a ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2001, 906 p.

RAVI, M. et al. **The beneficial effects of *Spirulina* focusing on its immunomodulatory and antioxidant properties**. Nutr and Diet Suppl. 2010, v. 2, p. 73-83.

RAWAT, I. et al. **Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production**. Applied Energy. Mar. 2013, v. 103, p. 444-467.

RICHMOND, A. **Phototrophic microalgae**. In: Ream, H. J.; Read, G., Eds., **Biotechnology**, Dellweg, Verlag Chemie, Weinheim. 1983, v. 3, p. 109-143.

RICHMOND, A.; SOEDER, C. J. **Microalgae**. Critical Reviews in Biotechnology. 1986, v. 4, n. 4, p. 349-438.

RICHMOND, A. **Spirulina**. In: Borowitzka, M. A.; Borowitzka L. J. **Micro-algal Biotechnology**. Cambridge: Cambridge University Press. 1988.

RICHMOND A. **Handbook of Microalgal Mass Culture**. CRC Press, Boca Raton, FL. ISBN 0-8493-3240 0.0521323495. 1990.

RICHMOND, A. **Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology**. Iowa – EUA: Blackwell Science. 2004.

RODOLFI, L. et al. **Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor**. *Biotechnology and Bioengineering*. 2008, v. 102, n. 1, p. 100–120.

RODRIGUES, R. L. V. **Análise dos fatores determinantes do desflorestamento na Amazônia Legal**. 2004. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

RODRIGUES, L. P.; JORGE, S. R. P. F. **The iron deficiency in pregnancy, labor and puerperium**. *Rev Bras Hematol Hemoter*. 2010, v. 32, n. 2, p. 53-56.

RODRÍGUEZ, S. V. C. **Elaboración de una bebida de amaranto (*Amaranthus tricolor*) y espirulina (*Spirulina maxima*)**. Universidad San Francisco de Quito USFQ - Colégio de Ciências e Ingenierías. 2018.

ROSA, A. P. C.; CARVALHO, L. F.; GOLDBECK, L. **Fixação de gás carbônico por microalgas e obtenção de biomassa para alimentação de animais aquáticos**. 2005, 20 p. Projeto de conclusão de curso (Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, 2005.

ROSEGRANT, M. W.; CAI, X.; CLINE, S. A. **Global water outlook to 2025: averting an impending crisis**. In: **International Food Policy Research Institute**. Washington, D.C. 2002, 26 p.

ROUHIER, B. **Spirulina e desnutrição**. 2006.

ROUND, F. E. **Biologia das Algas**. 2 ed., Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1983. 263 p.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KAMAT, M. Y. **Fractionation of lipids and purification of γ -linolenic acid (GLA) from *Spirulina platensis***. *Food Chemistry*, [S.L.]. ago. 2008, v. 109, n. 3, p. 580-586. Elsevier BV. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.005>>. Acesso em: 07/10/2023.

SALAZAR, M. et al. **Subchronic toxicity study in mice dês *Spirulina máxima***. *Journal of Ethnopharmacology*. 1998, v. 62, p. 235-241.

SALMEÁN, G. G.; CASTILLO, L. F.; CEVALLOS, G. C. **Revisión Nutritional and toxicological aspects of *Spirulina* (*Arthrospira*)**. *Nutrición Hospitalaria*, México, 2015, v. 32, n.1, p. 34-40.

SALOUS, A. et al. **Elaboración de chocolate com espirulina (Spirulina máxima) endulzado com stevia y frutas deshidatadas.** Universidad Agraria Del Ecuador. Cinfrence Proceedings. 6th Engineering, Science and Technology Conference. v. 2018, p. 28-37, 2017.

SAMPAIO, U. M. et al. **Aspectos Gerais de Cultivo, Métodos de Secagem e Características da Cianobacteria Spirulina Platensis.** Artigo Geral 10. Revista Processos Químicos. Jul-dez de 2016, p. 133–143.

SÁNCHEZ, M. et al. **SPIRULINA (ARTHROSPIRA): UM MICRORGANISMO COMESTÍVEL: UMA REVISÃO.** Univ. 2003, v. 8, p. 7–24. Disponível em: < <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/4842> >. [Google Acadêmico]. Acesso em: 25/06/2023.

SAYDA, M. et al. **Antiviral activity of fresh water algae, J. Applied pharmaceutical sciences.** 2012.

SCHEFLER, S. 2018. Disponível em: < <https://schefler.com.br/a-schefler/> >. Acesso em: 10/10/2022.

SCHWARTZ, J.; SHKLAR, G.; SUDA, D. **Inhibition of experimental oral carcinogenesis by topical beta carotene.** Carcinogenesis. 1986, v. 7, n. 5, p. 711-715.

SCHWARTZ J. et al. **Prevention of experimental oral cancer by extracts of Spirulina-Dunaliella algae.** Nutr Cancer. 1988, v. 11, p. 127-134.

SEGHIRI, R.; KHARBACH, M.; ESSAMRI, A. **Functional Composition, Nutritional Properties, and Biological Activities of Moroccan Spirulina Microalga.** Journal Of Food Quality, [S.L.]. 3 jul. 2019, v. 2019, p. 1-11. Hindawi Limited. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1155/2019/3707219> >. Acesso em: 15/09/2023.

SELMÍ, C. et al. **Os efeitos da Spirulina em anemia e função imunológica em pessoas idosos.** Cellular & Molecular Immunology. 2011.

SESHADRI, C. V. **Large-scale nutritional supplementation with *Spirulina* alga.** All India Coordinated Project on *Spirulina*. Shri Amm Murugappa Chettiar Research Center (MCRC). Madras, India. 1993.

SHARON, J. **Imunologia básica.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2000, 267 p.

SHEEHAN, J. et al. **A Look Back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program: biodiesel from algae.** Department of Energy's, Office of Fuels development. Colorado, 1998. 328 p.

SHELEF, G.; SOEDER, C. J. **Algae Biomass: production and use.** Amsterdam: Elsevier/North Holland Biomedical. 1980, 852 p.

SHIMAMATSU, H. **Mas production of Spirulina edible microalga.** Hydrobiol, 2004, v. 512, p. 39-44.

SHOW, K. Y.; LEE, D. J.; CHANG, J. S. **Bioreactor and process design for biohydrogen**

production. Bioresource Technology, [S. l.]. 2011, v. 102, n. 18, p. 8524–8533. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.055>. >. Acesso em: 15/11/2022.

SILVA, L. L. **Efeitos da Spirulina no combate da anemia ferropriva.** 2018. 12 p. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB. Faculdade de Ciência da Educação e Saúde. Curso de Nutrição. Brasília, 2018.

SIMÕES, M. A. et al. **Algas cultiváveis e sua aplicação biotecnológica.** Instituto Federal de Sergipe. 1º Edição, 2019.

SIMPORE, J. et al. **Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spiruline and Misola.** Nutr J. 2006, v. 5, n. 3.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. **Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2014-2015.** Editora Grupo Gen. São Paulo, 2015.

SONI, B.; VISAVADIYA, N. P.; MADAMWAR, D. **Attenuation of diabetic complications by C-phycoerythrin in rats: antioxidant activity of C-phycoerythrin including copper-induced lipoprotein and serum oxidation.** Br J Nutr. 2009, v. 102, n. 1, p. 102-109.

SONI, R. A.; SUDHAKAR, K.; RANA, R.S. **Spirulina – From growth to nutritional product: A review.** Trends In Food Science & Technology, [S.L.]. nov. 2017, v. 69, p. 157-171. Elsevier BV. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>. >. Acesso em: 23/06/2023.

SOTIROUDIS, T. G.; SOTIROUDIS, G. T. **Aspectos de saúde do suplemento alimentar de Spirulina (Arthrospira) microalga.** J. Serb. 2013, v. 78, p. 395–405. Disponível em: < DOI: 10.2298/JSC121020152S. >. [CrossRef] [Google Acadêmico] [Lista de referências]. Acesso em: 20/08/2023.

SOUZA, F.T. et al. **Avaliação do potencial antioxidante da ficocianina em sistema lipídico óleo de soja e azeite de oliva.** Alim Nutr. 2006, v. 17, n. 3, p. 287-291.

SOUSA, A. B. B. et al. **Caracterização físico-química de polpa mista de ceriguela com Spirulina platensis secas por liofilização.** Rev. Bras. Prod. Agroind. 2018, v. 20, n. 3, p. 281-288.

SPOLAORE, P. et al. **Commercial applications of microalgae.** Journal Of Bioscience And Bioengineering. [S.L.]. fev. 2006, v. 101, n. 2, p. 87-96. Elsevier BV. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1263/jbb.101.87>. >. Acesso em: 20/08/2023.

TILMAN, D. **Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices.** Proceedings of the National Academy of Sciences. 1999, v. 96, n. 11, p. 5995–6000.

TILMAN, D. et al. **Forecasting agriculturally driven global environmental change.** Science. 2001, v. 292, n. 5516, p. 281–284.

TOMASELLI, L.; GIOVANNETTI, L.; TORZILLO, G. **Physiology of stress response in Spirulina spp.** In: DOUMENGE, F.; DURAND- CHASTEL, H.; TOULEMONT, A. (eds).

Spiruline Algue de Vie. Bulletin de L'Institut Océanographique, Monaco. 1993, n. 12, p. 65-75.

TOMASELLI, L. **Morphology, ultrastructure and taxonomy of *Arthrospira* (*Spirulina*).** In: VONSHAK, A. *Spirulina platensis* (*Arthrospira*). Physiology, cell-biology and biotechnology. London: Taylor & Francis, 1997. ISBN 0-7484-0674-3.

TORRES-DURAN, P. V.; FERREIRA-HERMOSILLO, A.; JUAREZ-OROPEZA, M. A. **Antihyperlipemic and antihypertensive effects of *Spirulina maxima* in an open sample of Mexican population: a preliminary report.** Lipids Health Dis. 2007, v. 6, 33 p.

TOWATANA, N. H.; REANMONGK, W. **A Subchronic Toxicity Study of *Spirulina platensis*.** Food Sci. Technol. Res, EUA, 2008, v. 14, n. 4, p. 351-358.

TREDICI, M. R. **Mass production of microalgae: photobioreactors.** In: RICHMOND, A. (Ed). **Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology.** Oxford: Blackwell Science. 2004, p. 178-214.

TSUCHIHASHI, N.; WATANABE, T.; TAKAI, Y. **Effect of *Spirulina platensis* on caecum content in rats.** Bull Chiba Hyg Coll. 1987, v. 5, n. 2, p. 27-30.

UGWU, C. U.; AOYAGI, H.; UCHIYAMA, H. **Photobioreactors for mass cultivation of algae.** Bioresource Technology. 2008, v. 99, n. 10, p. 4021-4028.

UNDP. **Beyond Scarcity: Power, poverty and the global water crisis.** In: **Human Development Report 2006.** United Nations Development Programme, New York. 2006. Disponível em: < <http://www.undp.org/publications/annualreport2006/> >. Acesso em: 03/04/2023.

VAN'T LAND, C. M. **Industrial drying equipment: Selection and application.** New York: Marcel Dekker. 1991, 362 p.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C. E. **Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica.** Quím. Nova. 2004, v. 27, n. 1.

VINGIANI, G. M. et al. **Enzimas Microalgas com Aplicações Biotecnológicas.** Drogas. 2019, v. 17, 459 p. Disponível em: < DOI: 10.3390/md17080459. > [[Artigo gratuito PMC](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Acadêmico](#)]. Acesso em: 05/12/2022.

VON DER WEID, D.; DILLON, J. C.; FALQUET, J. **Malnutrition: a silent massacre,** Geneve: Antenna Technology, 2000. 13 p.

VONSHAK A. ***Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell Biology and Biotechnology.** Taylor & Francis, London. ISBN 0-7484-0674-3. 1997.

VONSHAK, A. (Ed.). ***Spirulina platensis* (*Arthrospira*): physiology, cell-biology and biotechnology.** Ben-Gurion University Of The Negev, Israel: Taylor & Francis. 2002. p. 79-100.

WALTER, A. **Estudo do processo biotecnológico para obtenção de ficocianina a partir**

da microalga *Spirulina platensis* sob diferentes condições de cultivo. 2011, 133 p. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WATANABE, Y.; HALL, D. O. **Photosynthetic CO₂ conversion technologies using a photobioreactor incorporating microalgae - energy and material balances.** Energy Conversion and Management. 1996, v. 37, p. 1321-1326.

YAMAGUCHI, S. K. F. et al. **Evaluation of adding *Spirulina* to freeze-dried yogurts before fermentation and after freeze-drying.** Ind. Biotechnol. 2019, v. 15, n. 2.

YAMANE, Y. **The effect of *Spirulina* on nephrotoxicity in rats.** In: **Annual Symposium of the Pharmaceutical Society of Japan.** 15 abr. 1988, Chiba University, Japan. 1988. Disponível em: < <http://www.spirulinasource.com/librarykidney.html> >. Acesso em: 10/10/2023.

YONGHUANG, W. **The study on curative effect of zinc containing *Spirulina* for zinc deficient children.** Capital Medical College, Beijing. In: **5° International Phycological Congress.** June 1994, Qingdao, China, 1994. Disponível em: < <http://www.spirulinasource.com/library-malnutrition.html> >. Acesso em: 18/10/2023.

ZECHENDORF, B. **Sustainable development: how can biotechnology contribute?** Trends in Biotechnology. 1999, v. 17, n. 6, p. 2219-2225.

ZHAI, Q. et al. **Lipid accumulation and biosynthesis genes response of the oleaginous microalga *Nannochloropsis oceanica* CCMP1779 under light-emitting diode illumination.** Bioresource Technology. 2017, v. 244, p. 168-176.

ZONA CEREALISTA. ***Spirulina* em Pó (com Laudo Técnico).** 2020. Disponível em: < <https://www.zonacerealista.com.br/spirulina-em-po.html> >. Acesso em: 01/07/2023.