

SPIRULINA EM FOCO: CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

Data de aceite: 01/11/2023

Giovanna Carvalho Sousa Silva

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Rusbene Bruno Fonseca de Carvalho

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Francisco Mayron de Sousa e Silva

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Camila Fortes Castelo Branco Magalhães

Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Hercília Maria Lins Rolim

Docente curso de graduação em Farmácia e do Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

Lívio Cesar Cunha Nunes

Docente curso de graduação em Farmácia e do Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF). Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina - PI

RESUMO: A Spirulina, uma microalga unicelular pertencente ao filo Cyanobacteria, tem sido objeto de interesse crescente devido às suas propriedades notáveis e seu potencial em diversas aplicações. Caracterizada por sua cor verde-azulada devido à presença de clorofila e ficocianina, cresce naturalmente em ambientes alcalinos de água doce e salina, como lagos e lagoas. Apresenta também um alto teor de proteínas, vitaminas, minerais, ácidos graxos essenciais e pigmentos antioxidantes a torna um superalimento valioso. Além disso, ela é uma fonte de antioxidantes que demonstraram ter propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes. As propriedades biológicas da Spirulina têm despertado o interesse da comunidade científica, devido ao seu potencial imunomodulador, anti-inflamatório e antiviral. Em termos de métodos de produção e cultivo, a Spirulina é frequentemente cultivada em sistemas aquáticos controlados, como lagoas e fotobiorreatores. Seu crescimento rápido e alta taxa de fotossíntese a tornam uma cultura eficiente para a produção em larga escala. A Spirulina desempenha um papel vital na indústria de alimentos, sendo utilizada em produtos como suplementos

alimentares, alimentos funcionais e ração animal. Seu potencial na pesquisa científica é igualmente significativo, com estudos em andamento explorando seus benefícios na prevenção de doenças e no tratamento de condições como diabetes e obesidade. Nesse sentido, este capítulo aborda uma visão abrangente das características gerais, propriedades químicas e biológicas, métodos de produção e cultivo, bem como sua importância na indústria alimentícia, pesquisa científica e promoção da saúde.

PALAVRAS-CHAVE: *Arthrospira platensis*. Cianobactérias. Alimento funcional. Suplemento alimentar.

SPIRULINA IN FOCUS: CHARACTERISTICS, PROPERTIES AND APPLICATIONS

ABSTRACT: Spirulina, a unicellular microalga belonging to the phylum Cyanobacteria, has attracted increasing interest due to its remarkable properties and its potential in various applications. Characterized by its bluish-green color owing to the presence of chlorophyll and phycocyanin, it naturally grows in alkaline freshwater and saline environments, such as lakes and ponds. It also boasts a high content of proteins, vitamins, minerals, essential fatty acids, and antioxidant pigments, making it a valuable superfood. Furthermore, it serves as a source of antioxidants that have demonstrated anti-inflammatory and antioxidant properties. Spirulina's biological properties have piqued the interest of the scientific community due to its immunomodulatory, anti-inflammatory, and antiviral potential. In terms of production and cultivation methods, Spirulina is often cultivated in controlled aquatic systems, such as ponds and photobioreactors. Its rapid growth and high rate of photosynthesis render it an efficient crop for large-scale production. Spirulina plays a crucial role in the food industry, finding application in products like dietary supplements, functional foods, and animal feed. Its potential in scientific research is equally significant, with ongoing studies exploring its benefits in disease prevention and the treatment of conditions such as diabetes and obesity. In this sense, this chapter provides a comprehensive overview of general characteristics, chemical and biological properties, production and cultivation methods, as well as its significance in the food industry, scientific research, and health promotion.

KEYWORDS: *Arthrospira platensis*. Cyanobacteria. Functional food. Food supplement.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de microalgas está crescendo gradativamente, observando-se o aumento no interesse em pesquisas e processos biotecnológicos. Devido a sua composição nutricional e ao avanço crescente da biotecnologia, a biomassa de microalgas tem se tornado ferramentas biotecnológicas para a produção de ingredientes para indústria de alimentos (Kusmayadi *et al.*, 2021). Nesse sentido, alimentos alternativos estão sendo cada vez mais usados como suplemento alimentar, fornecendo diversos nutrientes atuando como complemento na alimentação, entre eles estão algumas bactérias, leveduras e microalgas que são de origem unicelular (Hardy, 2006).

A Spirulina é uma microalga azul-verde que tem ganhado reconhecimento global como um valioso suplemento alimentar (Souza *et al.*, 2020) Ela é notável por sua composição nutricional rica, que inclui proteínas de alta qualidade, vitaminas, minerais, antioxidantes e ácidos graxos essenciais. (Alfadhly *et al.*, 2022a) Além disso, a Spirulina é uma excelente fonte de clorofila, pigmentos carotenoides e, especialmente, de ficocianina, um composto conhecido por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Park *et al.*, 2018)

Essa combinação de nutrientes faz da Spirulina um suplemento alimentar atrativo para diversas finalidades, incluindo o aumento da energia, a melhoria da imunidade, o suporte à saúde cardiovascular e a promoção da desintoxicação do corpo. (Calella *et al.*, 2022). Sua capacidade de fornecer uma ampla gama de nutrientes essenciais tem contribuído para seu crescente uso como um recurso valioso na busca por uma alimentação saudável e equilibrada (Rutar *et al.*, 2022).

Os bioprodutos geradas a partir de microalgas e seus extratos de biomassa tem ganhado destaque no mercado mundial, tornando-se uma tecnologia promissora por meio da identificação de substâncias sintetizadas por esses microrganismos e a aplicabilidade destes (Borba; Ferreira-Camargo, 2019). A estimativa de crescimento do mercado mundial de microalgas é de aproximadamente US \$ 6,5 bilhões, dos quais cerca de US \$ 2,5 bilhões são representados pelo segmento de alimentos saudáveis (Sathasivam *et al.*, 2019).

A Paraíba é um dos estados brasileiros onde a Spirulina é cultivada em larga escala, pois apresenta ótimas condições de clima e fotoperíodo para o cultivo dessa microalga que, devido ao baixo custo, às altas temperaturas da região, aos fortes índices de insolação e às águas salinizadas do subsolo, sendo a mesma cultivada em tanques com capacidade para até 15 mil litros de água (Ecycle, 2019).

Com base em informações da Organização das Nações Unidas (2023), a Terra atingiu uma população de mais de 8 bilhões de pessoas em 2023. No entanto, dadas as circunstâncias atuais, nosso sistema alimentar consegue sustentar uma população de aproximadamente 3,4 bilhões antes de começar a pressionar os limites do planeta, de acordo com estimativas e estudos na área (ONU, 2020). Nesse contexto, o presente capítulo tem como objetivo investigar as características, propriedades e benefícios da Spirulina, destacando seu potencial como fonte de nutrição, terapia e inovação na indústria alimentícia, além de explorar os métodos de produção e cultivo e as diversas aplicações que tornam essa microalga uma protagonista no cenário global de alimentos e saúde.

2 | SPIRULINA (*ARTHROSPIRA PLATENSIS*)

As microalgas são um grupo de microrganismos unicelulares que são capazes de se desenvolver nos meios mais adversos (água doce, marinhas solas e águas residuais), crescem geralmente em meio líquido, se multiplicam rapidamente liberando oxigênio a partir da fotossíntese, produzindo biomassa rica em compostos biologicamente ativos

(Dolganyuk *et al.*, 2020) Conhecidas como algas azul-esverdeadas, são procarióticas e compreendem uma grande variedade de microrganismos com amplas características morfológicas, bioquímicas e fisiológicas (Mendonça; Druzian; Nunes, 2012; Abu-Ghosh *et al.*, 2021).

Uma importante cianobactéria autotrófica, procarionte é a Spirulina, agora reclassificada como *Arthrospira*, é encontrada nos mais diferentes meios (ambientes salinos e alcalinos). O gênero *Spirulina* apresenta diversas espécies, dentre elas *S. platensis*, *S. máxima*, *S. fusiformis* (Vonshak, 1997) e *S. major* (Karam; Soccol, 2007). As espécies *S. platensis* e *S. maxima* são as mais populares do gênero e as mais estudadas para uso na alimentação humana (OLIVEIRA *et al.*, 2013) por apresentarem perfil nutricional que as torna ideal como suplemento alimentar, pois substituem satisfatoriamente as fontes artificiais de nutrientes, por combinar diversos constituintes de maneira equilibrada (Ambrosi *et al.*, 2008; Ferreira-Camargo; Borba, 2019).

A *Spirulina platensis* é uma cianobactéria filamentosa de cor verde-azulada, que forma tricomonas cilíndricas multicelulares, e se dispõem na forma espiralada (Figura 1). Apresenta parede celular constituída por mucopolissacarídeos, fato vantajoso para a preservação da integridade de componentes como vitaminas e ácidos graxos poliinsaturados, dispensando o uso de calor para disponibilizar nutrientes (Tomaselli, 1997).

Figura 1 - Microalga *Arthrospira platensis*.



Fonte: Arquivo pessoal.

De acordo com Simões e colaboradores (2019), a Spirulina é originária das lagoas de água doce da região africana, bem como pode ser encontrada com facilidade em toda a América Latina. No Brasil seu habitat natural mais conhecido é a Lagoa da Mangueira, nas proximidades da Lagoa dos Patos e Oceano Atlântico na região do estado do Rio Grande do Sul (Jhon, 2016). Por ser uma microalga com boa capacidade adaptativa, e com considerável diferenciação em suas cepas, esta tem capacidade de adaptação em ambientes salinos com alta temperatura e boa incidência de luminosidade, além de resistir ao cultivo em meios considerados alcalinos (Costa *et al.*, 2019a).

A Spirulina é produzida comercialmente com a finalidade de suplementação alimentar, ração animal, base para produtos farmacêuticos e biocombustível, sendo vendida na forma de comprimidos, pó, flocos e grânulos (Costa *et al.*, 2019b). A produção desse alimento é revolucionária, pelo fato de produzir, por hectare, 400 vezes mais proteína que a carne vermelha, 230 vezes mais proteína que o arroz, 60 vezes mais proteína que o trigo, 40 vezes mais proteína que o milho e 30 vezes mais proteína que a soja, o que demonstra seu potencial no combate à escassez de alimentos no futuro, com o aumento previsto da população mundial (Expresso, 2020).

Nesse contexto, Moraes, Miranda e Costa (2006) afirmam que no ano de 1981 a Spirulina foi aceita legalmente pelo *Food and Drug Administration* (FDA), sendo declarada como uma fonte natural de minerais, muitas vitaminas e proteínas. Desse modo, o seu consumo legal como alimento foi viabilizado, desde que ela esteja totalmente qualificada e considerada livre de substâncias externas a sua composição que possam tornar ela uma substância adulterada. De acordo com a Anvisa (2018), a Instrução Normativa nº 28 promulgada no dia 26 de julho do ano de 2018, qualifica a Spirulina na lista de suplementos alimentares, com exceção para alimentos voltados para lactentes de 0 a 12 meses ou crianças que estejam na faixa de 1 a 3 anos de idade.

De acordo com pesquisas publicadas, a Spirulina também pode ser utilizada como uma alternativa nutritiva que é capaz de contribuir significativamente para redução de estados de nutrição sofridos por um paciente, isso se torna possível pelo fato de que ela possui um índice considerável de proteínas, fibras, ácidos graxos, aminoácidos essenciais como a isoleucina e a valina e minerais (Branger *et al.*, 2003; Ambrosi *et al.*, 2008; Figueira *et al.*, 2011; Shanthi *et al.*, 2018; FAO, 2019; Simões, 2019; Melo *et al.*, 2020). Nesse contexto, torna-se importante apresentar informações sobre a composição química desta microalga devido seu potencial significativo como fonte alimentar e no desenvolvimento de terapias medicamentosas.

3 | COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A Spirulina pode ser avaliada quimicamente como uma substância que é rica em proteína e que possui composição proteica superior a encontrada em alguns alimentos, conforme demonstra a Tabela 1.

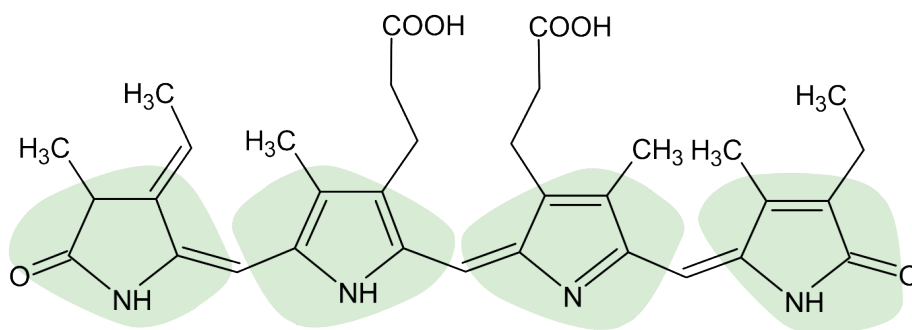
Tabela 1 – Percentual de proteína da Spirulina em comparação com outros alimentos.

Alimento	Proteína bruta (% base seca)
Spirulina em pó	65 - 74
Carnes e peixe	15 -25
Levedura de cerveja	45
Leite em pó desnatado	37
Soja	35
Queijo	36
Bife Bovino	22
Ovo de galinha	47

Fonte: Branger et al., 2003; Bernal-Castillo; Rozo; Rodríguez, 2003; Peron, 2015; Sampaio et al., 2016.

Assim, é importante destacar que grande parte da massa seca de Spirulina é composta por proteínas que chegam a somar 74%, percentual este que pode variar para mais ou menos de acordo com a espécie e as condições de cultivo (Morais *et al.*, 2014). Dentre as proteínas que podem ser encontradas estão as biliproteínas e as ficocianinas (Figura 2) que são ativas em reações de fins bioquímicos da fotossíntese, desse modo, são importantes no enriquecimento de reservatório de nitrogênio (Elfar *et al.*, 2022).

Figura 2 - Estrutura química da ficocianina.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Outro ponto importante a ser considerado, é o fato de que grande maioria das proteínas que compõem a Spirulina também contém aminoácidos tidos como essenciais ao uso dessa microalga e que representam em síntese, cerca de 47% do total das suas proteínas. Lista-se aí a lisina, treonina, valina, metionina, isoleucina, fenilalanina, triptofano, leucina e a metionina, que é um aminoácido que está ausente em grande parte das cianobactérias e algas e microalgas (Omidi *et al.*, 2018).

Na sua composição as vitaminas podem ser encontradas em abundância, tais como: cianocobalamina (B12), pirodoxina (B6), riboflavina (B2), tiamina (B1), tocoferol (E), e fitonadiona (K), além do ácido pantotênico (B5) (Cohen, 1997; Branger *et al.*, 2003; Bernal-Castillo; Rozo; Rodríguez, 2003). Também podem ser encontradas carboidratos, minerais, vitaminas, compostos fenólicos, pigmentos fotossintéticos e ácidos graxos. A parede celular de Spirulina é constituída por mucopolissacarídeos, o que representa uma vantagem quanto a preservação da integridade de componentes como vitaminas e ácidos graxos poliinsaturados (Tomaselli, 1997; Mendonça; Druzian; Nunes, 2012).

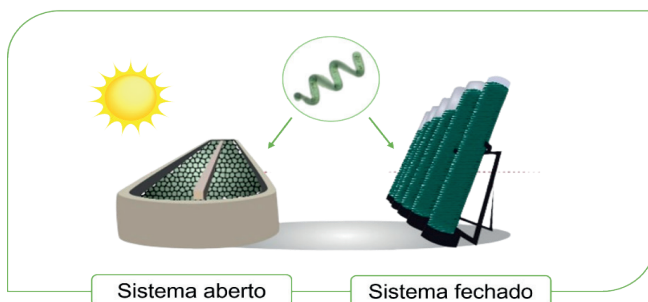
Santos e colaboradores (2017), observaram quantidades consideradas relevantes de fibras, minerais e pigmentos. Sendo que no caso dos pigmentos, destaca-se os β -caroteno, presente em sua clorofila e ainda na sua biomassa. Já no caso dos minerais, os que apresentam maior quantidade presente são: zinco, molibdênio, selênio, potássio, boro, magnésio, manganês, cálcio, fósforo, cobre e ferro.

No cenário do cultivo de microalgas, é fundamental compreender que o crescimento desses organismos é influenciado tanto pelo sistema de cultivo adotado quanto pelas condições do ambiente externo. As diferentes abordagens de cultivo apresentam uma série de benefícios e desafios que impactam diretamente a produtividade e a eficiência desse processo (Sampaio *et al.*, 2016).

4 | MÉTODOS DE PRODUÇÃO E CULTIVO

Os sistemas de cultivo de Spirulina podem ser operados em modo aberto ou fechado (Figura 3), sendo o primeiro o mais comum (Alfadhly *et al.*, 2022b). Nos sistemas de circuito aberto, a Spirulina é cultivada em tanques rasos ao ar livre ou lagoas preenchidas com água e nutrientes. Os tanques requerem agitação contínua para evitar que a Spirulina afunde no fundo e garantir sua exposição adequada à luz e aos nutrientes. Por outro lado, nos sistemas de circuito fechado, os tanques são completamente selados e isolados de fontes externas, como fotobiorreatores, permitindo um controle preciso das condições de crescimento (Nowruzzi, 2022).

Figura 3 - Sistemas de cultivo de Spirulina.



Fonte: Adaptado de Chies, 2017.

Independentemente do tamanho ou tipo do sistema, seja em grande escala para fins comerciais ou em menor escala para uso pessoal, é essencial manter a devida manutenção com limpeza regular e monitoramento de possíveis contaminações (Nosratimovafagh; Fereidouni; Krujatz, 2022). Tem havido um esforço significativo para otimizar a produção de Spirulina, visando melhorar a viabilidade econômica e a sustentabilidade ambiental. Por exemplo, os produtores estão atualmente investindo mais na valorização da biomassa residual e na reutilização e/ou reciclagem de recursos residuais, promovendo uma economia circular (Fernandes *et al.*, 2023).

Existem várias formas de sistemas de cultivo utilizados para o crescimento da Spirulina, cada um com suas características específicas. A Coluna vertical PBR (*Photobioreactor*) consiste em colunas transparentes onde a Spirulina é cultivada, proporcionando alta taxa de produtividade e economia de espaço (Naeini *et al.*, 2021). Existe também o sistema de Placa plana PBR, onde a alga é cultivada em camadas em placas expostas à luz solar ou fontes de iluminação artificial, sendo eficaz para produções em menor escala (Maddiboyina *et al.*, 2023).

Já o sistema PBR tubular possui um formato tubular que facilita o controle do cultivo e a coleta da biomassa pois ele é projetado para fornecer luz artificial internamente, possibilitando o cultivo em ambientes fechados (Maddiboyina *et al.*, 2023). Outra abordagem é o sistema híbrido, que combina diferentes sistemas de cultivo para maximizar a produtividade e otimizar o controle das condições. Além disso, têm-se os sacos de polietileno, onde a Spirulina é cultivada em sacos plásticos transparentes, permitindo a exposição à luz e facilitando a colheita (Arruda *et al.*, 2013)

A alga requer intensa luz solar ou fontes de iluminação artificial para realizar a fotossíntese e produzir energia (Milia *et al.*, 2022). Além disso, necessita de nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e traços de minerais, para seu desenvolvimento (Pandey; Tiware; Mashra, 2010).

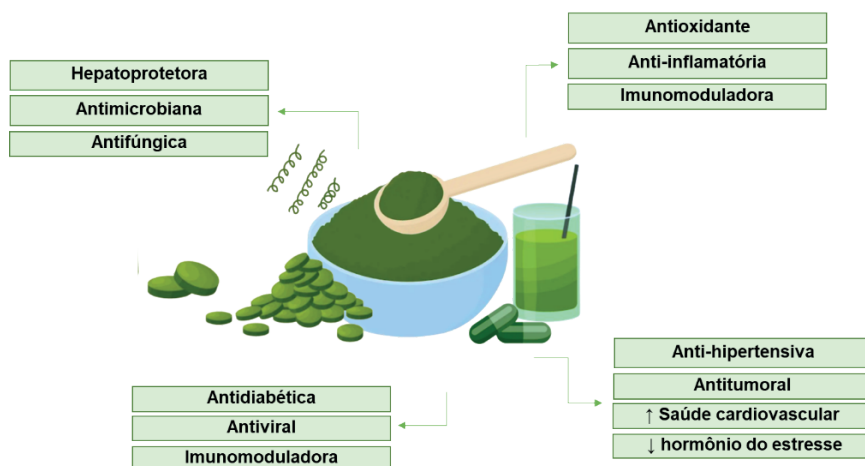
A temperatura ideal para o cultivo da Spirulina varia entre 30°C e 35°C. Temperaturas fora dessa faixa podem afetar negativamente seu crescimento. A Spirulina prefere um pH alcalino, geralmente entre 8,0 e 11,0, valores abaixo ou acima dessa faixa podem inibir seu crescimento. Em sistemas fechados, a agitação é importante para garantir a distribuição homogênea dos nutrientes e evitar a sedimentação da biomassa (Jester *et al.*, 2022).

É fundamental monitorar e controlar adequadamente o ambiente de cultivo para evitar a contaminação por outros microrganismos indesejados. Quanto aos diferentes processos de secagem da biomassa, pode-se empregar a convecção, radiação, atomização e utilização de vácuo (Gratos, 2019; Grosshagauer *et al.*, 2020). Esses métodos e sistemas são aplicados de acordo com as necessidades específicas de cada produtor de Spirulina e as condições ambientais em que o cultivo é realizado. Cabe destacar que a indústria da Spirulina está em constante evolução, buscando constantemente novas técnicas e tecnologias para aumentar a produtividade e a eficiência do processo de cultivo e produção (Ansari *et al.*, 2023).

5 | BIOATIVIDADES E APLICAÇÕES

Dentre suas propriedades biológicas mais destacadas, a Spirulina apresenta atividade antioxidante, ajudando a combater o estresse oxidativo e protegendo as células contra danos causados pelos radicais livres (Mirzaie *et al.*, 2018; Fradinho *et al.*, 2020; Nakata *et al.*, 2021b; Trotta *et al.*, 2022; Otero; Verdasco-Martín, 2023). Além disso, demonstra atividade anti-inflamatória e imunomoduladora, estimulando o sistema imunológico e reduzindo a produção de citocinas pró-inflamatórias (Nasirian *et al.* 2018; Lee *et al.*, 2022). A Figura 4 resume as propriedades associadas à esta microalga.

Figura 4 – Propriedades biológicas encontradas na Spirulina.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Estudos têm apontado benefícios da Spirulina na saúde cardiovascular, visto que pode reduzir os níveis de colesterol total e triglicerídeos, enquanto aumenta o colesterol “bom” (HDL) (Rahnama *et al.*, 2023). Essas propriedades têm atraído atenção para seu potencial uso como coadjuvante no tratamento de doenças inflamatórias, autoimunes e na prevenção de infecções.

Os estudos científicos revelam de maneira conclusiva o notável potencial da Spirulina como fonte eficaz de ficocianina, um pigmento crucial e conhecido por suas propriedades anti-inflamatórias. Eriksen (2016) destacou que a Spirulina é única em sua habilidade de produzir naturalmente a ficocianina sob condições fotoautotróficas, ressaltando assim sua relevância como fonte confiável deste composto.

Investigações conduzidas por Romay *et al.* (1998) apresentaram resultados promissores ao explorar a atividade anti-inflamatória da ficocianina pura em modelos experimentais *in vivo*. A ficocianina mostrou-se eficaz como agente anti-inflamatório em todos os modelos analisados, sublinhando seu potencial terapêutico na gestão de condições

inflamatórias diversas. Além disso, a pesquisa realizada por Vázquez-Velasco *et al.* (2014) trouxe uma perspectiva valiosa ao demonstrar que a Spirulina não apenas contém uma quantidade significativa de ficocianina, mas também atua como uma defesa natural contra os efeitos pró-inflamatórios negativos induzidos pelo glucomanano.

Mirzaie *et al.* (2018) e Pappas *et al.* (2021) evidenciaram uma redução na concentração do hormônio do estresse e melhorias no desempenho físico, respectivamente. Esses resultados possivelmente estão relacionados ao sistema imunológico (Martínez; Alvarez-Mon, 1999). Além disso, ela demonstra propriedades antitumorais e hepatoprotetoras (Doke, 2005).

Alguns estudos também têm destacado a notável capacidade antimicrobiana da Spirulina. Por exemplo, Kokou e colaboradores (2012) conduziram pesquisas que confirmaram a ação antibacteriana da Spirulina contra seis cepas diferentes de *Vibrio*, incluindo *V. anguillarum*, *V. splendidus*, *V. parahaemolyticus*, *V. scophthalmi*, *V. lentus* e *V. alginolyticus*. Além disso, Özdemir *et al.* (2004) realizaram testes abrangentes, revelando que o extrato de metanol da *S. platensis* se destacou como uma das frações mais potentes em termos de atividade antimicrobiana. Em investigações subsequentes, Santoyo *et al.* (2006) reforçaram a evidência da atividade antimicrobiana da *S. platensis*, utilizando uma variedade de solventes de extração, incluindo etanol, hexano e éter de petróleo. Eles observaram a capacidade da Spirulina de inibir o crescimento de várias bactérias, incluindo *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger* e *Candida albicans*.

Seus benefícios também englobam atividades, como antifúngicas, antivirais e antiparasitárias, destacando sua versatilidade na promoção da saúde (Jensen; Ginsberg; Drapeau, 2001; Khan; Bhadouria; Bisen, 2005). Além disso, a Spirulina demonstrou possuir funções imunomoduladoras e antidiabéticas, além de contribuir para melhorias no perfil lipídico, oferecendo uma gama abrangente de benefícios à saúde (Joventino *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2015; Finamore *et al.*, 2017).

Um aspecto particularmente notável é o impacto positivo da Spirulina na pressão arterial. Ao longo dos anos, diversos estudos têm documentado sua atividade anti-hipertensiva. Essa capacidade foi observada tanto em seres humanos, por meio de administração oral, quanto em experimentos com roedores e ensaios *in vitro* (Miczke *et al.*, 2016; Heo *et al.*, 2017). Esses resultados enfatizam o potencial da Spirulina como uma intervenção natural eficaz na regulação da pressão arterial, ressaltando sua importância no contexto da saúde cardiovascular.

A Spirulina tem se destacado notavelmente, revelando um vasto potencial terapêutico e nutricional. Assim, devido à sua composição nutricional e ações biológicas, a Spirulina tem sido investigada para desenvolvimento de suplementos alimentares, produtos funcionais e medicamentos naturais (Guldas *et al.*, 2021; Masten *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a extensa variedade de aplicações que esta microalga oferece tanto na indústria alimentícia quanto na área da saúde é destacada na literatura. Assim, a

Spirulina tem sido incorporada de maneira versátil em diversas formas de suplementação, abrangendo desde massas (Fradique *et al.*, 2010; Marco *et al.*, 2014; Fradinho *et al.*, 2020; Raczyk *et al.*, 2022) até biscoitos (Batista *et al.*, 2017), salgadinhos (Lucas *et al.*, 2018), iogurtes (Barkallah *et al.*, 2017; Beheshtipour *et al.*, 2012), barras de lanches (Leal-Esteban *et al.*, 2021; Uribe-Wandurraga *et al.*, 2020), crostinis (Niccolai *et al.*, 2019) e até mesmo em pasta fresca (Fradinho *et al.*, 2020).

Essas pesquisas refletem claramente a diversidade de aplicações e o interesse contínuo na utilização da Spirulina na indústria alimentícia. Além disso, é importante notar que, em patentes estudadas, a Spirulina é frequentemente combinada com outros ingredientes, como açaí, *moringa oleifera*, frutas, vegetais, vitaminas, extratos em pó e outros, a fim de criar produtos alimentares mais ricos em nutrientes e dotados de propriedades funcionais. Essa abordagem de combinação ressalta ainda mais o potencial da Spirulina como um ingrediente versátil e saudável na criação de alimentos inovadores e nutritivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou o potencial promissor da Spirulina como um recurso alimentar e tecnológico valioso. Sua composição química única, rica em proteínas, aminoácidos essenciais, vitaminas, minerais e compostos bioativos, a torna uma fonte alimentar e terapêutica de grande potencial. Além de oferecer uma solução valiosa no combate à escassez de alimentos, a Spirulina demonstra propriedades biológicas significativas. Seu papel na promoção da saúde cardiovascular, regulação da pressão arterial e ação antimicrobiana contribui para seu destaque na manutenção do bem-estar. Sua versatilidade na indústria alimentícia, incorporada em diversos produtos, reflete o crescente interesse em sua utilização na criação de alimentos inovadores e funcionais. Assim, à medida que a Spirulina continua a ganhar reconhecimento, é imperativo que a comunidade científica, a indústria e os governos se unam para explorar todo o potencial desse microrganismo versátil.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF) da Universidade Federal do Piauí.

REFERÊNCIAS

ALFADHLY, N. K. Z.; ALHELFI, N.; ALTEMIMI, A. B.; VERMA, D. K.; CACCIOLA, F. Tendencias Affecting the Growth and Cultivation of Genus Spirulina: An Investigative Review on Current Trends. **Plants**, v. 11, n. 22, p. 3063, 2022a.

ALFADHLY, N.K.Z.; ALHELFI, N.; ALTEMIMI, A.B.; VERMA, D.K.; CACCIOLA, F.; NARAYANANKUTTY, A. Trends and Technological Advancements in the Possible Food Applications of Spirulina and Their Health Benefits: A Review. **Molecules**, v. 27, n. 17, p. 5584, 2022b.

AMBROSI, M. A.; REINEHR, C. O.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V.; COLLA, L. M. Propriedades de saúde de Spirulina spp. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 29, n.2, p. 109-117, 2008.

ANSARI, R.; FOROUGHINIA, F.; DADBAKSH, A. H.; AFSARI, F.; ZARSHENAS, M. M. An overview of pharmacological and clinical aspects of Spirulina. **Current drug discovery technologies**, v. 20, n. 2, p. e291122211363, 2023.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Instrução Normativa - in nº 28, de 26 de julho de 2018**. Diário Oficial da União. Publicado em: 27/07/2018 | edição: 144 | seção: 1 | página: 141. 2018.

ARRUDA, R. O. M.; BARBOSA, D. C. C. R.; MEDEIROS, M. M.; OLIVEIRA, M. R.; FRATTINI, W. C. Aspectos fermentativos de *spirulina platensis* sob condições naturais de temperatura e iluminação. **Revista Saúde**, v. 7, p. 14–22, 2013.

BARKALLAH, M.; DAMMAK, M.; LOUATI, I.; HENTATI, F.; HADRICHS, B.; MECHICHI, T.; *et al.* Effect of Spirulina platensis fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. **Food Science and Technology**, v. 84, p. 323-330, 2017.

BATISTA, A. P.; NICCOLAI, A.; FRADINHO, P.; FRAGOSO, S.; BURSIC, I.; RODOLFI, L.; BIONDI, N.; TREDICI, M. R.; SOUSA, I.; RAYMUNDO, A. Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. **Algal Research**, v. 26, p. 161-171, 2017.

BEHESHTIPOUR, H.; MORTAZAVIAN, A.M.; HARATIAN, P.; DARANI, K.K. Effects of Chlorella vulgaris and *Arthrospira platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. **European Food Research and Technology**, v. 235, n. 4, p. 719-728, 2012.

BERNAL-CASTILLO, J.; ROZO, C.; RODRÍGUEZ, G. Spirulina (arthrospira): An edible microorganism: a review. **Universitas Scientiarum**, v. 8, n. 1, p. 7–24, 2003.

BRANGER, B.; CADUDAL, J. L.; DELOBEL, M.; OUOBA, H.; YAMEOGO, P.; OUEDRAOGO, D.; GUERIN, D.; VALEA, A.; ZOMBRE, C.; ANCEL, P. Spirulina as a food supplement in case of infant malnutrition in Burkina-Faso. **Archives de pédiatrie**, v. 10, p. 424- 431, 2003.

CALELLA, P.; CERULLO, G.; DI DIO, M.; LIGUORI, F.; DI ONOFRIO, V.; GALLÈ, F.; LIGUORI, G. Antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory effects of spirulina in exercise and sport: A systematic review. **Frontiers in nutrition**, v. 14, n. 9, p. 1048258, 2022.

CHIES, V. **Pesquisa encontra microalgas que crescem em resíduos e geram biocombustíveis**, [www.embrapa.br](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/20361833/pesquisa-encontra-microalgas-que-crescem-em-residuos-e-geram-biocombustiveis), disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/20361833/pesquisa-encontra-microalgas-que-crescem-em-residuos-e-geram-biocombustiveis>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

COHEN, Z. **The chemical of Spirulina**. In: VONSHANK, A., ed. *Spirulina plantesis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. London: Taylor and Francis, p. 175- 204, 1997.

COSTA, J. A. V.; FREITAS, B. C. B.; ROSA, G. M.; MORAES, L.; MORAIS, M. G.; MITCHELL, B. G. **Operational and economic aspects of Spirulina-based biorefinery**. *Bioresour. Technol.*, v. 292, 121946, 2019.

DOKE, J. M. An Improved and Efficient Method for the Extraction of Phycocyanin from *Spirulina* sp. **International Journal of Food Engineering**, v. 1, n. 5, 2005.

DOLGANYUK, V.; BELOVA, D.; BABICH, O.; PROSEKOV, A.; IVANOVA, S.; KATSEROV, D.; PATYUKOV, N.; SUKHIKH, S. Microalgae: A promising source of valuable bioproducts. **Biomolecules**, v. 10, n. 8, p. 1–24, 2020.

ECYCLE. **Spirulina: o que é e para que serve**. 2019. Disponível em. EXPRESSO, C. Cultivo de spirulina avança no Brasil com produção em grande escala no Mato Grosso. Disponível em <<https://www.expressodocerrado.com.br/2020/03/06/cultivodespirulina-avanca-no-brasil-com-producao-em-grande-escala-no-mato-grosso/>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

ELFAR, O. A.; BILLA, N.; LIM, H. R.; CHEW, K. W.; CHEAH, W. Y.; MUNAWAROH, H. S. H.; BALAKRISHNAN, D.; SHOW, P. L. **Advances in delivery methods of Arthrospira platensis (spirulina) for enhanced therapeutic outcomes**. *Bioengineered*, v. 13, n. 6, p. 14681-14718, 2022.

ERIKSEN, N. T. Research trends in the dominating microalgal pigments, β -carotene, astaxanthin, and phycocyanin used in feed, in foods, and in health applications. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 6, n. 507, 2016.

EXPRESSO, C. **Cultivo de spirulina avança no Brasil com produção em grande escala no Mato Grosso**. Disponível em < <https://www.expressodocerrado.com.br/2020/03/06/cultivode-spirulina-avanca-no-brasil-com-producao-em-grande-escala-no-mato-grosso/>>. Acesso em: 26 de mai. de 2023.

FAO (Food and Agriculture organization of the united nations). **Produção de spirulina em São Tomé – uma possibilidade promissora para o estado nutricional dos são-tomenses**. Disponível em: < <https://www.fao.org/sao-tome-e-principe/noticias/detail-events/pt/c/1181265/> >. Acesso em 30 de set. de 2023.

FERREIRA-CAMARGO, L. S.; BORBA, V. I. A. Cianobactéria *Arthrospira (spirulina) platensis*: Biotecnologia e aplicações. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, v. 1, p. 1-23, 2019.

FIGUEIRA, F. S.; CRIZEL, T. M.; SILVA, C. R.; MERCEDES, M. Pão sem glúten enriquecido com microalga *Spirulina platensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, p. 308-316, 2011.

FINAMORE, A.; PALMERY, M.; BENSEHAILA, S.; PELUSO, I. Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly *Spirulina*. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2017, p. 1-14, 2022.

FRADINHO, P.; NICCOLAI, A.; SOARES, R.; RODOLFI, L.; BIONDI, N.; TREDICI, M. R.; SOUSA, I.; RAYMUNDO, A. Effect of *Arthrospira platensis* (spirulina) incorporation on the rheological and bioactive properties of gluten-free fresh pasta. **Algal Research**, v. 45, p. 101743, 2022.

FRADIQUE, M.; BATISTA, A.P.; NUNES, M.C.; GOUVEIA, L.; BANDARRA, N.M.; RAYMUNDO, A. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 10, p. 1656-1664, 2010.

GRATOS, I. S. **Estudo da Secagem Intermitente da microalga *Spirulina platensis***. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

GROSSHAGAUER, S.; KRAEMER, K.; SOMOZA, V. The true value of *Spirulina*. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 68, n. 14, p. 4109–4115, 2020.

GULDAS, M.; ZIYANOK-DEMIRTAS, S.; SAHAN, Y.; YILDIZ, E.; GURBUZ, O. Antioxidant and anti-diabetic properties of *Spirulina platensis* produced in Turkey. **Food Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 615–625, 2021.

HARDY, R. W. **Worldwide fishmeal production outlook and the use alternative protein meals for aquaculture**. VIII SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUICOLA, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterey, Nuevo León, México, p. 410-419, 15-17 nov. 2006.

HEO, S. Y.; KO, S. C.; KIM, C. S.; OH, G. W.; RYU, B.; QIAN, Z. J.; KIM, G.; PARK, W. S.; CHOI, I. W.; PHAN, T. T.; HEO, S. J.; KANG, D. H.; YI, M.; JUNG, W. K. A heptameric peptide purified from *Spirulina* sp. Gastrointestinal hydrolysate inhibits angiotensin I converting enzyme and angiotensin II-induced vascular dysfunction in human endothelial cells. **International Journal of Molecular Medicine**, v. 39, p. 1072-1082, 2017.

HERNÁNDEZ LEPE, M. A.; WALL-MEDRANO, A.; JUÁREZ-OROPEZA, M. A.; RAMOS-JIMÉNEZ, A.; HERNÁNDEZ-TORRES, R. P. *Spirulina* and its hypolipidemic and antioxidant effects in humans: a systematic review. **Nutrición Hospitalaria**, v. 32, p. 494-500, 2015.

JESTER, B. W.; ZHAO, H.; GEWE, M.; ADAME, T.; PERRUZZA, L.; BOLICK, D. T.; AGOSTI, J.; KHUONG, N.; KUESTNER, R.; GAMBLE, C.; CRUICKSHANK, K.; FERRARA, J.; LIM, R.; PADDOCK, T.; BRADY, C.; ERTEL, S.; ZHANG, M.; POLLOCK, A.; LEE, J.; XIONG, J.; TASCH, M.; SAVERIA, T.; DOUGHTY, D.; MARSHALL, J.; CARRIERI, D.; GOETSCH, L.; DANG, J.; SANJAYA, N.; FLETCHER, D.; MARTINEZ, A.; KADIS, B.; SIGMAR, K.; AFREEN, E.; NGUYEN, T.; RANDOLPH, A.; TABER, A.; KRZESZOWSKI, A.; ROBINETT, B.; VOLKIN, D.B.; GRASSI, F.; GUERRANT, R.; TAKEUCHI, R.; FINROW, B.; BEHNKE, C.; ROBERTS, J. Development of spirulina for the manufacture and oral delivery of protein therapeutics. **Nature Biotechnology**, v. 40, n. 6, p. 956–964, 2022.

JENSEN, G.; GINSBERG, D.; DRAPEAU, C. Blue-Green Algae as an Immuno-Enhancer and Biomodulator. **Winter**, v. 3, p. 24-30, 2001.

JONH, L. **Mais energia e imunidade com a espirulina brasileira**. Conexão Planeta: inspiração para ação. 2016. Disponível em: <<https://conexaoplaneta.com.br/blog/mais-energia-e-imunidade-com-a-espirulina-brasileira/>>. Acesso em 30 de set. de 2023.

JOVENTINO, I. P.; ALVES, H. G.; NEVES, L. C.; PINHEIRO-JOVENTINO, F.; LEAL, L. K.; NEVES, S. A.; FERREIRA, F. V.; BRITO, G. A.; VIANA, G. B. The Microalga *Spirulina platensis* Presents Anti-inflammatory Action as well as Hypoglycemic and Hypolipidemic Properties in Diabetes Rats. **Journal of Complementary and Integrative Medicine**, v. 9, p. 1553-3840, 2012.

KARAM, L. M.; SOCCOL, C. R. Efeito da temperatura e pH no cultivo de *Spirulina major*. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 10, n. 7, p. 5-7, 2007.

- KHAN, Z.; BHADOURIA, P.; BISEN, P.S. Nutritional and therapeutic potential of Spirulina. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, v. 6, p. 373-379, 2005.
- KOKOU, F.; MAKRIDIS, P.; KENTOURI, M.; DIVANACH, P. Anti-bacterial activity in microalgae cultures. **Aquaculture Research**, v. 43, p. 1520-1527, 2012.
- KUSMAYADI, A.; LEONG, Y. K.; YEN, H. W.; HUANG, C. Y.; CHANG, J. S. Microalgae as sustainable food and feed sources for animals and humans - Biotechnological and environmental aspects. **Chemosphere**, v. 271, n. 129800, p. 1–9, 2021.
- LEAL-ESTEBAN, L. C.; NOGUEIRA, R. C.; VEAUUVY, M.; MASCARENHAS, B.; MHATRE, M.; MENON, S.; GRAZ, B.; VON DER WEID, D. Spirulina supplementation: A double-blind, randomized, comparative study in young anemic Indian women. **Clinical Epidemiology and Global Health**, v. 12, p. 1, 2021.
- LEE, C. W.; BAE, G. Y.; BAE, S. H.; SUH, H. J.; JO, K. Increased thermal stability of phycocyanin extracted from *Spirulina platensis* by cysteine addition during enzyme extraction. **Food Science and Technology**, v. 42, p. e15021, 2021.
- LUCAS, B.F.; DE MORAIS, M.G.; SANTOS, T.D.; COSTA, J.A.V. Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. **Food Science and Technology**, v. 90, p. 270-276, 2018.
- MADDIBOYINA, B.; VANAMAMALAI, H.K.; ROY, H.; RAMAIAH; GANDHI, S.; KAVISRI, M.; MOOVENDHAN, M. Food and drug industry applications of microalgae *Spirulina platensis*: A review. **Journal of Basic Microbiology**, v. 63, n. 6, p. 573–583, 2023.
- MARCO, E.R.; STEFFOLANI, M.E.; MARTÍNEZ, C.S.; LEÓN, A.E. Effects of spirulina biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. **Food Science and Technology**, v. 58, n. 1, p. 102-108, 2014.
- MARTÍNEZ, A. C.; ALVAREZ-MON, M. O sistema imunológico (I): Conceitos gerais, adaptação ao exercício físico e implicações clínicas. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 5, n. 3, 1999.
- MELO, R. D.; SILVA, J. Y. P. D.; SILVA, T. D. O. L. E.; SOARES, J. K. B.; OLIVEIRA, M. E. G. D.; DONATO, N. R. Desenvolvimento e avaliação física, físico-química e sensorial de massa alimentícia fresca enriquecida com *Spirulina platensis*: uma alternativa para alimentação infantil. **Research, Society and Development**, v. 9, p. e426984798, 2020.
- MENDONÇA, T. A.; DRUZIAN, J. I.; NUNES, I. L. Prospecção tecnológica da utilização da *Spirulina platensis*. **Cadernos de Prospecção**, v. 5, n.1, p.44-52, 2012.
- MICZKE, A.; SZULIŃSKA, M.; HANSDORFER-KORZON, R.; KRĘGIELSKA-NAROŻNA, M.; SULIBURSKA, J.; WALKOWIAK, J.; BOGDAŃSKI, P. Effects of spirulina consumption on body weight, blood pressure, and endothelial function in overweight hypertensive Caucasians: a double-blind, placebo-controlled, randomized trial. **European Review for Medical and Pharmacological Sciences**, v. 20, n. 1, p. 150-156, 2016.
- MILIA, M.; CORRIAS, F.; ADDIS, P.; CHINI ZITELLI, G.; CICCHI, B.; TORZILLO, G.; ANDREOTTI, V.; ANGIONI, A. Influence of Different Light Sources on the Biochemical Composition of *Arthrospira spp.* Grown in Model Systems. **Foods**, v. 11, p. 399, 2022.

MIRZAI, S.; ZIRAK-KHATTAB, F.; HOSSEINI, S.A.; DONYAEI-DARIAN, H. Effects of dietary Spirulina on antioxidant status, lipid profile, immune response, and performance characteristics of broiler chickens reared under high ambient temperature. **Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 4, p. 556–563, 2018.

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

NAEINI, F.; ZAREZADEH, M.; MOHITI, S.; TUTUNCHI, H.; EBRAHIMI MAMAGHANI, M.; OSTADRAHIMI, A. Spirulina supplementation as an adjuvant therapy in enhancement of antioxidant capacity: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. **International journal of clinical practice**, v. 75, n. 10, p. e14618, 2021.

NAKATA, H.; NAKAYAMA, S. M. M.; KATABA, A.; YOHANNES, Y. B.; IKENAKA, Y.; ISHIZUKA, M. Evaluation of the ameliorative effect of Spirulina (*Arthrospira platensis*) supplementation on parameters relating to lead poisoning and obesity in C57BL/6J mice. **Journal of Functional Foods**, v. 77, 2021.

NASIRIAN, F.; DADKHAH, M.; MORADI-KOR, N.; OBEIDAVI, Z. Effects of Spirulina platensis microalgae on antioxidant and anti-inflammatory factors in diabetic rats. **Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy**, v. 11, p. 375, 2018.

NICCOLAI, A.; VENTURI, M.; GALLI, V.; PINI, N.; RODOLFI, L.; BIONDI, N.; D'OTTAVIO, M.; BATISTA, A.P.; RAYMUNDO, A.; GRANCHI, L.; TREDICI, M.R. Development of new microalgae-based sourdough “crostini”: functional effects of *Arthrospira platensis* (spirulina) addition. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2019.

NOSRATIMOFAFAGH, A.; FEREDOUNI, A. E.; KRUIJATZ, F. Modeling and Optimizing the Effect of Light Color, Sodium Chloride and Glucose Concentration on Biomass Production and the Quality of *Arthrospira platensis* Using Response Surface Methodology (RSM). **Life**, v. 12, n. 3, 1 mar. 2022.

NOWRUZI, B. **Produtos naturais de cianobactérias como fontes para direções futuras na descoberta de drogas antibióticas**. Em Cyanobacteria — Recentes Avanços e Novas Perspectivas. IntechOpen: Londres, Reino Unido, 2022.

OLIVEIRA, C. A.; CAMPOS, A. A. O.; RIBEIRO, S. M. R.; OLIVEIRA, W. C.; NASCIMENTO, A. G. Potencial nutricional, funcional e terapêutico da cianobactéria Spirulina. **RASBRAN**, v. 5, n. 1, p. 52-59, 2013.

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

ONU (Organização das Nações Unidas). **A ONU e a população mundial**. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/> >. Acesso em 30 de jun. de 2023.

OTERO, C.; VERDASCO-MARTÍN, C. M. Preparation and Characterization of a Multicomponent *Arthrospira platensis* Biomass Hydrolysate with Superior Anti-Hypertensive, Anti-Hyperlipidemic and Antioxidant Activities via Selective Proteolysis. **Marine Drugs**, v. 21, n. 4, 2023.

ÖZDEMİR, G.; KARABAY, N.U.; DALAY, M.C.; PAZARBASI, B. Antibacterial activity of volatile component and various extracts of Spirulina platensis. **Phytotherapy Research**, v. 18, p. 754-757, 2004.

- PANDEY, J. P.; TIWARE, A.; R. M. M. Evaluation of Biomass Production of *Spirulina maxima* on Different Reported Media. **Journal of Algal Biomass Utilization**, v. 1, n. 3, p. 70–81, 2010.
- PAPPAS, A.; TSIOKANOS, A.; FATOUROS, I. G.; POULIOS, A.; KOURETAS, D.; GOUTZOURELAS, N.; GIAKAS, G.; JAMURTAS, A. Z. The Effects of *Spirulina* Supplementation on Redox Status and Performance Following a Muscle Damaging Protocol. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 7, p. 3559, 2021.
- PARK, W.S.; KIM, H.J.; LI, M.; LIM, D.H.; KIM, J.; KWAK, S.S.; KANG, C.M.; FERRUZZI, M.G.; AHN, M.J. Two Classes of Pigments, Carotenoids and C-Phycocyanin, in *Spirulina* Powder and Their Antioxidant Activities. **Molecules**, v. 23, n. 8, p. 2065, 2018.
- PERON, B.C. Desenvolvimento de massa alimentícia sem glúten com adição de *Spirulina platensis*. Universidade Federal do Paraná. 2015.
- RACZYK, M.; POLANOWSKA, K.; KRUSZEWSKI, B.; GRYGIER, A.; MICHAŁOWSKA, D. Effect of *Spirulina (Arthrospira platensis)* Supplementation on Physical and Chemical Properties of Semolina (*Triticum durum*) Based Fresh Pasta. **Molecules**, v. 27, p. 355, 2022.
- RAHNAMA, I.; ARABI, S.M.; CHAMBARİ, M.; BAHRAMİ, L.S.; HADİ, V.; MIRGHAZANFARİ, S.M.; RIZZO, M.; HADİ, S.; SAHEBKAR, A. The effect of *Spirulina* supplementation on lipid profile: GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis of data from randomized controlled trials. **Pharmacological Research**, v. 193, p. 106802, 2023.
- ROMAY, C.; LEDON, N.; GONZALEZ, R. Further studies on anti-inflammatory activity of phycocyanin in some animal models of inflammation. **Inflammation Research**, v. 47, p. 334-338, 1998.
- MASTEN, R. J.; JAGODIC HUDOBIVNIK, M.; NEČEMER, M.; VOGEL MIKUŠ, K.; ARČON, I.; OGRINC, N. Nutritional Quality and Safety of the *Spirulina* Dietary Supplements Sold on the Slovenian Market. **Foods**, v. 11, n. 6, 1 mar. 2022.
- SAMPAIO, U.M.; SIQUEIRA, K.F.; STARLING, C.A.; ARAUJO, F.I.R.O. Aspectos Gerais de Cultivo, Métodos de Secagem e Características da Cianobacteria *Spirulina platensis*. **Revista Processos Químicos**, v. 10, p. 133-143, 2016.
- SANTOS, A.O.; SILVA, T.C.; SILVA, N.C.; DUARTE, C.R.; BARROZO, M.A.S. **Impacto da desidratação por micro-ondas nos compostos bioativos da *Spirulina platensis***. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica UFSCar – São Carlos – SP 16 a 19 de Jul. de 2017.
- SANTOYO, S.; HERRERO, S.; SEÑORANS, M.; CIFUENTES, F.; IBÁÑEZ, A. Functional characterization of pressurized liquid extracts of *Spirulina platensis*. Eur. **European Food Research and Technology**, v. 224, p. 75-81, 2006.
- SATHASIVAM, R.; RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD ALLAH, E. F. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p. 709–722, 2019.
- SHANTHI, G.; PREMALATHA, M.; ANANTHARAMAN, N. Effects of l-amino acids as organic nitrogen source on the growth rate, biochemical composition, and polyphenol content of *Spirulina platensis*. **Algal Research**, v. 35, p. 471-478, 2018.

SOUZA, I. C.; SILVA, V. P. O.; LEMOS SEGUNDO, R. P. de; SILVA, J. P. da; CLEMENTINO, A. P. G.; SILVA, R. T. da; FERNANDES, J. de M.; SILVA, J. A. da Suplementação da biomassa de spirulina platensis em ratos sedentários e treinados como fator antioxidante. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27824–27843, 2020.

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

TROTTA, T.; PORRO, C.; CIANCIULLI, A.; PANARO, M.A. Beneficial Effects of Spirulina Consumption on Brain Health. **Nutrients**, v. 14, n. 3, p. 676, 2022.

URIBE-WANDURRAGA, Z. N.; ZHANG, L.; NOORT, M. W. J.; SCHUTYSER, M. A. I.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Printability and Physicochemical Properties of Microalgae-Enriched 3D-Printed Snacks. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 11, p. 2029–2042, 2020.

VÁZQUEZ-VELASCO, M.; GONZÁLEZ-TORRES, L.; LÓPEZ-GASCO, P.; BASTIDA, S.; BENEDÍ, J.; SÁNCHEZ-REUS, M.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, M.; SÁNCHEZ-MUNIZ, F. Liver oxidation and inflammation in Fa/Fa rats fed glucomannan/Spirulina-surimi. **Food Chemistry**, v. 159, p. 215-221, 2014.

VONSHAK, A. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. London: Taylor & Francis; 1997. ZAHIN, M.; AQIL, F.; AHMAD, I. Broad spectrum antimutagenic activity of antioxidant active fraction of Punica granatum L. peel extracts. **Mutation Research**, v. 703, n. 2, p. 99-107, 2010.