



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



SPIRULINA: UMA REVISÃO

PATOS DE MINAS, MG
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



SPIRULINA: UMA REVISÃO

Mariana Martins Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Patos de Minas como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Letícia Rocha Guidi

PATOS DE MINAS, MG

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP
38400-902
Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO

MARIANA MARTINS FERREIRA

Spirulina: uma revisão

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof.^a Dr.^a Letícia Rocha Guidi
Orientador(a) - UFU

Dr. Guilherme Coelho Lopes dos Reis
Membro da banca

Prof.^a Dr.^a Marta Fernanda Zotarelli
Membro da banca - UFU

Patos de Minas, 29 de junho de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Coelho Lopes dos Reis, Usuário Externo**, em 29/06/2020, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zotarelli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/06/2020, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Letícia Rocha Guidi, Presidente**, em 29/06/2020, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2071435** e o código CRC **519E987F**.

Referência: Processo nº 23117.085929/2019-15

SEI nº 2071435

"A persistência é o caminho do êxito".

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus queridos pais, José Mauro e Ana Rita, pelo amor, incentivo e apoio incondicionais.

Aos meus irmãos Lucas e Mateus, à minha afilhada Alice e as pessoas mais próximas que sempre se fizeram presentes quando precisei.

Aos meus familiares que me incentivaram nas minhas escolhas.

Aos meus novos e velhos amigos que apoiaram e torceram pelas minhas conquistas, além de terem proporcionado momentos únicos de distração durante esta caminhada. Principalmente à Júlia Arakaki, que vivenciou 24h das minhas alegrias e angústias.

Aos meus colegas de sala e aos que deixaram o curso, mas que em algum momento fizeram parte desta etapa da minha vida.

A todas as entidades das quais participei, dentre elas a Associação Atlética Acadêmica das Engenharias e Biotecnologia (A.A.A.E.B.), na qual vivi momentos únicos de diversão e aprendizado. Sou imensamente grata ao Programa de Educação Tutorial (PET), pelo crescimento que obtive, pelas amizades feitas para a vida toda e, em especial, ao tutor Prof. Dr. Danylo Silva que tanto me ensinou e ajudou.

Aos meus professores, técnicos e demais funcionários que fizeram parte da minha formação, em especial à minha orientadora Prof^ª. Dr^a. Letícia Rocha Guidi. Com seu jeito dócil e conhecimento impecável, fez com que meu trabalho fosse concluído com êxito. Também à minha orientadora de pesquisa científica e de estágio, Prof^ª. Dr^a. Marieli de Lima, que muito me ensinou e acrescentou ao meu conhecimento no decorrer do curso.

À banca examinadora, Dr. Guilherme Coelho Lopes dos Reis e Prof^ª. Dr^a. Marta Fernanda Zotarelli, por terem aceitado o convite e por valorizarem o meu trabalho.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

Aos meus pais José Mauro e Ana Rita,
meus irmãos Lucas e Mateus.
A toda família e amigos, dedico.

RESUMO

A *Arthrospira* (Spirulina) é uma cianobactéria que pode ser utilizada como suplemento alimentar humano e animal, na indústria de cosméticos e de medicamentos, entre outros, devido à sua composição rica em proteína, aminoácidos, minerais e vitaminas. Além disso, a Spirulina possui corantes naturais tais como ficocianinas, carotenoides e clorofila, os quais tem grande potencial de aplicações em diversas indústrias. O seu cultivo requer condições brandas, podendo ser em sistemas abertos ou fechados, água doce ou salgada. No Brasil e no mundo, essa alga é comercializada, principalmente, na forma de comprimidos, flocos e pó, podendo ser utilizada, ainda, como ingrediente. Para facilitar seu transporte e a comercialização, a secagem é uma operação importante, visto que reduz o volume a ser transportado, diminuindo o custo do transporte e, principalmente, aumentando a durabilidade do produto. Sendo assim, a secagem em bandejas, por atomização, a vácuo, por liofilização, entre outros, são métodos que possuem eficácia nesse procedimento. Do ponto de vista dos aspectos bioativos, o consumo de Spirulina aumenta a digestibilidade, além dessa alga ter aplicações terapêuticas e ser fonte natural de nutrientes essenciais. Visando agregar valor a diferentes alimentos, vários trabalhos foram desenvolvidos adicionando-se a Spirulina como ingrediente em bebidas, chocolates, biscoitos e outros, a fim de melhorar a composição, o aporte de nutrientes e a qualidade do produto. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sobre a Spirulina, abordando seus benefícios, cultivo e aplicação na área de Engenharia de Alimentos.

Palavras chaves: *Arthrospira*, nutrição, cultivo, secagem, aplicações.

ABSTRACT

Arthrospira (Spirulina) is a cyanobacterium that can be used as a human and animal food supplement in cosmetics and medicine industries, among others, due to its composition rich in protein, amino acids, minerals and vitamins. In addition, Spirulina has natural dyes such as phycocyanin, carotenoid and chlorophyll, which have great potential for applications in various industries. Its cultivation requires mild conditions and it can be done in open or closed systems, fresh or saltwater. In Brazil and worldwide, this seaweed is sold mainly in tablets, flakes and powder, and can also be used as an ingredient. To facilitate transportation and commercialization, drying is an important operation, since it reduces the volume to be transported, decreasing the cost of transportation and, mainly, increasing products' shelf life. Thus, drying in trays, by atomization, vacuum, lyophilization, among others, are methods that are effective in this procedure. As bioactive aspects, the consumption of Spirulina increases digestibility, in addition to the fact that this seaweed has therapeutic applications and it is a natural source of essential nutrients. In order to add value to different foods, several works were developed adding Spirulina as ingredient in drinks, chocolates, cookies and others, in order to improve the composition, the supply of nutrients and the quality of the product. Given the above, the objective of this paper was to carry out a review on Spirulina, addressing its benefits, cultivation and application in the area of Food Engineering.

Key words: *Arthrospira*, nutrition, cultivation, drying, applications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Arthrospira platensis</i> (conjunto de microalgas)	6
Figura 2. Spirulina em pó.	9
Figura 3. Tanques de cultivo de Spirulina em sistema aberto.....	15
Figura 4. Tanques de cultivo de Spirulina em sistema fechado.	15
Figura 5. 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...	16
Figura 6. Fases de crescimento da Spirulina.....	18
Figura 9. PBR na escala de 10 m². a) vista lateral; b) vista superior; c) vista frontal; d) visão geral.....	23
Figura 10. Curvas de Secagem.	25
Figura 11. Diagrama esquemático do secador de bomba de calor: (1) válvula para duto de ar secundário; (2) painel de controle; (3) homogeneizador de ar; (4) sensor de temperatura; (5) bandeja de secagem; (6) balança; (7) ventilador; (8) resistência elétrica; (9) manga flexível; (10) bomba de calor.....	26
Figura 12. Mini Spray Dryer B-290 Büchi.....	29
Figura 13. Diagrama esquemático do secador de bandeja para secar a Spirulina.....	29
Figura 14. Secador por impacto de ar usado no experimento em escala de laboratório.	30
Figura 15. Secador de impacto em escala piloto mostrando bicos e bandejas de secagem.	31
Figura 16. Layout geral do analisador de umidade por infravermelho.....	32
Figura 17. Layout geral do secador experimental de laboratório.....	32
Figura 18. Intenção de compra de biscoitos adicionados de 1,0; 3,0 e 5,0% de <i>Arthrospira platensis</i>.	37
Figura 19. Perfil sensorial de biscoitos de chocolate enriquecidos com <i>A. platensis</i>.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produtividade de <i>Arthrospira</i> e eficiência fotossintética.....	4
Tabela 2. Distribuição geográfica das principais populações de <i>Arthrospira</i>	7
Tabela 3. Composição centesimal média da Spirulina (% de matéria seca).....	8
Tabela 4. Composição de macronutrientes e micronutrientes da Spirulina comercial em pó.	9
Tabela 5. Necessidades diárias de aminoácidos essenciais para adultos saudáveis.	10
Tabela 6. Percentuais de proteínas presentes em alguns alimentos.	11
Tabela 7. Perspectivas e limitações de alguns sistemas de cultivo de <i>Arthrospira</i>	17
Tabela 8. Composição química do meio Zarrouk.	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GERAL	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. METODOLOGIA	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1. HISTÓRICO E CULTIVO MUNDIAL E NACIONAL	3
4.2. SPIRULINA	5
4.2.1. Composição centesimal e nutricional da Spirulina	8
4.2.2. Compostos bioativos presentes na Spirulina e atividades terapêuticas	12
4.3. FORMAS DE CULTIVO.....	14
4.3.1. Processo de Produção	18
4.3.2. Nutrição das águas de cultivo	19
4.3.3. Temperatura	21
4.3.4. pH.....	22
4.3.5. Iluminação	22
4.3.6. Agitação.....	22
4.5. MÉTODOS DE SECAGEM	23
4.5.1. Secagem da Spirulina	26
4.6. APLICAÇÕES DA SPIRULINA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

As microalgas, também conhecidas como fitoplâncton, são um grupo diversificado de organismos eucariotas fotossintéticos unicelulares que não apresentam raízes, caules e folhas. Devido à sua composição unicelular, as microalgas são produtores extremamente eficazes de energia, sendo que algumas espécies convertem a luz solar, água e dióxido de carbono em óleo natural (forma líquida de energia), hidratos de carbono e proteínas. Estes microrganismos têm tamanho estimado desde alguns micrômetros a algumas centenas de micrômetros (2×10^5 a 8×10^5), dependendo da espécie. Por sua disposição unicelular, são muito adaptáveis ao meio envolvente, podendo se desenvolver em águas salinas ou em água doce. Além disso, apresentam capacidade de crescer rapidamente e sobreviver em condições adversas (calor, frio, anaerobiose, salinidade e exposição à radiação ultravioleta - UV) (MIRA, 2015).

Entre as propriedades biológicas das microalgas destacam-se: potencial antioxidante, ação antimicrobiana, presença de agentes anticancerígenos, anti-inflamatórios e promotores da saúde cardiovascular e atividade antidiabética. Além disso, as microalgas têm sido vastamente utilizadas para várias aplicações, incluindo nutrição humana e animal, cosméticos, produtos farmacêuticos, produção de bioenergia e remoção de nutrientes das águas residuais (MIRA, 2015).

A Spirulina é um tipo de microalga originária das lagoas de água doce da África e da América Latina e seu nome foi alterado recentemente para *Arthrospira*. Devido à capacidade de adaptação das diferentes cepas de Spirulina a ambientes extremos (meios alcalinos, ambientes salinos, alta temperatura e luminosidade, entre outros), seu cultivo e consumo foram popularizados em outras áreas do mundo, devido à fácil adaptação e ao alto potencial como produto da espécie. Consequentemente, esta microalga é atualmente produzida comercialmente por várias empresas e seus produtos são comercializados como suplementos alimentares (comprimidos, flocos, pó, entre outros), ração animal, biocombustíveis e produtos farmacêuticos (COSTA et al., 2019).

Em 1981, a Spirulina foi legalmente aceita pelo FDA (*Food and Drug Administration*) que declarou que "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 outras substâncias" (MORAES; MIRANDA & COSTA, 2006). Segundo a Instrução Normativa - IN nº 28, de 26 de julho de 2018, a Spirulina (*Arthrospira platensis*), se encaixa na lista de constituintes

autorizados para uso em suplementos alimentares, exceto para os suplementos alimentares indicados para lactentes (0 a 12 meses) ou crianças de primeira infância (1 a 3 anos) (ANVISA, 2018).

A Spirulina possui alto valor econômico, sendo uma das poucas microalgas adequadas para cultivo em larga escala, devido à sua alta eficiência fotossintética, rápida taxa de crescimento e grande adaptabilidade ao meio ambiente. Pesquisas provaram que a Spirulina pode ser usada como uma alternativa nutricional para reduzir estados de desnutrição, uma vez que possui elevados teores de proteína, vitaminas, minerais, fibras, ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) e aminoácidos essenciais (como leucina, isoleucina e valina), mostrando seu grande potencial como ingrediente nutritivo para enriquecer fórmulas alimentícias, além de possuir benefícios como auxiliar na melhoria da imunidade. Portanto, existe um grande campo de possibilidades para aplicação da Spirulina na área de alimentos funcionais (CHOJNACKA & NOWORYTA, 2004; KARAM & SOCCOL, 2007; MIRA, 2015).

Além disso, ela apresenta benefícios cardiovasculares que são essencialmente resultado da sua atividade antioxidante e anti-inflamatória. Existem estudos realizados *in vivo* e *in vitro* nos quais foi demonstrado que a Spirulina é eficaz no tratamento de certas alergias, anemia, cancro, hepatotoxicidade, doenças virais e cardiovasculares, hiperglicemia, hiperlipidemia, imunodeficiência e processos inflamatórios (MIRA, 2015).

Diante do exposto, fica evidenciada a importância de se estudar mais sobre as potencialidades da Spirulina como alimento e como ingrediente para a indústria de processamento de alimentos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um levantamento bibliográfico sobre a Spirulina, a fim de se obter uma revisão sobre os benefícios, até então conhecidos, desta microalga para a saúde e suas possíveis aplicações na indústria de alimentos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar dados bibliográficos sobre o histórico de produção mundial e brasileira de Spirulina;
- Estudar as diferentes formas de cultivo da Spirulina e os fatores que influenciam no rendimento da produção;
- Revisar os benefícios da Spirulina para saúde;
- Estudar e propor possíveis aplicações da Spirulina como ingrediente na indústria de alimentos.

3. METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica na literatura científica disponível dentro do tema proposto, tanto nacional quanto internacionalmente, realizando-se a leitura e coletando informações relevantes das citações escolhidas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. HISTÓRICO E CULTIVO MUNDIAL E NACIONAL

No século XVI, com a conquista do México pelos espanhóis, foi descoberto que os astecas que viviam no Vale do México estavam colhendo um “novo alimento” do lago. Os pescadores com redes finas recolhiam as microalgas azuis do lago e faziam um bolo azul-verde, descreviam os cronistas espanhóis. Já a população Kanembu recolhia as microalgas em panelas de barro. As microalgas semi-secas eram então cortadas em quadrados pequenos e levadas para as aldeias, onde a secagem era concluída em esteiras no sol. Quando secas, as mulheres formavam os bolos de microalgas para venda no mercado local (FAO, 2008).

Os maiores produtores de Spirulina do mundo no ano de 2019 foram Estados Unidos, Tailândia, Índia, Taiwan, China e Grécia. As lagoas artificiais rasas em formato oval são utilizadas no cultivo de microalgas, contendo pás giratórias que mantêm a água circulando (ECYCLE, 2019).

As microalgas *Arthrospira máxima* removem os fosfatos, nitratos e outros elementos presentes em águas residuais, sendo consideradas agentes purificadores. Quando presentes em

piscinas de oxidação ou tanques, tratam e recuperam águas, evitando contaminação, podendo-se utilizar a água para consumo de pessoas e animais, sendo assim um fator positivo que colabora com o meio ambiente (CUESTA & SERRANO, 2006).

Além disso, segundo Cuesta & Serrado (2006), em Israel, as *Spirulinas* são utilizadas para tratamento de águas com resíduos industriais e domésticos. Em Londres, as águas terciárias do cultivo de *Spirulina*, são usadas para produzir biomassa e purificá-las para outras utilidades (KOSARIC et al., 1978).

A Tabela 1, apresenta algumas localidades e suas respectivas produtividades e eficiência fotossintética.

Tabela 1. Produtividade de *Arthrospira* e eficiência fotossintética.

Sistema de reator	Localização	Caminho da luz	Eficiência fotossintética	Produtividade (tonelada ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Lagoa do canal adutor	La Mancha, México	0,1-0,25	1,5%	43,1
Lagoa do canal adutor	Florença, Itália	0,035	1,5%	20,0
Lagoa do canal adutor	Málaga, Espanha	0,30	1,5%	23,6-30,0
Lagoa do canal adutor	Austrália	0,30	1,5%	91,0
Tubular Horizontal	Florença, Itália	0,06	1,8-3%	30,0

Fonte: Adaptada de SONI, SUDHAKAR & RANA (2017).

A *Spirulina* encontrada no Brasil, pertencente à espécie *Arthrospira platensis*, cujo hábitat natural é a Lagoa Mangueira, situada entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico, no Rio Grande do Sul, foi descoberta pelo pesquisador Jorge Alberto Vieira Costa (JONH, 2016).

No semiárido do nordeste da Paraíba, devido ao baixo custo, às altas temperaturas da região, aos fortes índices de insolação e às águas salinizadas do subsolo, são encontrados cultivos da cianobactéria, sendo a mesma cultivada em tanques com capacidade para até 15 mil litros de água (ECYCLE, 2019). Ademais, no Brasil, já existem empresas que cultivam

Spirulina para fins comerciais e este cultivo está se expandindo em diversas regiões, sendo geralmente encontrada na forma minimamente processada. As maiores produções de Spirulina estão localizadas em Palhoça/Santa Catarina e na cidade de Patos/Paraíba, por exemplo.

As microalgas contêm substâncias químicas e compostos moleculares valiosos que podem ser utilizados na produção de plásticos verdes, produtos de limpeza verdes, detergentes e polímeros biodegradáveis e não-tóxicos, e que podem ser vendidos a um preço compatível aos produtos derivados do petróleo, colaborando com o meio ambiente e, paralelamente, com a saúde das populações (SIMÕES et al., 2019).

Uma empresa de tecnologia nutricional – Spigreen – focada em pesquisa, produção, desenvolvimento e comercialização de Spirulina, localizada no Brasil, na cidade de Diamantino/Mato Grosso, começou a produzir Spirulina em grande escala no ano de 2019. Para isso, durante sete anos, investiu em desenvolvimento de novas técnicas de cultivo e coleta da cianobactéria para uma produção eficiente (BONOMETTI, 2020).

Essa empresa é a maior fabricante de Spirulina na América Latina e visa o mercado internacional, esperando chegar ao topo da produção mundial em cinco anos, focando na alimentação humana, visto que, para produzir essa microalga, é necessário quatro vezes menos água do que a soja, cinco vezes menos do que o arroz e cinco mil vezes menos do que a carne de boi. 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, segundo o vice-presidente da Spigreen, Matheus Moraes, o que demonstra seu potencial no combate à escassez de alimentos no futuro, com o aumento previsto da população mundial (EXPRESSO, 2020).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), a Terra chegará a 8 bilhões de pessoas em 2023. Porém, na atual conjuntura, nosso sistema alimentar consegue sustentar apenas uma população de 3,4 bilhões antes de começar a saturar os limites do planeta, segundo estimativas e estudos na área (ONU, 2020).

4.2. SPIRULINA

O filo Cyanobacteria é formado por um conjunto de espécies de bactérias, pertencente ao Reino Monera, ao qual a *Arthrospira* (Spirulina) pertence, tendo cor verde-azulada (Figura 1). Dentre as trinta e cinco espécies já identificadas, as espécies mais conhecidas são *Arthrospira maxima*, *Arthrospira platensis* e *Arthrospira fusiformis* (OLIVEIRA et al., 2013).

A microalga *Spirulina* apresenta-se como um alimento com grande potencial nutricional devido ao seu elevado teor proteico (60 - 70%) e com conteúdo de aminoácidos essenciais similar aos recomendados pela FAO (*Food and Agricultural Organization*). Além disto, possui em sua biomassa vitaminas, minerais e pigmentos, como clorofila, carotenoides e ficocianina (MORAES; MIRANDA & COSTA, 2006).



Figura 1. *Arthrospira platensis* (conjunto de microalgas).

Fonte: SCHEFLER (2018).

De acordo com Sili, Torzillo & Vonshank (2012), a *Spirulina* se faz presente mundialmente, estando em diversos países e continentes. A Tabela 2 apresenta os locais onde a *Spirulina* é encontrada no mundo, com suas respectivas espécies.

Tabela 2. Distribuição geográfica das principais populações de *Arthrospira*.

Continente/ País	Localização	Espécie
ÁFRICA		
Chade	Lagos Natron (Bodou, Mombolo, Rombou, Yoan) e piscinas (Latir, Iseirom, Latir, Liva), região de Kanem	<i>A. platensis</i> , <i>A. platensis</i> f. <i>minor</i>
	Lago Kailala, Lago Kossorom	<i>A. fusiformis</i>
Quênia	Natron (Bogoria, Crater, Elmenteita, Nakuru)	<i>A. platensis</i>
	Rift Valley	<i>A. fusiformis</i>
	Lago Bogoria	<i>A. platensis</i> , <i>A. platensis</i> , f. <i>minor</i> , <i>A. fusiformis</i>
	Lago Simbi	<i>A. platensis</i> , <i>A. fusiformis</i>
	Lago Sonachi	<i>A. fusiformis</i>
	Lago Oloidien	<i>A. fusiformis</i>
Etiópia	Lago Aranguadi	<i>A. platensis</i>
	Lago Chiltu	<i>A. platensis</i>
	Lago verde	<i>A. fusiformis</i>
Egito	Lago Maryut	<i>A. platensis</i>
Sudan	Lago Dariba, Jebel Marra	<i>A. geitleri</i>
Argélia	Lago Tamanrasset	<i>A. platensis</i>
Congo	Lago Mougounga	<i>Arthrospira</i> sp.
	Lago Kivu	<i>Arthrospira</i> sp.
Zâmbia	Lago Bangweolou	<i>Arthrospira</i> sp.
Tunísia	Lago Korba	<i>Arthrospira</i> sp.
Moçambique	Lagoas de águas residuais	<i>A. fusiformis</i>
África do Sul	Lago Tswaing	<i>A. fusiformis</i>
ÁSIA		
Índia	Lagoas	<i>A. maxima</i>
	Lago Lonar; lagoas; tanques; (Madurai, MCRC isolate)	<i>A. indica</i>
Myanmar	Lagoa Crater	<i>Arthrospira</i> sp.
Paquistão	Tanque de peixe, Lahore	<i>Arthrospira</i> sp.
Sri Lanka	Lago Beria	<i>Arthrospira</i> sp.
China	Tanque de peixe, Nanking, Lagoa Bayannur	<i>A. platensis</i>
Tailândia	Lagoas de efluentes de fábrica de Tapioca, Bangkok	<i>Arthrospira</i> sp.
Rússia	Lagoa Tunatan	<i>A. fusiformis</i>
Azerbaijão	Bacia hidrográfica, Khumbasha	<i>Arthrospira</i> sp.
Paquistão	Lagoa Lahore	<i>Arthrospira</i> sp.
AMÉRICA		
México	Lago Texcoco	<i>A. maxima</i>
Brasil	Lagoa da Mangueira	<i>Arthrospira</i> sp.
Califórnia	Lagoa Oakland	<i>A. maxima</i>
	Lagoa costeira, Del Mar	<i>A. platensis</i>
Peru	Lago Huachachina	<i>A. platensis</i> , <i>A. maxima</i>
Uruguai	Montevideu	<i>A. platensis</i>
EUROPA		
Espanha	Lago Santa Olalla	<i>Arthrospira</i> sp.
França	Lago Tiny, Camargue	<i>Arthrospira</i> sp.
Hungria	Adasztevel-Oroshaz	<i>Arthrospira</i> sp.
Romênia	Lagoa alcalina perto de Cluj-Napoca	<i>A. fusiformis</i>
Sérvia	Poças salgadas perto do rio Tâmis	<i>A. fusiformis</i>

Fonte: SILI; TORZILLO & VONSHANK (2012).

4.2.1. Composição centesimal e nutricional da Spirulina

A Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), tem usado a Spirulina como complemento alimentar para os astronautas em missão espacial, sendo que suas propriedades químicas têm capacidade de melhorar o sistema imunológico e diminuir as inflamações celulares (KARKOS et al., 2011).

A Spirulina em pó vendida na forma de comprimidos pode ser consumida por todas as faixas etárias de consumidores, inclusive para a alimentação de pacientes para os quais é difícil mastigar ou engolir alimentos (ADIBA, 2011).

Na Tabela 3 está retratada a composição centesimal média da Spirulina, em porcentagem de matéria seca, em análises realizadas em diferentes laboratórios.

Tabela 3. Composição centesimal média da Spirulina (% de matéria seca).

Componente	Laboratório de análise			
	FOI	SAC	IPGSR	BAU
Proteína bruta	65	55-70	61	60
Carboidrato solúvel	19	-	14	-
Lipídio bruto	4	5-7	6	7
Fibra bruta	3	5-7	-	-
Cinza	3	3-6	9	11
Umidade	-	4-6	6	9

FOI = French Oil Institute; SAC = Siam Algae Co. Ltd; IPGSR = Institute of Post-graduate Studies and Research laboratory, University of Malaya; BAU = Bangladesh Agricultural University.

-: Análises não realizadas.

Fonte: Adaptado de FAO (2008).

A composição média do pó comercial da Spirulina (Figura 2) é composta de proteínas, carboidratos, gorduras, minerais, umidade, aminoácidos essenciais, vitaminas (especialmente B12), pigmentos antioxidantes (ficobiliproteínas e carotenoides) e polissacáridos, demonstrando ser um produto com baixo teor de gordura, sem colesterol e com baixo teor calórico, como mostrado na Tabela 3 (FAO, 2008; PERON, 2015).



Figura 2. Spirulina em pó.
Fonte: ZONA CEREALISTA (2020).

Na Tabela 4, pode-se analisar a composição de macronutrientes e micronutrientes analisados em 100g de Spirulina em pó.

Tabela 4. Composição de macronutrientes e micronutrientes da Spirulina comercial em pó.

Macronutrientes	por 100g	Vitaminas	por 100g
Calorias	373 Kcal	Vitamina A (100% betacaroteno)	352,000 IU
Proteína	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	< 0,1g	Ferro	87,2 mg
Fibra dietética	7,7 g	Fósforo	961 mg
Aminoácidos essenciais (mg)		Iodo	142 µg
Histidina	1000	Magnésio	3149 mg
Isoleucina	3500	Zinco	1,45 mg
Leucina	5380	Selênio	25,5 µg
Lisina	2960	Cobre	0,47 mg
Metionina	1170	Manganês	3,26 mg
Fenilalanina	2750	Crômio	< 400 µg
Treonina	2860	Potássio	1,66 mg
Triptofano	1090	Sódio	641 mg
Valina	3940	Fitoquímicos	
Aminoácidos não essenciais (mg)		Fiocianina	17,2 %
Alanina	4590	Clorofila	1,2 %
Arginina	4310	Supeóxido-dismutase	531.000 IU
Ácido Aspártico	5990	Ácido γ - linolênico (GLA)	1080 mg

Fonte: Adaptado de PERON (2015).

Observa-se que a Spirulina apresenta uma composição interessante do ponto de vista nutricional. Como mostrado na Tabela 4, os macronutrientes presentes em maior concentração na Spirulina são as proteínas, que representam cerca de 60% da massa seca da Spirulina, estando distribuídas entre aminoácidos essenciais e não essenciais. Depois das proteínas, os macronutrientes presentes em maior proporção são os carboidratos, e, finalmente, os lipídios na forma de ácidos graxos saturados e insaturados. A Spirulina apresenta também um alto teor de fibras alimentares (cerca de 8% b.s.).

A Tabela 5 evidencia as quantidades de aminoácidos essenciais recomendadas de serem consumidas diariamente por adultos, uma vez que o organismo não é capaz de sintetizá-los, mas são essenciais para seu funcionamento.

Tabela 5. Necessidades diárias de aminoácidos essenciais para adultos saudáveis.

Aminoácidos essenciais	Recomendações de 2007		Recomendações de 1985	
	mg.kg ⁻¹ p.c. dia ⁻¹	mg.g ⁻¹ proteína ^a	mg.kg ⁻¹ p.c. dia ⁻¹	mg.g ⁻¹ proteína ^a
Histidina	10	15	8-12	15
Isoleucina	20	30	10	15
Leucina	39	59	14	21
Lisina	30	45	12	18
Metionina + Cisteína (SAA) ^b	15	22	13	20
Metionina	10	16	-	-
Cisteína	4	6	-	-
Fenilalanina + Tirosina (AAA) ^c	25	38	14	21
Treonina	15	23	7	11
Triptofano	4	6	3,5	5
Valina	26	39	10	15

^a: Necessidade média de nitrogênio de 105 mg.kg⁻¹ p.c.dia⁻¹ de nitrogênio (0,66 g.kg⁻¹ p.c dia de proteínas⁻¹).

^b SAA: Aminoácidos sulfurados.

^c AAA: Aminoácidos aromáticos.

-: Análises não realizadas

Fonte: MARCHINI et al., 2016.

Analisando a Tabela 4 e comparando com a Tabela 5, pode-se notar que a Spirulina em pó contém quantidades ideais de aminoácidos essenciais a serem consumidos para atender a necessidade de um adulto saudável por dia.

Comparado a outros alimentos considerados como fontes proteicas, podemos perceber que a Spirulina apresenta um valor elevado de proteínas, como pode ser visto na Tabela 6. De um ponto de vista qualitativo, as proteínas presentes na Spirulina são completas, uma vez que

contêm todos os aminoácidos essenciais, que conferem um alto valor biológico a essas proteínas (MACHADO et al., 2017).

Tabela 6. 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).

Cálcio, fósforo, magnésio, ferro, zinco, cobre, cromo, manganês, sódio e potássio são os minerais presentes na Spirulina. Entre eles, os principais são o cálcio (1,3 a 1,4 g/Kg de Spirulina), o fósforo (6,7 a 9,0 g/ Kg de Spirulina) e o potássio (6,4 a 15,4 g/Kg de Spirulina), minerais de grande importância para o corpo. Enquanto, por outro lado, metais vestigiais (ferro, cobre e zinco), componente essencial da fisiologia, estão presentes em baixas quantidades nas células das microalgas (AMBROSI, 2008; NEHER et al., 2018).

Devido aos seus componentes moleculares, a *Arthrospira platensis* é considerada atenuadora do estresse oxidativo, pelo efeito antioxidante conferido principalmente pela ficocianina. Além disso, é fonte de vitaminas A, E, K, B1, B2, B3, B6, B12, ácido pantotênico e alguns minerais como ferro, manganês, cromo, selênio, cobre e zinco.

A inibição da replicação viral, atividade antitumoral, redução da hipercolesterolemia e outras hiperlipidemias, efeito antidiabetogênico, efeito anti-hipertensivo, modulador do sistema imunológico e regulador da resposta alérgica, aumento da absorção intestinal de vitaminas e minerais, aumento dos lactobacilos intestinais, coadjuvante no tratamento de indivíduos obesos, anêmicos e redução da nefrotoxicidade por metais pesados e medicamentos são algumas das diversas aplicações terapêuticas sugeridas para as cianobactérias (OLIVEIRA et al., 2013).

Os ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) são considerados ácidos graxos essenciais, uma vez que não são produzidos pelo organismo e precisam ser obtidos através da dieta. Entre os benefícios à saúde que a ingestão equilibrada desses ácidos graxos fornece estão a prevenção de enfermidades cardiovasculares, câncer de cólon e doenças imunológicas, além de favorecer o desenvolvimento cerebral e da retina; sua carência na alimentação está associada ao

aparecimento de uma série de doenças (SILVA, JÚNIOR & SOARES, 2007). Os lipídios de algumas espécies, maioria marinhas, contêm quantidades relativamente altas desses ácidos. Os ácidos graxos poliinsaturados de origem microalgal apresentam quantidades significativas de PUFA das famílias Ômega-3 e Ômega-6, sendo assim, têm um mercado muito promissor na biotecnologia, em especial na indústria de alimentos funcionais (SIMOPOULOS, 2002; PULZ & GROSS, 2004).

Antioxidantes naturais como as microalgas *Arthrospira platensis* (SPM) podem impedir a peroxidação lipídica e a hiperglicemia, sinais comuns para diabetes. Para avaliar a eficácia dessa microalga, Nasirian et al. (2020) fizeram experimentos com 64 ratos divididos em 8 grupos. Os ratos com diabetes e os ratos saudáveis foram tratados com 0, 10, 20 e 30 mg/kg de peso corporal do extrato de SPM, aplicados através de injeções e foram realizadas algumas análises após três dias, tais como: concentrações plasmáticas de minerais (TMs), parâmetros bioquímicos e enzimas antioxidantes no fígado. Aspartato aminotransferase (AST), alanina aminotransferase (ALT), TNF- α (fator de necrose tumoral alfa) e IL-6 (interleucina-6) foram avaliadas. Foi concluído que a Spirulina pode fornecer TMs para a síntese de enzimas antioxidantes que reduzem o perfil lipídico, a concentração de glicose e as respostas anti-inflamatórias.

Diante disso, a microalga se apresenta como um promissor ingrediente alimentício para enriquecimento de formulações, principalmente em países em desenvolvimento e em regiões onde a população não tem acesso a uma alimentação adequada.

4.2.2. Compostos bioativos presentes na Spirulina e atividades terapêuticas

As microalgas produzem alguns compostos bioativos importantes, tais como polímeros, peptídeos, ácidos graxos, carotenoides e esteróis. A Spirulina é também uma fonte natural de nutrientes essenciais, tais como: provitaminas, minerais e ácidos graxos poliinsaturados e possui uma parede celular constituída de peptideoglicanos, o que faz com que suas células sejam mais facilmente digeríveis (MIRA, 2015; SANTOS et al., 2017).

A Spirulina tem sido usada como alimento para seres humanos e provou ser muito útil no tratamento e prevenção de distúrbios induzidos pela desnutrição. Por não possuir paredes celulósicas, mas uma cobertura frágil de mucopolissacarídeos brandos, suas proteínas apresentam boa digestibilidade, cerca de 83 a 90% quando submetida à secagem simples, sendo os nutrientes preservados (MORAES, MIRANDA & COSTA 2006; MACHADO et al., 2017). Existem, ainda, evidências de seu potencial terapêutico na prevenção e diminuição dos danos

causados por dislipidemias e sua atuação como composto com atividade antioxidante (BELAY, 2002).

A Spirulina contém muitas enzimas e uma delas é a enzima superóxido dismutase (SOD), que possui uma atividade que varia de 10.000 a 37.500 unidades a cada 10 gramas de Spirulina. A importância da SOD pode ser demonstrada pelo fato de ser a enzima mais abundante do organismo e a quinta proteína mais abundante. Essa enzima, apresenta papel importante na eliminação dos radicais livres, que são moléculas instáveis e que apresentam um elétron que tende a se associar de maneira rápida a outras moléculas de carga positiva com as quais pode reagir ou oxidar (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1989; HENRIKSON, 1994; MAZZOLA, 2012; MACHADO et al., 2017).

Dentre os pigmentos armazenados no cloroplasto da cianobactéria Spirulina estão os carotenoides, as ficocianinas e as clorofilas, presentes em concentrações em torno de 1%, um dos níveis mais elevados da natureza. Esses pigmentos colaboram na síntese de enzimas responsáveis pelo metabolismo corporal (HENRIKSON, 1994; IBARZ, 2016).

Os carotenoides são pigmentos de grande interesse comercial e funcionam como foto protetores e como pigmentos fotossintéticos secundários. Comparados aos corantes sintéticos, os carotenoides são mais resistentes à presença de ácido ascórbico, ao calor, aos processos de congelamento e apresentam eficiência mesmo quando aplicados nos alimentos em pequenas quantidades. Além disso, eles têm sido apontados como substâncias com potencial preventivo contra o câncer e outras doenças degenerativas e que estimulam o sistema imunológico e as populações de lactobacilos intestinais, aumentando a absorção de vitamina B1, o que aumenta ainda mais o interesse industrial por esses pigmentos naturais (DERNER et al., 2006).

Os corantes naturais representam fontes aparentemente mais sustentáveis do que os corantes sintéticos, que são derivados de fontes não renováveis. Sendo assim, os carotenoides extraídos da Spirulina são pigmentos naturais que podem ser utilizados na indústria de alimentos. Sua tonalidade varia do amarelo ao vermelho. Os pigmentos extraídos das microalgas apresentam várias vantagens, como produção fácil e barata, extração simples, altos rendimentos, baixo risco de falta de matéria-prima e sem variação sazonal (MOHAMMED & MOHD, 2011).

As clorofilas, estão presentes em quase todos os tipos de plantas, microalgas e algumas bactérias, destacando-se dentre os mais conhecidos pigmentos vegetais e sendo responsáveis pela captura de luz solar, produção de oxigênio e açúcares através da fotossíntese. Elas são apontadas como excelentes fotossensibilizadores, antioxidantes e como agentes terapêuticos no combate de diversas doenças. Além disso, esse pigmento pode ser aplicado em composições

farmacêuticas, como cosméticos, materiais de higiene bucal, em dietas, culinária e até mesmo em alguns detergentes (MAESTRIN et al., 2009).

A ficocianina compõe cerca de 14% do peso total da Spirulina e seu consumo torna-se importante, uma vez que é um estimulante ao sistema imunológico, aumentando a contagem de leucócitos (HENRIKSON, 1994). Além disso, apresentam ação antitumoral, anti-inflamatória, antioxidantes e hepatoprotetora. Outra função importante é a utilização em cosméticos, como biocorante de alimentos ou, em pequenas quantidades, como traçadores de imunoensaios devido às suas propriedades fluorescentes, pois são atóxicos e não cancerígenos. Em alimentos podem ser aplicadas, por exemplo, em gomas de mascar, laticínios, sorvetes, geleias (DOKE, 2005; MORAES, 2007).

Em um estudo realizado por Simpure et al. (2006), 550 crianças subnutridas com menos de cinco anos de idade foram divididas em quatro grupos, aleatoriamente. Um dos grupos recebeu refeições tradicionais, o outro grupo recebeu Spirulina acompanhada da refeição tradicional, terceiro grupo recebeu Spirulina (*Arthrospira platensis*) e Misola (milho, soja, amendoim) associadas à refeição tradicional, enquanto o último foi a junção de Misola à refeição tradicional durante oito semanas com todas as formulações. Os resultados indicaram que a Spirulina associada à Misola é um bom complemento alimentar para crianças subnutridas, uma vez que os resultados apresentaram uma maior ingestão energética de 767 +/- 5 kcal/dia, com uma ingestão de proteína de 33,3 +/- 1,2 g/dia.

Assim, nota-se o grande potencial da Spirulina como fonte de compostos bioativos e atividades terapêuticas em diversas formas.

4.3. FORMAS DE CULTIVO

O cultivo de microalgas pode ser realizado em sistemas abertos ou fechados com iluminação natural ou artificial. Os cultivos em sistemas abertos (Figura 3) compreendem tanques naturais (lagoas) ou artificiais (variedade de *designs*) e representam o processo clássico de produção de microalgas. Ambos necessitam de grandes áreas e são usados quando o interesse é a produção de biomassa. Este sistema é um dos mais rentáveis, pois pode ser usado para o tratamento de águas residuais de diferentes fontes, podendo atingir uma concentração celular de até 0,7 g.L⁻¹ e produtividade por hectare de até 50 t.ano⁻¹ (KARAM & SOCCOL, 2007; PÉREZ & LABBLÉ, 2014).



Figura 3. Tanques de cultivo de Spirulina em sistema aberto.

Fonte: SHEFLER (2018).

Os sistemas fechados (Figura 4) e semifechados apresentam a possibilidade de um maior controle dos parâmetros, reduzindo substancialmente os problemas presentes nos sistemas abertos, sendo recomendáveis quando a intenção é a obtenção de produtos com alto valor agregado, pois apresentam vantagens em relação aos sistemas abertos, tais como menor perda de CO₂, menor risco de contaminação, manutenção da temperatura e condições de cultivo reprodutíveis (KARAM & SOCCOL, 2007; PÉREZ & LABBLÉ, 2014).



Figura 4. Tanques de cultivo de Spirulina em sistema fechado.

Fonte: EXTREMADURA (2020).

Os sistemas abertos apresentam as vantagens de facilidade de construção e de operação e alta durabilidade. Como desvantagens, têm-se a baixa acessibilidade das células à luz, a evaporação, a necessidade de grandes áreas de terra e a exposição à contaminação por organismos heterotróficos em rápido crescimento e/ou plâncton pastoral (PÉREZ & LABBLÉ, 2014). Os sistemas fechados possuem elevados custos de implantação e de operação, porém, em contra partida, têm-se maior controle das condições hidrostáticas da cultura (fluxo de ar e

água, dissolução dos gases) e das condições de cultivo (densidade celular ou biomassa, concentração de nutrientes, temperatura e pH, dentre outras), além da redução da vulnerabilidade a contaminações e a utilização eficiente dos nutrientes do meio de cultura (DERNER, 2017).

A Figura 5 ilustra outras formas de cultivo da Spirulina, que serão descritos em detalhes na Tabela 7, apontando vantagens e desvantagens de cada sistema.

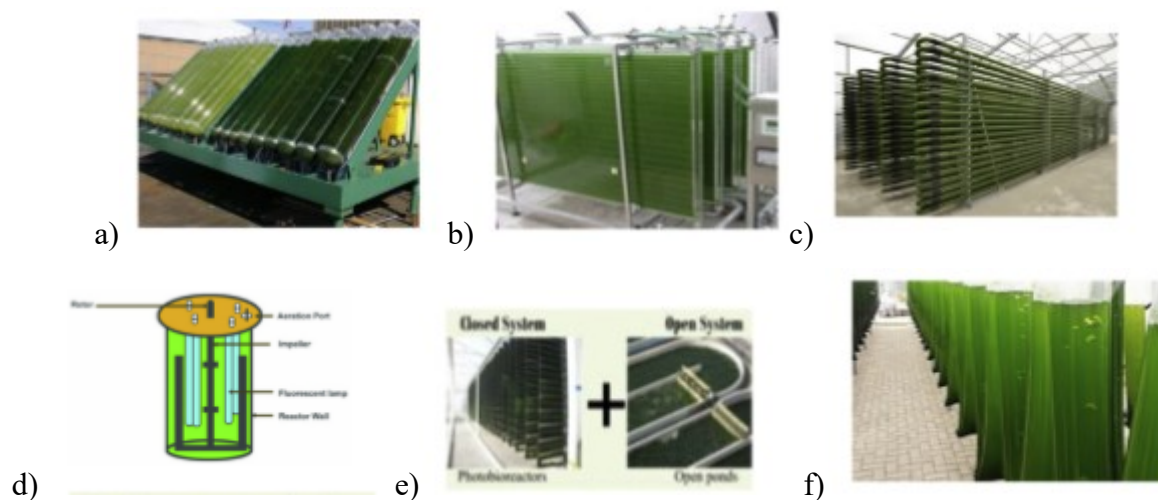


Figura 5. Ilustração dos sistemas. a) Coluna vertical PBR. b) Placa plana PBR; c) PBR tubular; d) PBR Iluminado Internamente, e) Sistema híbrido; f) Sacos de polietileno.

Fonte: SONI, SUDHAKAR & RANA (2017).

Tabela 7. Perspectivas e limitações de alguns sistemas de cultivo de *Arthrospira*.

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 escalabilidade, fácil de esterilizar, bom para imobilização de microalgas, foto inibição reduzida e foto-oxidação.	Pequena área de superfície de iluminação, construção requer materiais sofisticados, tensão 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	$0,055 \text{ h}^{-1}$	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 contaminação pode ser minimizada neste sistema.	O cultivo em massa de microalgas ao ar livre exige alguns esforços técnicos.
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	$0,20 \text{ dia}^{-1}$	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.

PBR - Fotobiorretor (local de cultivo)

Fonte: Adaptado de SONI, SUDHAKAR & RANA (2017).

A produção de Spirulina, contempla as seguintes fases: adaptação (baixa taxa de crescimento, adaptação com o meio), crescimento exponencial (alto crescimento, boa adaptação ao meio), estacionária (equilíbrio de crescimento) e de morte (morrem e tem a liberação de matéria orgânica), como pode ser demonstrado pela Figura 6 (CUESTA & SERRANO, 2006).

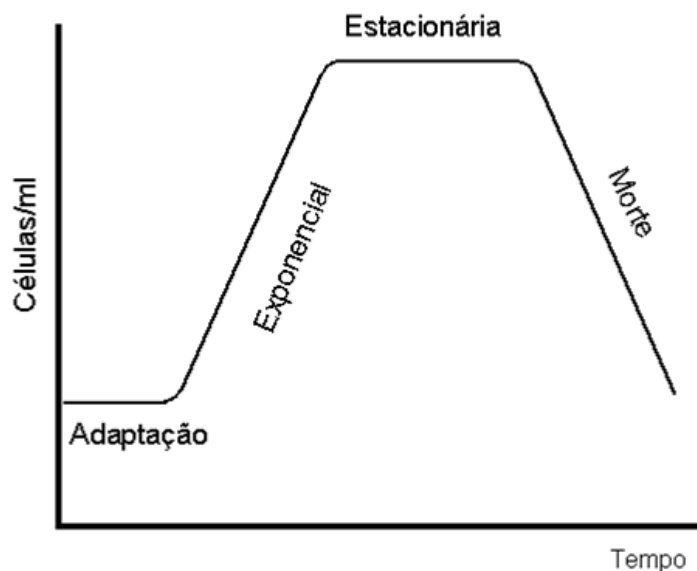
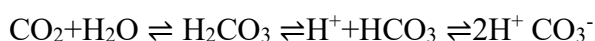


Figura 6. Fases de crescimento da Spirulina.
Fonte: Adaptado de CHAGAS (2011).

No cultivo de Spirulina, a concentração de CO₂ varia entre 0,05-5% (v/v), podendo haver outros gases como o nitrogênio. A adição de CO₂ regula o pH e forma a seguinte reação (CUESTA & SERRANO, 2006):



Poucas cepas crescem no mar, porque o baixo conteúdo em carbonatos e as elevadas concentrações de magnésio e cálcio da água marinha inibem o seu desenvolvimento, ainda que a Spirulina tenha uma boa adaptação à água salgada (HENRIKSON, 1994).

4.3.1. Processo de Produção

Segundo Cuesta & Serrano (2006), o processo de produção de Spirulina tanto pelo sistema aberto quanto pelo sistema fechado, compreende cinco ou seis etapas (Figura 7):

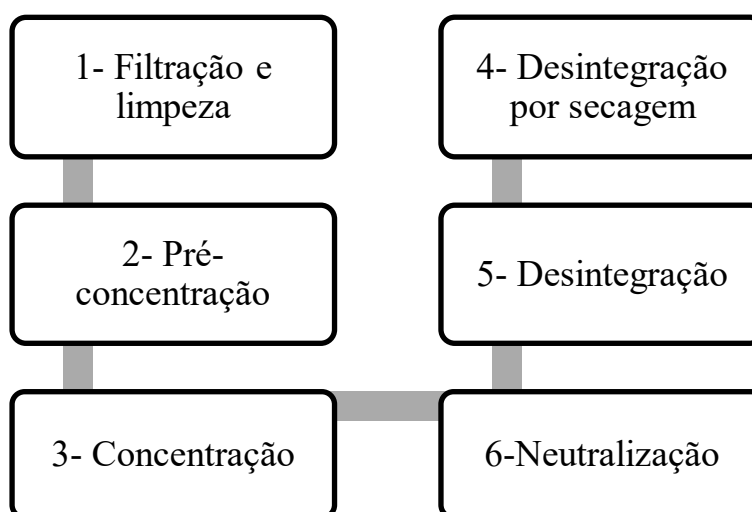


Figura 7. Processo de produção de Spirulina.

- 1- **Filtração e limpeza:** na entrada de água da lagoa, existe um filtro de náilon (200 ou 300 mesh) para eliminar as impurezas sólidas de tamanho médio;
- 2- **Pré-concentração:** obtenção da biomassa de microalgas;
- 3- **Concentração:** remoção da maior quantidade de água presente entre os filamentos;
- 4- **Neutralização:** adição de uma solução ácida, para neutralização da biomassa;
- 5- **Desintegração:** através da moagem, a biomassa se fragmenta;
- 6- **Desintegração por secagem:** opcional, reduz custo de produção.

4.3.2. Nutrição das águas de cultivo

A Spirulina apresenta muitas vantagens em relação à produção de proteínas a partir da agricultura ou pecuária, pois é um microrganismo aquático, não requer solo fértil e não causa erosão nem contaminação de terras e águas (TEDESCO, 2010).

Devido aos elevados volumes de água, muitas vezes destiladas e esterilizadas, que devem ser suplementados com os nutrientes necessários para o cultivo das microalgas, os custos mais altos estão no preparo dos meios de cultivo (HOLZ et al., 2015).

O meio Zarrouk, desde 1966, é o padrão para o cultivo da microalga Spirulina, podendo estimular a biossíntese de compostos ao mudar as condições de cultivo. Além disso, a diluição do meio colabora para diminuição do custo de produção, visto que o uso de altas concentrações eleva este custo. Para a preparação do meio, utiliza-se o processo em batelada alimentada (Figura 8) consiste na adição intermitente de um substrato limitante ao longo da fermentação. Este sistema permite um aumento no período produtivo do processo e evita os

efeitos tóxicos das elevadas concentrações iniciais de substrato, como ocorre nos processos descontínuos simples (MULITERNO et al., 2005). Oito fatores são avaliados na utilização desse meio: luminosidade, temperatura, tamanho do inóculo, velocidade de agitação, pH, sólidos dissolvidos, quantidade de água e presença de macro e micronutrientes (CUESTA & SERRANO, 2006).

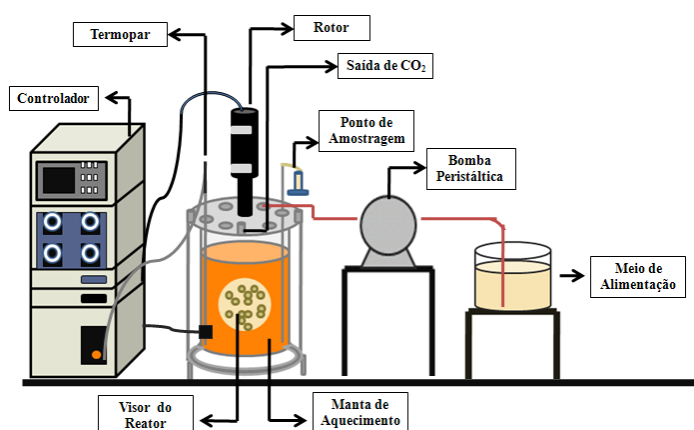


Figura 8. Representação esquemática laboratorial do processo de batelada alimentada.
Fonte: GUIDINI (2013).

Na Tabela 8 são descritas a composição do meio Zarrouk. Em escala laboratorial, para cada uma das soluções do meio Zarrouk, os sais devem ser pesados e solubilizados separadamente em 100 mL de água destilada e autoclavados. O FeSO_4 é autoclavado separadamente dos 100 mL de água. Prepara-se soluções estoque do metal, utilizando dicromato, através da dissolução de 10 mg.L^{-1} , 20 mg.L^{-1} e 30 mg.L^{-1} de concentração de cromo VI.

Tabela 8. Composição química do meio Zarrouk.

Reagentes	Quantidades
NaHCO_3	$16,8 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
K_2HPO_4	$0,5 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
NaNO_3	$2,5 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
K_2SO_4	$1,0 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
NaCl	$1,0 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$0,2 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
CaCl_2	$0,04 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$0,01 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
EDTA	$0,08 \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$
Solução A ₅	1 mL
Solução B ₆	1 mL

Solução A₅ (g.L^{-1}): H_3BO_3 : 2,86; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 1,81; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0,222; $\text{CuCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: 0,079; MnO_3 : 0,015.

Solução B₆ (g.L^{-1}): NH_4VO_3 : 22,86; $\text{KCr(SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$: 192; $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 44,8; $\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 17,94; $\text{TiOSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$: 61,1; $\text{CO(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 43,98.

Fonte: TEDESCO (2010).

A fonte de nutrientes consiste no segundo maior componente dos custos de produção, em cultivos de microalgas. O bicarbonato de sódio, fornece CO₂ para a fotossíntese, sendo essa a fonte de carbono utilizada no meio de crescimento de *Spirulina*. Ainda que utilize a fotossíntese como metabolismo principal para obtenção de carbono, a *Spirulina* é capaz de assimilar substratos orgânicos nos cultivos mixotróficos (ANDRADE & COSTA, 2008).

Quando as microalgas são tanto autotróficas quanto heterotróficas, tem-se o cultivo mixotrófico. Assim sendo, inicialmente, é adicionada uma fonte de carbono orgânico para estimular o crescimento heterotrófico e, em seguida, as células se multiplicariam com metabolismo autotrófico até atingirem a máxima densidade celular. Neste momento, em virtude da alta densidade celular existente, problemas com contaminação microbiana seriam menos propensos a acontecer. Para que ocorra o crescimento heterotrófico, as culturas devem ser mantidas sem contaminação microbiana e o composto orgânico a ser adicionado, bem como a concentração ideal, devem ser conhecidos (NETO et al., 2015).

Os micronutrientes estão presentes em miligramas ou microgramas, atuando como catalisadores, mediadores e reguladores das reações enzimáticas e processos fisiológicos (GONZÁLEZ, PARRA & CIFUENTES, 1995).

4.3.3. Temperatura

A grande maioria das microalgas apresenta crescimento em temperaturas que variam de 15 a 25 °C, porém o gênero *Spirulina* é classificado com termófilo, sendo a temperatura ótima de cultivo entre 30 e 40 °C. A *Spirulina* tolera grandes variações de temperatura, porém existe uma temperatura ótima entre 30 e 35 °C na qual ocorre maior produção de biomassa, ou seja, maior rendimento (KARAM & SOCCOL, 2007).

Microalgas, quando cultivadas em meios adequados, podem duplicar a sua biomassa diariamente, produzindo matéria seca com teor proteico superior a 50% e alcançando produtividades de 30 a 50 g.m⁻².dia⁻¹ em peso seco, sendo um fator positivo (MULITERNO et al., 2005).

A temperatura do líquido varia do início ao fim, devendo ser testada em laboratórios, utilizando termômetros. Na adição da biomassa (segunda etapa), a temperatura deve ser menor que 20 °C até atingir 35-38 °C. Em temperaturas acima dessas, pode ocorrer risco de destruição da *Spirulina* (GONZÁLEZ, PARRA & CIFUENTES, 1995).

4.3.4. pH

As microalgas podem ser cultivadas em solos impróprios para agricultura e pecuária, utilizando águas salobras, salgadas ou resíduos do processo de dessalinização. O pH do meio de cultivo é um dos fatores mais importantes no cultivo de microalgas, devendo estar entre 10 e 11 para as espécies *A. máxima* e *A. platensis*. O pH depende da composição e da capacidade tamponante do meio, quantidade de dióxido de carbono dissolvido, temperatura (que determina a solubilidade do CO₂) e atividade metabólica das células, uma vez que determinam a solubilidade do dióxido de carbono e minerais no meio e influenciam direta ou indiretamente o metabolismo das microalgas (KARAM & SOCCOL, 2007; MORAES et al., 2007).

Estudos realizados por Karam & Soccol (2007) demonstraram que, para o cultivo da *Spirulina major*, a temperatura ótima foi de 30 °C e o pH ótimo foi de 8,0, valor inferior ao pH ótimo de cultivo de outras espécies.

4.3.5. Iluminação

Devido ao processo de fotossíntese, necessário para o metabolismo da *Spirulina*, a iluminação é indispensável. Porém, deve-se controlar o tempo de exposição à luz. Durante o dia, há a formação de glicogênio como material de reserva na célula devido ao CO₂, enquanto à noite ocorrem as reações bioquímicas de síntese de material proteico. A intensidade de luminosidade pode variar entre 2000 e 5000 lux, em escala laboratorial, dependendo da densidade de cultivo (CUESTA & SERRANO, 2006).

4.3.6. Agitação

Para favorecer a dispersão homogênea e a exposição à luz em todos os filamentos das cianobactérias, deve-se submeter o meio à agitação, não devendo ser muito rápida, pois a formação de espuma é um fator negativo, pois dificulta a rotação gasosa e a penetração de luz. Em cultivos de até 10 litros (cultivos pequenos), a agitação é feita por injeção de ar juntamente com o CO₂, enquanto em cultivos maiores utilizam-se bombas centrífugas e cascatas de água (CUESTA & SERRANO, 2006).

4.3.7. Aplicação de forma de cultivo

Zhu e colaboradores (2018) cultivaram a *Spirulina* em larga escala, através de um fotobiorreator horizontal flutuante sem dispositivo de agitação e de baixo custo (PBR). Os testes ocorreram na baía de Lingshui, em Dalian ($38^{\circ} 87'N$, $121^{\circ} 55'E$), China. Dois PBRs foram feitos, um de 1,5 m de altura e $10,0 \text{ m}^2$ que possuía três estruturas em arco (Figura 9), enquanto o outro foi PBR de $1,0 \text{ m}^2$ e altura de 0,5m, construído usando um tubo inflável, coberto e selado com PVC, com as portas de amostragem e a troca de gás deixadas descobertas e não lacradas. Para ancorar o PBR no oceano, os ganchos foram presos ao tubo inflado. O ar foi soprado no tubo inflável através de uma válvula para manter uma estrutura firme. Os resultados foram positivos devido a facilidade de montagem e grande potencial em aplicações comerciais.

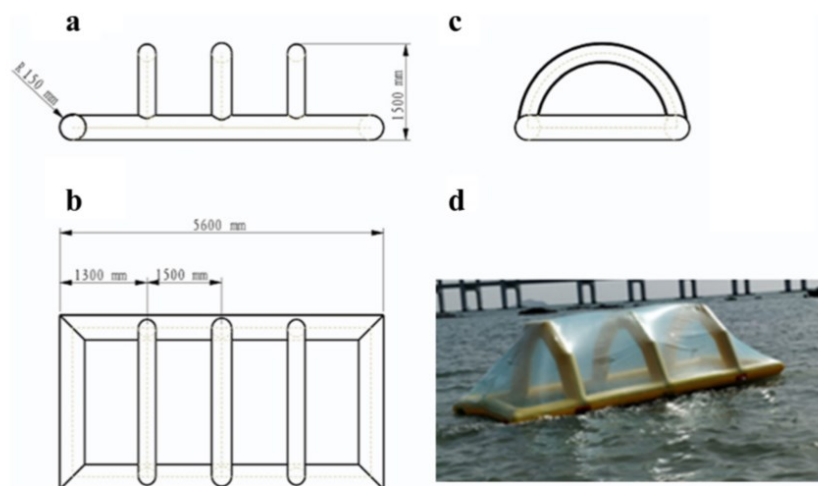


Figura 7. PBR na escala de 10 m^2 . a) vista lateral; b) vista superior; c) vista frontal; d) visão geral.
Fonte: ZHU et al. (2018).

4.5. MÉTODOS DE SECAGEM

A *Spirulina* possui uma quantidade significativa de água, podendo sofrer um processo de degradação quando úmida, fazendo com que a desidratação seja uma alternativa para obtenção da biomassa com maior vida útil. Assim, a remoção de umidade previne o crescimento e a reprodução de microrganismos que causam deterioração, além de minimizar muito as reações químicas e enzimáticas que ocorrem na presença de umidade no material. Além disso, a secagem oferece uma redução significativa de massa e volume, minimizando custos com embalagem, armazenamento e transporte (COSTA, 2014; SANTOS et al., 2017).

Existem três modos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) que podem ocorrer durante o processo de secagem, retirada de água do material. A condução é um fenômeno de escala molecular, em que a energia das partículas com mais energia é transferida para as de menor energia, em um meio, devido às interações entre elas (INCROPERA & DEWITT, 2007).

A transferência de calor por convecção se dá entre o fluido em movimento e uma superfície com temperaturas diferentes. A convecção pode ser natural ou forçada, de acordo com o escoamento do fluido. A convecção natural ocorre por meio das forças de empuxo, diferenças da densidade, ocasionadas pelo gradiente de temperatura em um fluido. Já a convecção forçada se dá por agentes externos, como uma bomba ou um ventilador (INCROPERA & DEWITT, 2007).

Segundo Incropera & Dewitt (2007), todos os corpos a uma temperatura não nula, diferente de 0K, emitem radiação eletromagnética por consequência da agitação molecular e atômica relacionada com a energia interna de cada corpo. Diferente dos outros dois modos de transmissão de calor, a radiação não necessita de um meio para ocorrer, sendo mais efetiva no vácuo. A radiação térmica pode ser definida como a propagação de ondas eletromagnéticas, assim o comprimento de onda e a frequência da radiação estão relacionados pela velocidade da luz no meio.

Um dos principais métodos de secagem ocorre através de secadores/estufas convectivas. Na secagem por ar quente, o processamento é influenciado pela quantidade de vapor d'água presente no ar, pela temperatura do ar e pela quantidade de ar que passa pelo alimento. A secagem de um alimento através dessa metodologia é regida pelos estudos da psicrometria e pelas relações estabelecidas pelas cartas psicrométricas, que avaliam as propriedades inter-relacionadas dos sistemas ar-vapor d'água. No geral, uma secagem com resultados satisfatórios requer temperatura do ar moderadamente alta, baixa UR (umidade relativa) e alta velocidade do ar. Uma boa maneira de conhecer o mecanismo de secagem de um produto é através de sua curva de secagem, como a que está ilustrada na Figura 10 (FELLOWS et al., 2006).

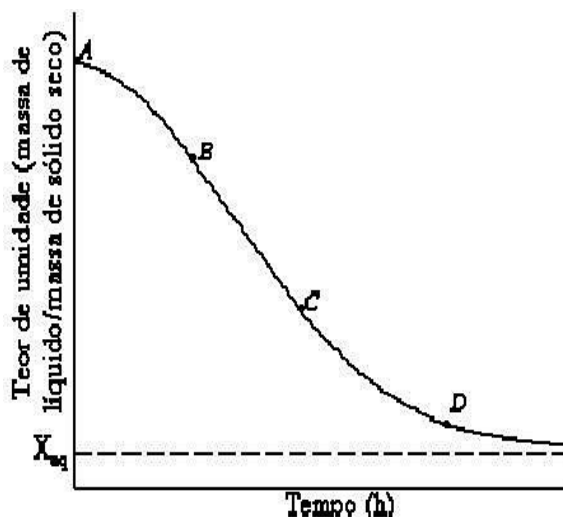


Figura 8. Curvas de Secagem.

Fonte: GEANKOPLIS (1993).

A temperatura e a umidade do ar de secagem são constantes e todo o calor é fornecido por convecção para a superfície do alimento. Quando um alimento é colocado em um secador, existe um curto período de estabilização da temperatura do produto em relação a temperatura de secagem (segmento A-B na Figura 10). Neste momento, inicia-se a secagem e, enquanto a água se movimentar do interior do alimento na mesma taxa em que é evaporada da superfície, essa permanece úmida. Esse período é conhecido como período de taxa constante, que continua até que o teor de umidade crítico seja alcançado (segmento B-C na Figura 10). Na prática, diferentes áreas da superfície do alimento secam a diferentes taxas e, de modo geral, a taxa de secagem diminui gradualmente ao final do período de taxa constante (FELLOWS et al., 2006).

Quando o teor de umidade do alimento cai além do teor crítico, a taxa de secagem decresce lentamente até se aproximar do zero no teor de umidade de equilíbrio, ou seja, quando o alimento fica em equilíbrio com o ar de secagem (segmento C-D na Figura 10), sendo esse período conhecido como taxa decrescente. Alimentos não higroscópicos possuem um único período de taxa decrescente, enquanto alimentos higroscópicos possuem dois ou mais períodos. O período de taxa decrescente geralmente é a parte mais demorada da operação de secagem (FELLOWS et al., 2006).

A seguir, serão detalhados alguns métodos de secagem já aplicados em *Spirulina*, tais como secagem por bomba de calor, secagem a vácuo, secagem por *spray dryer*, secador de bandejas, secagem por impacto, por método do infravermelho, em fornos convencionais, entre outros.

4.5.1. Secagem da Spirulina

O método de secagem por bomba de calor é realizado em um equipamento que consiste em uma câmara de secagem e uma bomba de calor (evaporador, condensador, compressor e válvula de expansão), a qual consome energia elétrica e transfere calor de uma fonte fria para uma fonte quente, realizando um ciclo termodinâmico. A secagem ocorre em condições amenas de temperatura e umidade, devido à desumidificação do ar, favorecendo a retenção de compostos bioativos que são sensíveis ao calor. A desumidificação do ar de secagem ocorre quando o mesmo passa pelo evaporador da bomba de calor, uma vez que a temperatura da superfície do evaporador é inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar. Outra vantagem é a não dependência dos parâmetros do ar ambiente, o que permite o seu funcionamento independentemente das condições climáticas externas (COSTA, 2014).

Devido à baixa temperatura do ar utilizada (25 a 60 °C), o secador de bomba de calor é um sistema que apresenta eficiente utilização de energia. A bomba de calor localiza-se dentro do secador, que possui paredes bem isoladas. A fonte de calor absorvida no evaporador é o ar úmido, obtido após o ar seco aquecido ser fornecido ao material. Depois, o ar úmido é resfriado até uma temperatura abaixo do seu ponto de condensação, removendo-se a água. O calor latente recuperado no processo entra no condensador e aquece o ar no interior do secador. O sistema apresenta eficiência de 100% e possui recirculação completa (COSTA, 2014).

Para determinar os efeitos nas propriedades físico-químicas (conteúdo de ficocianina e TAA) e parâmetros de cores através da calorimetria de varredura diferencial da *Spirulina* seca, Costa et al. (2016) utilizaram um secador da bomba de calor (Figura 11).

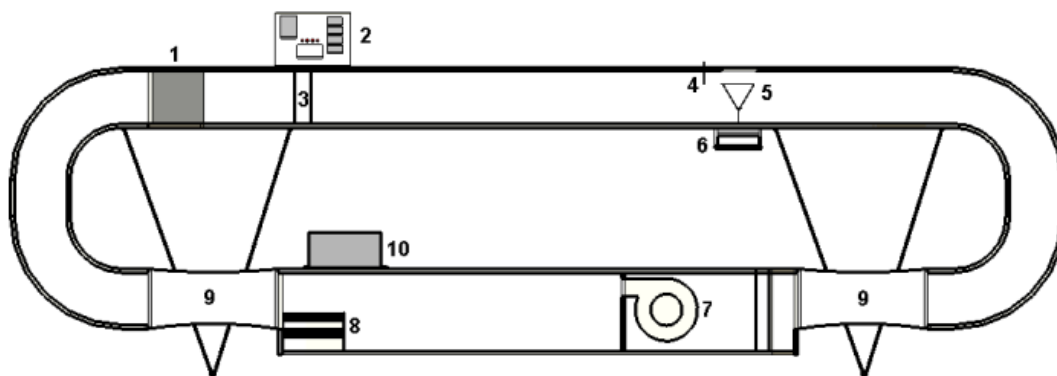


Figura 9. Diagrama esquemático do secador de bomba de calor: (1) válvula para duto de ar secundário; (2) painel de controle; (3) homogeneizador de ar; (4) sensor de temperatura; (5) bandeja de secagem; (6) balança; (7) ventilador; (8) resistência elétrica; (9) manga flexível; (10) bomba de calor.

Fonte: COSTA et al. (2016).

Os dutos de ar e a câmara de secagem eram compostos por uma seção quadrada com borda interna de 200 mm. Na entrada do duto havia um homogeneizador de ar (com 0,09 m de comprimento, uma borda de 0,015 m e espessura igual a 0,001 m). Um ventilador centrífugo garantia o ar de secagem, variando as temperaturas (30, 40 e 50 °C), enquanto no interior do equipamento resistências elétricas mantinham o aquecimento do ar na câmara. As amostras inicialmente tinham espessura de 1, 3 e 5 mm e, após secas, foram moídas em um moinho de facas e o pó obtido foi analisado. Sendo assim, as condições operacionais ideais para a secagem por bomba de calor de *Spirulina* sp. foram: temperatura do ar de secagem de 50 °C e espessura da amostra de 5 mm. A atividade antioxidante total (AAT) da microalga foi determinada pela capacidade de sequestrar o radical estável 1,1-difenil-2-picrihidrazil (DPPH), realizadas em espectrofotômetro em comprimento de onda de 515 nm. A capacidade de sequestrar o radical foi expressa em percentual, calculada pela absorbância da amostra ($A_{amostra}$) em relação a da solução de DPPH ($A_{controle}$), segundo a Equação 1.

$$\%_{inibição} = \frac{A_{controle} - A_{amostra}}{A_{amostra}} \times 100 \quad (1)$$

O conteúdo de ficocianina, a atividade antioxidante total e a diferença de cor foram de 19,60 mg/g, 52,6% e 5,71, respectivamente. Houve retenção de compostos bioativos, sensíveis ao calor, no produto seco, devido às condições moderadas de temperatura e de umidade do ar utilizado no secador de bomba de calor (COSTA et al., 2016).

Comitre et al. (2015) avaliou o efeito da secagem a vácuo da microalga *Spirulina* LEB-18 sobre o conteúdo de ficocianina e de compostos fenólicos e a atividade antioxidante. Utilizou-se o meio Zarrouk preparado com água da Lagoa Mangueira para manutenção do inóculo e a obtenção da biomassa. A biomassa foi filtrada (200 mesh) e prensada a 1 ton/cm², obtendo-se uma concentração de sólidos de 18% (g/g). As microalgas foram secas em um secador a vácuo sob pressão reduzida de 100 mmHg (13,3 kPa) nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. A *Spirulina*, no formato de pellets cilíndrico de 4 mm de diâmetro, foi colocada em uma bandeja de dimensões 14,5 cm x 16 cm. A secagem foi finalizada quando a umidade atingiu cerca de 0,10 g de água/g sólido seco. A redução de tamanho, foi feita usando um moinho de facas para melhorar a uniformidade da amostra. A condição mais adequada para secagem de *Spirulina* a vácuo foi na temperatura de 40 °C, que apresentou resultados satisfatórios em relação aos compostos fenólicos, atividade antioxidante e menor degradação da ficocianina.

Larrosa et al. (2017) também avaliaram o efeito da secagem a vácuo sob diferentes temperaturas (40, 50 e 60 °C) sobre o teor de ficocianina e compostos fenólicos, a oxidação lipídica, os parâmetros de cor e a capacidade de reidratação da *Spirulina*. As microalgas, em formato de pílulas cilíndricas com 4 mm de diâmetro e 15,5 cm de comprimento foram colocadas sobre as chapas, com a pressão de vácuo absoluta de 13,3 kPa. A cada 30 minutos, as amostras eram retiradas, pesadas e retornadas ao equipamento até cada amostra atingir 0,10 g/g (base úmida). A secagem a vácuo a 40 °C foi a mais adequada para a secagem de *Arthrospira* sp. em relação às propriedades analisadas.

A técnica de secagem da microalga por *spray dryer* (pulverização) foi testada por Silva et al. (2019). Para microencapsular *A. platensis* os autores utilizaram maltodextrina (SM) ou reticulada com ácido cítrico (SMA) como materiais de parede. A reação de reticulação envolve a reação de grupos hidroxila da maltodextrina com grupos carboxílicos do ácido cítrico (reação de esterificação) e foi realizada por processo de secagem por pulverização. O equipamento utilizado foi um Mini Spray Dryer B-290 Büchi (Flawil, Suíça) (Figura 12) ajustado no modo de operação normal (diâmetro do bico: 0,7 mm; volume atomizado: 150 ml; teor de sólidos <33%). As condições do equipamento foram: temperatura de entrada do ar de secagem 170 °C, temperatura de saída 95 °C, aspiração 90% e bomba 20%. As amostras obtidas foram coletadas e mantidas em recipientes protegidos da luz (4 °C) até análise posterior. Observou-se que foram obtidos bons resultados, uma vez que o produto seco apresentou boa estabilidade térmica, superior ou comparável à amostra padrão, e atividade anti-inflamatória superior à de *A. platensis* livre, mesmo que o conteúdo de *A. platensis* no pó final fosse de apenas 50%. O principal ácido orgânico encontrado em *A. platensis* foi o ácido quinínico, que tem sido associado à ação anti-inflamatória. Além disso, as microesferas produzidas não apresentaram citotoxicidade, indicando sua adequação ao uso em aplicações alimentares, demonstradas no trabalho pelo desenvolvimento de iogurtes funcionais.



Figura 10. Mini Spray Dryer B-290 Büchi.
Fonte: BUCHI (2019).

Prasetyaningrum & Djaeni (2012) estudaram a secagem de Spirulina por leite de espuma. Spirulina com 95% de umidade foi misturada por 5 minutos com agente espumante (clara de ovo/albumina) com composição diferente (2,5% e 5% com estabilizador de espuma). A mistura foi então seca no secador de bandeja sob velocidade constante do ar ($2,2 \text{ m.s}^{-1}$), variando-se a espessura (1, 3 e 5 mm) da mistura e a temperatura (50, 60 e 70°C). Para estimar a taxa de secagem, os dados do teor de umidade da Spirulina foram analisados a cada 5 minutos até próximo a 5%. O esquema do secador de bandeja é apresentado na Figura 13.

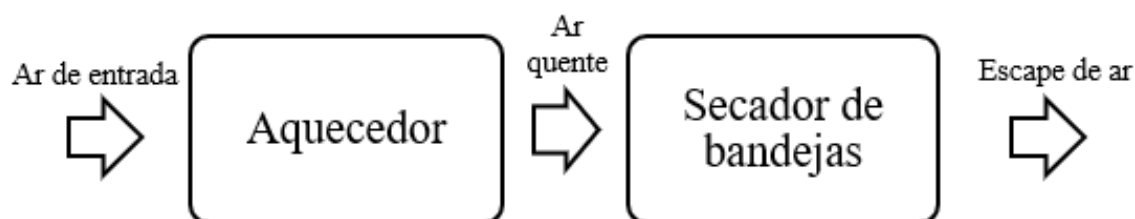


Figura 11. Diagrama esquemático do secador de bandeja para secar a Spirulina.
Fonte: Adaptado PRASETYANINGRUM & DJAENI (2012).

Como resultado, os autores constataram que a camada mais fina (1 mm) e a temperatura mais alta (70°C) produziram efeitos positivos, uma vez que, para camadas com espessura maior que 1 mm, a taxa de secagem não alterou e nem influenciou a qualidade do produto. Além disso, a presença do agente espumante, em concentrações de até 2,5%, também

melhorou a taxa de secagem. Em concentrações superiores, não teve um acréscimo significativo na taxa de secagem. A qualidade da Spirulina obtida foi analisada com relação a cor, textura e concentração de betacaroteno, utilizando-se a amostra do produto obtido das melhores condições de secagem. O resultado foi comparado com a Spirulina seca em secador convencional e pôde-se constatar que a Spirulina seca através do processo de secagem em leito de espuma apresentou qualidade superior à Spirulina seca em secador convencional.

Um forno de secagem tradicional pode levar de 18 a 24 horas para secar um filme de Spirulina de 2 mm de espessura a 40 °C, sendo um processo lento e que consome muita energia. Por esse motivo, o trabalho realizado por Yamsaengsung & Bualuang (2010), na Tailândia, investigou o efeito da técnica de colisão com ar na secagem em camada fina de Spirulina, para verificar a eficácia de secagem, principalmente durante a estação chuvosa no sul da Tailândia. Para realização do experimento em escala laboratorial, a Spirulina foi recebida com teor de umidade inicial que variou de 84 a 90% de base úmida. O secador por impacto de ar (Figura 14) é composto por uma bandeja com dimensões de 37 cm x 79 cm x 2,5 cm e um tubo perfurado. Cerca de 500 a 600 g de Spirulina foram secas em camadas finas (2 mm e 4 mm); a velocidade do ar foi fixada em 1 m/s e as temperaturas do ar foram de 40, 50 e 60 °C. A amostra foi pesada a cada uma hora.



Figura 12. Secador por impacto de ar usado no experimento em escala de laboratório.
Fonte: YAMSAENG SUNG & BUALUANG (2010).

A segunda etapa, foi projetar um secador de impacto em escala piloto (Figura 15) de aço inoxidável espessura de 4 mm, dimensões de 1,2 m x 1,2 m x 1,0 m, isolamento com fibra de vidro de 25,4 mm, constituído de 6 bandejas (50 cm x 50 cm) e suportando de 450 a 470 g

de Spirulina. Sobre cada bandeja, havia 6 tubos principais de impacto, cada tubo principal continha 4 sub-tubos e cada sub-tubo 4 bicos. A capacidade de secagem total para o secador foi de cerca de 2,7-2,8 kg (YAMSAENG SUNG & BUALUANG, 2010).



Figura 13. Secador de impacto em escala piloto mostrando bicos e bandejas de secagem.

Fonte: YAMSAENG SUNG & BUALUANG (2010).

Como resultado dos experimentos em escala laboratorial e piloto, os autores relataram que quanto maior a temperatura e a velocidade do ar e menor espessura da camada de filme, menor o tempo de secagem. Temperaturas de secagem acima de 60 °C não são recomendadas devido à degradação da ficocianina e ao efeito de escurecimento pela reação de Maillard. Em relação ao consumo de energia, a velocidade do ar de 2,6 m.s⁻¹ foi mais apropriada que a de 1,3 m.s⁻¹, devendo-se analisar seu efeito na qualidade do produto (YAMSAENG SUNG & BUALUANG, 2010).

Ghnamil, Hassini & Bagane (2019) investigaram a eficiência da secagem de Spirulina por dois métodos: secagem por infravermelho utilizando um analisador de umidade por infravermelho de escala laboratorial (Figura 16) e secagem por convecção realizada em um túnel em escala piloto (Figura 17), com velocidade do ar de 0,5 m/s e variando-se a temperatura de 50 a 80 °C.

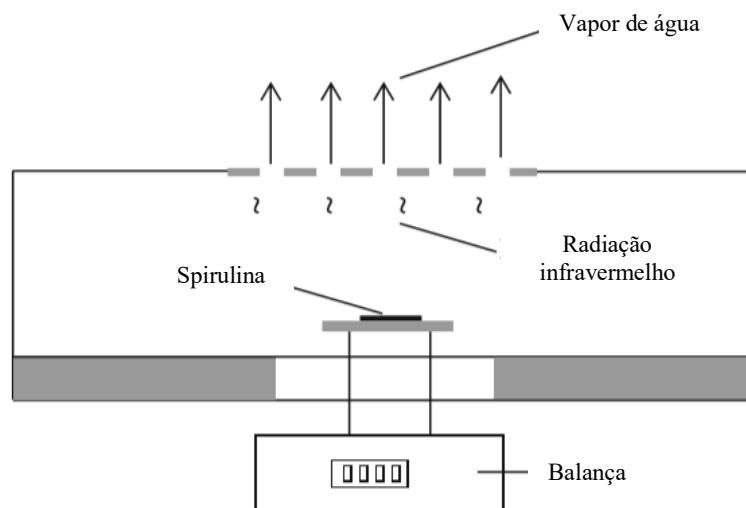


Figura 14. Layout geral do analisador de umidade por infravermelho.
Fonte: GHNIMIL & HASSINI & BAGANE (2019).

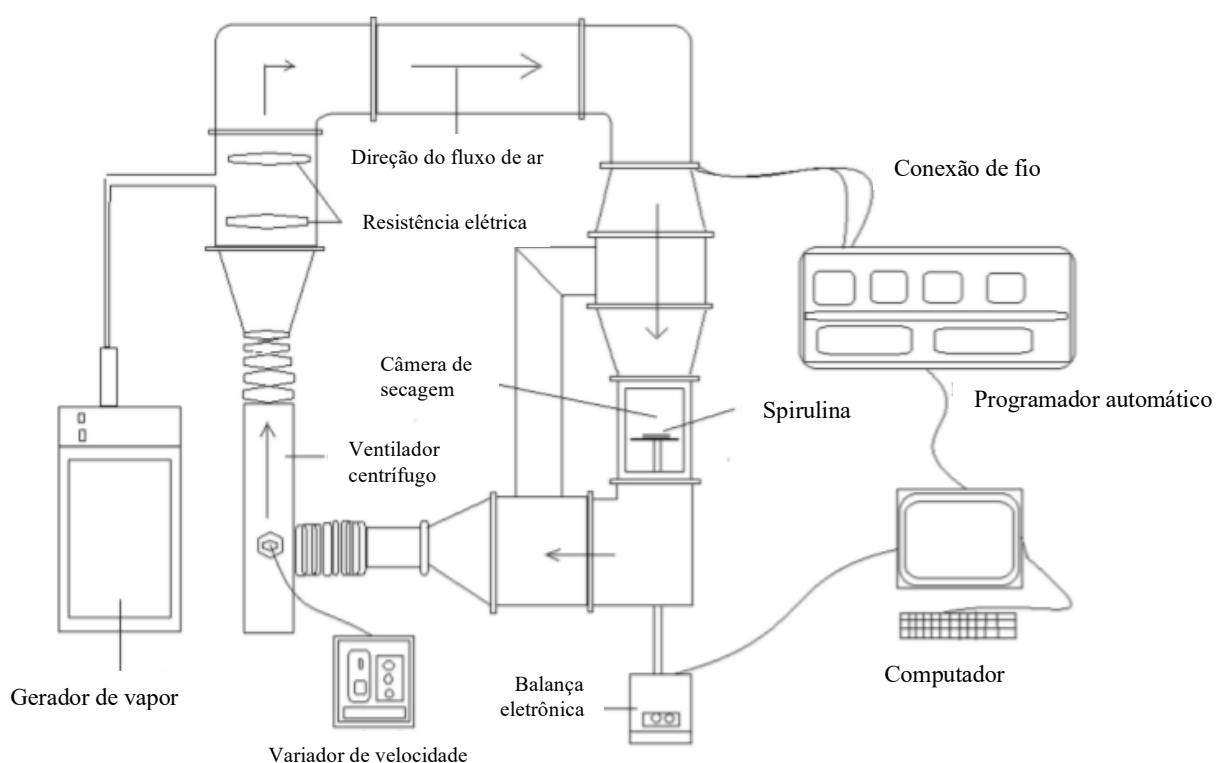


Figura 15. Layout geral do secador experimental de laboratório.
Fonte: GHNIMIL & HASSINI & BAGANE (2019).

A secagem por infravermelho é realizada por um campo eletromagnético transmitido por frequências que excitam as moléculas da água. A drenagem capilar, utilizada em ambos os métodos, consiste em introduzir a Spirulina por um material poroso (papel de filtro) colocado sob uma fina camada (3 mm de espessura), previamente moldada, que tem como objetivo

absorver o máximo da água livre inicialmente existente na biomassa da microalga. A massa inicial da amostra do infravermelho foi de $5 \pm 0,001$ g e suas dimensões foram de $40 \times 40 \times 3$ mm³, enquanto na secagem por ar quente, a massa inicial da amostra foi de $30 \pm 0,001$ g e suas dimensões foram de $80 \times 80 \times 3$ mm³. Através das análises realizadas, concluiu-se que houve redução de tempo de 60% para a secagem por infravermelho e 40% para a secagem por convecção, comparado com as secagens sem a drenagem capilar. Os autores concluíram que a drenagem capilar proporcionou uma possibilidade real de secar a *Spirulina* mais rapidamente e, assim, reduzir o consumo de energia do processo de secagem por infravermelho e por convecção (GHNIMIL, HASSINI & BAGANE, 2019).

Dentre os métodos de desidratação, destaca-se o uso de micro-ondas, que é uma radiação eletromagnética e tem a habilidade de penetrar os materiais e aquecê-los em toda a sua extensão e de dentro para fora (volumetricamente). Ademais, este método tem apresentado vantagens similares aos métodos convencionais, apesar de seu uso ser relativamente recente, com alguns benefícios como: tempo de processamento reduzido e economia de energia (SANTOS et al., 2017).

A secagem por infravermelho e por micro-ondas foram utilizadas para secar a microalga *Arthrospira platensis*, analisando a forma contínua e intermitente, sendo a contínua mais eficiente. Avaliou-se compostos bioativos como fenólicos, flavonoides, ácido cítrico e ficocianina no final da secagem. As condições de temperaturas e potências foram mais elevadas e brandas. Os processos removeram grande parte da umidade, mas houve a degradação dos compostos bioativos comparados com análises feitas antes da secagem. Quando comparados os dois métodos, observou-se que as amostras secas por infravermelho demonstraram menor degradação dos compostos bioativos (GRATON, 2019).

Para a produção de biofilmes com adição de *Spirulina*, Larrosa et al. (2018) testaram dois métodos de secagem: o secador de leito de jorro e o secador de bandejas perfuradas convencional. No secador em leito de jorro, que tem formato geométrico cônico convencional, a suspensão de *Spirulina* com água destilada foi alimentada no centro do equipamento com ajuda de uma seringa. As condições de operação foram definidas em testes preliminares, e foram: pressão absoluta de 200 kPa, taxa de vazão da suspensão de $0,4 \text{ kg de biomassa Kg inerte}^{-1} \text{ h}^{-1}$, temperatura do ar de entrada de 95 ± 1 °C, velocidade mínima do ar de jorro de $0,33 \text{ m.s}^{-1}$ e, por fim, taxa de circulação de ar igual ao dobro do jato mínimo de velocidade. O segundo método, utilizou um secador de bandejas perfuradas convencional, com uma carga de amostra (pílulas cilíndricas com um diâmetro de 4 mm) de 4 kg. m^{-2} . As condições adotadas para o ar de secagem foram: temperatura de 55 °C, velocidade de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ e umidade absoluta de 0,015

kg.kg⁻¹. Depois de secas, as amostras foram trituradas com auxílio de um moinho de facas e peneiradas passando na malha Tyler 35 (dp\425 lm). Os ensaios foram realizados até que o conteúdo final de umidade das amostras atingisse 0,10 kg.kg⁻¹ (base úmida). As amostras secas pelo leito de jorro apresentaram maiores teores de ficocianinas de 75,9 e 85,4 mg.g⁻¹ e compostos fenólicos totais de 41,6 e 41,9 mg.g⁻¹. Sendo assim, pensando nos compostos bioativos, o leito jorro obteve melhores resultados. Entretanto, para a produção de biofilmes, o método de secagem em bandejas foi mais eficaz, pois obteve amostras com maior resistência à tração (3,69 Mpa), melhor permeabilidade ao vapor de água (1,67 x 10⁻¹¹ g.m.s⁻¹ m⁻² Pa⁻¹) e maior estabilidade térmica.

Para secar a microalga *Spirulina platensis*, o camu-camu (*Myrciaria dubia*) e o bagaço de malte, aplicou-se técnicas alternativas na secagem que, quando comparadas aos métodos convencionais, geram produtos com maior qualidade e tendem a ser energeticamente eficientes. Silva (2019) analisou a secagem por *refractance window* (RW), o secador rotatório com recheio de inertes (SRRI), o infravermelho e o micro-ondas. O conteúdo de fenólicos totais, flavonoides totais, ácido cítrico, ácido ascórbico e ficocianina foi avaliado após a secagem e concluiu-se que o secador rotatório com recheio de inertes (SRRI) foi o que produziu o material desidratado com as melhores características, podendo-se utilizar o produto em pó em várias aplicações (SILVA, 2019).

A secagem por secador rotatório apresenta fatores positivos pois promove uma secagem homogênea devido ao seu alto grau de mistura das partículas, permite a obtenção de produtos de qualidades e fácil aplicação de seu *scale-up*. Para testar a eficiência da remoção de umidade e os impactos da técnica nos compostos bioativos da *Arthrospira platensis* e comparar com a mesma *in natura*, foi realizado o cálculo de rendimento de produto, análises de umidade final, atividade de água e compostos bioativos (teor de fenólicos totais, teor de flavonoides, acidez total titulável e teor de ficocianina) variando-se as condições de secagem. A atividade de água variou entre 0,2 e 0,4, as análises obtiveram bom rendimento do produto e, em relação aos compostos bioativos, a técnica causou baixo impacto nos teores tendo seus valores mantidos próximos ou maiores que o da microalga *in natura* (FREITAS, 2017).

Pensando em utilizar fontes de energia renováveis para a secagem da *Arthrospira platensis*, esse estudo desenvolveu um secador solar (acoplado de um coletor solar, uma câmara de secagem e um exaustor eólico) de exposição indireta variando a vazão volumétrica de ar e a carga mássica alimentada, utilizando a radiação solar incidente para aquecer o ar. A biomassa foi exposta na forma de pellets cilíndricos longos em bandejas perfuradas na câmara de secagem e foram avaliados os conteúdos de alguns compostos bioativos. As melhores condições

relacionaram a mínima vazão volumétrica de ar e a carga mássica intermediária de *Arthrospira platensis*, no tempo de secagem de 147 min, que favoreceu o teor de fenólicos, flavonoides e de ficocianina (SILVA, 2017).

A fim de obter betacaroteno a partir da Spirulina, foram utilizados dois métodos de secagem da microalga – atomização em *spray dryer* e secagem solar. Os autores observaram que a diminuição da temperatura contribuiu para minimizar as perdas de betacaroteno pelo processo de secagem. Além disso, verificou-se que a degradação reduziu quando a microalga estava na forma de grânulos ou flocos grossos. Analisando essas características, o melhor método para obtenção de betacaroteno, dentre os avaliados no trabalho, foi por atomização, devido ao maior controle das variáveis (SESHADRI & UMESH & MONOHARAN, 1991).

Dentre os métodos apresentados neste trabalho, pode-se observar que o método de secagem a vácuo apresentou vantagens na secagem da Spirulina, uma vez que é um método mais simples de se operar, com custos mais baixos, que obteve bons rendimentos e menor perda de nutrientes, devido às condições mais brandas aplicadas no equipamento. Porém, se faz necessária uma avaliação da indústria no caso de maiores escalas para avaliar a viabilidade de cada processo.

4.6. APLICAÇÕES DA SPIRULINA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A busca dos consumidores por alimentos enriquecidos com ingredientes naturais e saudáveis vem crescendo gradualmente. Conforme demonstrado anteriormente, são inúmeros os benefícios da incorporação da Spirulina como ingrediente em formulações alimentícias, principalmente com relação ao enriquecimento nutricional do alimento. Além disso, as microalgas podem ser incorporadas a alimentos visando as suas funcionalidades tecnológicas, tais como propriedades espumantes, emulsificantes, gelificantes, entre outras (BENELHADJ et al., 2016). Com isso, vários estudos têm sido feitos a fim de avaliar o comportamento do alimento com relação a suas propriedades físico-químicas após a adição da Spirulina, bem como a avaliação sensorial e a aceitação do consumidor com relação a esses produtos fortificados, uma vez que uma das dificuldades da incorporação da Spirulina em formulações se deve ao seu sabor marcante.

A aceitabilidade de cookies enriquecidos com *Arthrospira platensis* com diferentes porcentagens de suplementação (1%, 3% e 5%), foi realizado por Lima et al. (2018). Foram avaliados os parâmetros de aparência, aroma, sabor, textura, cor e aceitação global. Os cookies

enriquecidos apresentaram aceitabilidade considerável quando comparados com a amostra padrão. A intenção de compra também foi avaliada, apresentando boa aceitação por parte dos consumidores.

Sousa e colaboradores (2018) fizeram a caracterização físico-química de polpa mista de ciriguela (*Spondias purpurea* L.) adicionada de *Arthrospira platensis* seca por liofilização. Os autores também analisaram o fruto de ciriguela com Spirulina em pó e diferentes concentrações de maltodextrina. Foram realizados testes preliminares com o intuito de definir a concentração ideal de Spirulina, que obtivesse uma quantidade considerável da cianobactéria na mistura sem alteração no sabor que tornasse o produto indesejável, já que a microalga possui sabor peculiar e forte. Foi definida a concentração de 3,0 % de *Arthrospira platensis*. Como resultado da adição de 3% de Spirulina em pó, obteve-se uma redução no teor de água e na acidez total titulável e um aumento dos sólidos solúveis e do pH da polpa. Os teores de açúcares, de vitamina C e de cinzas não apresentaram alterações significativas. Com a adição de maltodextrina, a composição físico-química da polpa mista de ciriguela com *Arthrospira platensis* também foi alterada, sendo que os valores de sólidos solúveis, pH e açúcares aumentaram proporcionalmente com a adição da maltodextrina; já os parâmetros de teor de água, acidez total titulável, vitamina C e cinzas foram valores inversamente proporcionais à adição da maltodextrina na polpa mista de ciriguela com *Arthrospira platensis*.

Moraes, Miranda & Costa (2006) realizaram um estudo com adição de *A. platensis* a biscoitos, nas concentrações de 1%, 3% e 5%, e compararam as análises centesimais dos biscoitos enriquecidos com as do biscoito controle. Notou-se que, com o aumento da concentração de *A. platensis*, os teores de proteínas e de carboidratos aumentaram, sendo que os biscoitos nos quais foram adicionados 5% de *A. platensis* apresentaram teor de proteínas 7,7% maior do que o controle e o maior conteúdo de carboidratos foi de 68,6%. O teor de lipídios foi de 18,6% para o biscoito com 5,0% de *A. platensis* e de 18,9% para o controle, o que é positivo, pois houve um aumento proteico e de carboidratos sem aumentar o teor lipídico do alimento. Não foi observada influência da adição de *A. platensis* sobre os teores de umidade, cinzas e fibra bruta. Os parâmetros de espessura, fator de expansão e volume específico dos biscoitos não apresentaram diferenças significativas entre as amostras, o que foi positivo do ponto de vista tecnológico. Também não houve diferença entre os quatro tipos de biscoitos nos atributos cor, crocância, mastigabilidade e maciez. No quesito compra (Figura 18), os provadores comprariam todos os 4 tipos, sendo que 58% dos julgadores comprariam os biscoitos contendo adição de 1,0% de *A. platensis*, seguido do biscoito controle (57% dos

julgadores), do biscoito com adição de 5,0% de *A. platensis* (50% dos julgadores) e, por último, o biscoito com 3,0% de Spirulina (40% dos julgadores).

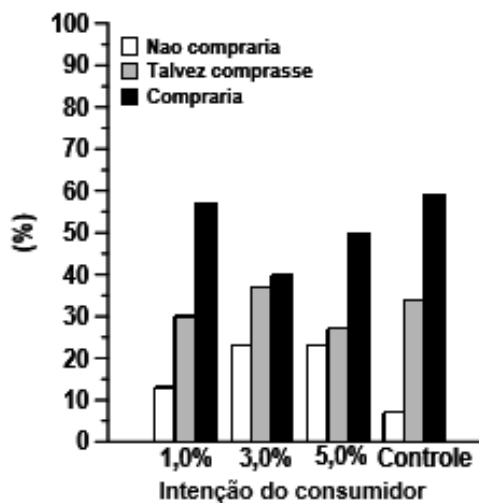


Figura 16. Intenção de compra de biscoitos adicionados de 1,0; 3,0 e 5,0% de *Arthrospira platensis*.
Fonte: MORAES, MIRANDA & COSTA (2006).

Os biscoitos contendo adição de 1,0% de *A. platensis* foram os que mais se aproximaram do controle, quando comparadas as intenções de compra, provavelmente por apresentarem maior digestibilidade, sabor menos alterado do que o biscoito adicionado de 5% de *A. platensis*, maior maciez e melhor mastigabilidade (Figura 19).

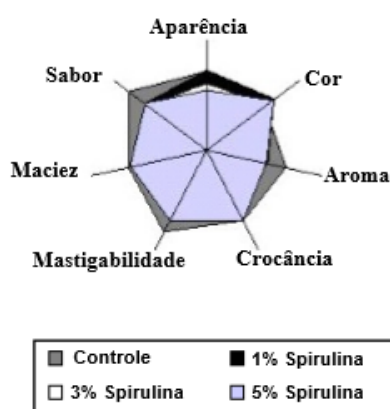


Figura 17. Perfil sensorial de biscoitos de chocolate enriquecidos com *A. platensis*.
Fonte: MORAES, MIRANDA & COSTA (2006).

Mira (2015) desenvolveu formulações de iogurte com e sem adição de Spirulina e avaliou o tipo de iogurte (iogurte natural sem lactose e iogurte grego natural), o tipo de leite (leite meio-gordo e leite sem lactose), os tempos de fermentação (6h-12h dependendo do leite utilizado), a concentração de espessante (leite em pó magro, uma mistura de grau alimentício

de emulsionante, farinha de tapioca, amido de milho, estabilizadores e agar) e a quantidade de açúcar (açúcar branco e o açúcar amarelo) sobre as características físico-químicas e sensoriais dos produtos. Após o desenvolvimento dos produtos e a realização das análises, evidenciou-se que o iogurte enriquecido com *Spirulina* apresentou valores mais altos nos teores de proteínas, fibras e carboidratos. Em relação ao teor de lactose, o iogurte com a microalga apresentou valores mais elevados, ainda que bastante reduzidos, comparativamente ao iogurte sem a microalga. Os valores foram baixos (abaixo de 0,5 %), sendo ainda considerado um iogurte sem lactose. Além disso, o iogurte enriquecido com *Spirulina* apresentou diferenças significativas comparado ao controle em relação ao teor de matéria gorda (menor valor) e pH (maior valor) e teor de umidade mais alto no iogurte sem microalgas. Na avaliação da qualidade microbiológica, o iogurte produzido com *Spirulina* não se destacou por apresentar valores mais elevados dos microrganismos probióticos, porém, em relação a *E. coli*, *enterobactérias*, *Salmonella* e *L. monocytogenes*, os valores obtidos em todas as amostras ao longo do tempo foi nulo, o que comprova que o iogurte não estava contaminado com estes agentes, causadores de grande risco para a saúde humana. Os autores também fizeram análise sensorial, utilizando o teste triangular, e foram analisados sete parâmetros, dentre eles o odor, a cor, o sabor doce, o sabor ácido, a textura, o sabor de produtos do mar e o *flavour* residual/persistência de sabor. No final, foi realizado um teste de preferência do provador com relação às amostras, sendo que 66% dos provadores preferiram o iogurte suplementado com *Spirulina*, sem lactose, utilizando agar como espessante, concluindo-se que este é um produto bastante inovador e com qualidade nutricional elevada, sendo indicado para o consumo até mesmo por quem tem intolerância à lactose. De acordo com o teste triangular, em termos de preferência, 56% dos provadores comprariam o iogurte enriquecido (MIRA, 2015).

Salous et al. (2018) realizaram doze tratamentos para a produção de chocolates, variando a concentração de cacau, *Spirulina máxima* e frutas desidratadas (abacaxi, banana e laranja). Foram determinadas as porcentagens de ingredientes em cada uma das formulações, de acordo com a percepção dos provadores, diminuindo o sabor característico da *Spirulina* e aumentando a quantidade de frutas desidratadas. Após análises de média (Tukey) e desvio padrão (ANOVA), notou-se que o chocolate mais bem aceito continha 69% de licor cacau, 20% de fruta desidratada (abacaxi e banana) e 5% de *Spirulina*. Através da análise sensorial com 50 provadores, foi possível determinar a preferência dos mesmos em relação aos atributos como brilho, sabor doce e sabor da fruta. A amostra escolhida foi submetida a análises físico-químicas e microbiológicas e foi concluído que o produto possuía alto conteúdo de proteína, fibras e baixo teor de açúcar, já que a doçura vinha da fruta desidratada. Este é um resultado importante,

pois foi desenvolvido um produto mais saudável e com boa aceitação pelo consumidor. Através da análise microbiológica, confirmou-se que o produto estava apto para o consumo humano, sem riscos à saúde do consumidor.

Rodríguez (2018) desenvolveu uma bebida adicionada de cereais (amaranto), Spirulina, frutas e adoçada com estévia. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (ACD) com 18 formulações preliminares, com diferentes quantidades de Amaranto e Spirulina. Para escolher os melhores tratamentos foram analisados o pH, °Brix, o custo da matéria-prima, o número de porções integrais no produto e a taxa de sedimentação. Em relação ao pH e ao teor de sólidos solúveis, todas as amostras estavam de acordo com a legislação de bebidas. Foram realizados testes pelo método ANOVA e, das 18 formulações testadas, restaram duas: uma com 16 g de amaranto e 2 gramas de Spirulina e outra com a mesma quantidade de amaranto e com 1 grama de Spirulina. A análise sensorial foi feita utilizando-se uma escala hedônica de 5 pontos com 70 pessoas na faixa etária de 18 a 50 anos e, após a análise sensorial, a bebida desenvolvida selecionada foi a que possuía 16 g de amaranto e 1 g de Spirulina. Esta bebida atendeu aos parâmetros físico-químicos e ao mesmo tempo, apresentou propriedades sensoriais de “não gosto nem desgosto” e ‘gosto um pouco’. Apesar do menor custo pelo menor uso de matéria-prima, não se conseguiu uma formulação da bebida que agradasse muito o paladar dos provadores. Para melhorar a aceitação da bebida, os autores sugeriram que fossem feitos testes de novas formulações, utilizando outras frutas e até mesmo hortaliças que possuam propriedades nutricionais favoráveis para o ser humano.

Yamaguchi e colaboradores (2019) avaliaram a influência da adição de microalgas em iogurte liofilizado. Foi testada a adição de Spirulina antes da fermentação e da secagem e depois de o iogurte já fermentado e liofilizado. Inicialmente, a biomassa de Spirulina foi submetida à secagem em estufa (50 °C), moagem em moinho de bolas e peneiração para obtenção de partículas com diâmetro de 0,053 mm. Para o processo de fermentação, o leite foi aquecido a 90 °C por 5 min e, depois, resfriado a 45 °C. Em seguida, os outros ingredientes foram adicionados e a mistura incubada a 45 °C por 4 h. Após a fermentação, o iogurte foi resfriado a 4 °C e armazenado em uma geladeira. Para o processo de liofilização, utilizou-se 40 g do iogurte e as amostras foram congeladas por 10 horas. Para cada 100 g de iogurte, foram adicionados 1,6 g de Spirulina. Uma amostra controle de iogurte liofilizado sem a microalga foi produzida para comparação dos parâmetros. Comparando-se as duas amostras com adição de Spirulina, não foram observadas diferenças significativas na composição nutricional e no potencial antioxidante. Quando comparadas a amostra do iogurte liofilizado com posterior adição de Spirulina e a amostra controle, houve semelhança em relação ao conteúdo de

proteínas, atividade antioxidante, contagem de bactérias lácticas e teor de ácido palmítico e esteárico. Por fim, foi realizada a análise sensorial do iogurte liofilizado com adição de *Spirulina* posterior, e foi observada uma aceitabilidade de 82,4%, o que demonstrou uma boa aceitação por parte do consumidor. O produto desenvolvido, por ser um pó para ser reconstituído pelo consumidor em casa, é prático e não necessita de refrigeração durante o armazenamento, além de fornecer benefícios nutricionais e à saúde.

Um estudo da aplicabilidade de um extrato da *Arthrospira platensis* como antioxidante em óleo de gergelim foi realizado por Omid, Sarhadi & Shahdadae (2018). Para retardar ou impedir a oxidação de óleos comestíveis, problema bastante comum neste tipo de produtos, são usados os antioxidantes, que podem ser naturais ou sintéticos, havendo uma tendência atual de preferência pelos antioxidantes naturais. A atividade antioxidante foi medida pelo método do 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e o conteúdo de compostos fenólicos foi avaliado pelo método de Folin-Ciocalteu. Foi preparado um extrato metanólico de *Spirulina* (10 g de pó seco de *Spirulina* foram misturados com 100 mL de solvente metanol-água 4:1 v/v). A extração foi realizada à temperatura ambiente (25 °C) por 24 h em um agitador de laboratório. Observou-se que, ao aumentar a concentração dos extratos, o processo de oxidação no óleo diminuiu. A quantidade adicionada do extrato de metanol ao óleo de gergelim variou em quatro concentrações (0, 500, 1000 e 2000 ppm), sendo que a concentração de 1000 ppm apresentou a maior atividade anti-radical e a mesma foi semelhante ao antioxidante sintético BHA (controle). Assim, concluiu-se que os extratos metanólicos da *Spirulina* apresentaram propriedades antioxidantes interessantes, indicando sua possível utilização como antioxidante natural para melhorar a estabilidade oxidativa do óleo de gergelim.

Um trabalho realizado por Doke (2005) analisou diferentes métodos para a máxima recuperação de ficocianina da *Spirulina*. Quando a cianobactéria é seca a 25 °C, na sombra, por circulação de ar, produz uma máxima recuperação da ficocianina, com taxa de pureza de 1,8. Outro método, a liofilização, obteve razão de pureza de 1,34, utilizando biomassa de *Spirulina* úmida por congelamento a -21 °C e descongelamento a 4 °C (anterior à secagem). O pó obtido pelo método de secagem no ar é mais conveniente para armazenar, facilmente transportável e adequado para a recuperação máxima da ficocianina, sendo o mais eficaz.

Para melhorar a desodorização de sabores e a hidrólise de proteínas em *Spirulina*, BAO et al. (2018) utilizaram a otimização aleatória na fermentação mista da microalga com *Lactobacillus plantarum* e *Bacillus subtilis*. As melhores condições para realização da fermentação foram temperatura de 33°C, tamanho de inóculo de 6% v/v, conteúdo de glicose de 4% p/v e tempo de fermentação de 21 h. As alterações nos componentes nutricionais

observadas após a fermentação mista da *Spirulina* foram a produção de 3% de ácido láctico, que melhorou a textura e sabor da microalga, o aumento de 15% no conteúdo de polipeptídeos devido à hidrólise de proteínas por enzimas microbianas. Já o conteúdo de polissacarídeos solúveis não apresentou grandes alterações, uma vez que a concentração de polissacarídeos atingiu um equilíbrio entre a degradação e a secreção de polissacarídeos. Houve redução dos compostos voláteis e produção maior do conteúdo de acetoina (> 85%) e outros compostos de odor atraente, além de maior disponibilidade de proteínas (BAO et al., 2018).

Outra aplicação da *Spirulina* na indústria de alimentos seria para incorporação na ração animal. Diversos estudos nutricionais foram realizados sobre a incorporação da *Spirulina* em dietas de diferentes animais: ratos, suínos, aves e bezerros. Em geral, ela é bem aceita pelos animais, proporcionando aumento de peso e deposição de nitrogênio comparáveis às outras fontes de proteína. Em camarões, lagostins e alevinos de diferentes espécies de importância comercial, a biomassa de *Spirulina* proporcionou crescimento igual ou superior à ração padrão. Além disso, algumas espécies atingiram a maturidade sexual mais cedo, permitindo um ciclo de geração mais rápido (KARAM & SOCCOL, 2007).

Diante disso, vemos que existe um vasto campo de aplicações da *Spirulina* como ingredientes no desenvolvimento de novos produtos na indústria de alimentos, agregando valor nutricional ao produto e podendo ser uma forma viável de enriquecimento de alimentos para populações carentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os aspectos mencionados no decorrer do trabalho, é possível notar que a cianobactéria *Spirulina*, devido a sua composição de micro e macronutrientes oferece diversos benefícios à saúde humana e animal. Além disso, sua aplicabilidade como produto natural em diversas indústrias e, principalmente, como ingrediente na indústria alimentícia é vantajosa, visto que seu cultivo em larga escala é rápido e ela se desenvolve mesmo em condições diversas, podendo ser cultivada no Brasil e no mundo em sistemas abertos e fechados, dependendo da necessidade do produtor. A tendência é que a sua produção e sua utilização aumente e se expanda nos próximos anos.

O perfil nutricional desta microalga e a sua facilidade de cultivo, com baixo impacto ao meio ambiente, a torna uma opção interessante para o suprimento da demanda de alimentos pela população mundial crescente, sendo uma fonte rica e viável de nutrientes inclusive para populações sob risco de desnutrição.

As formas de comercialização da *Spirulina* são múltiplas, porém, a mais comum é em pó. Diversos métodos podem ser aplicados para obter esse resultado, sendo que a secagem a vácuo, atualmente, é o mais satisfatório em termos de rendimento, menor gasto de energia e maior facilidade do processo.

Devido a todas as vantagens mencionadas neste trabalho, a incorporação da *Spirulina* vem sendo testada em bebidas, produtos lácteos, na área de panificação, massas, doces, entre outras, obtendo-se resultados positivos, visto que aumenta a qualidade nutricional desses produtos e agrega valor aos mesmos, demonstrando que há ainda um grande campo de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos à base dessa microalga a ser explorado por pesquisadores e indústrias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIBA, B.D.; SALEM, B.; NABIL, S.; ABDELHAKIM, M. **Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina* sp.) powders.** Powder Technol., v. 208, n. 3, p. 725-730, 2011.

AMBROSI, M.A.; REINEHR, C.O.; BERTOLIN, T.E.; COSTA, J.A.V.; COLLA, L.M. **Propriedades de saúde de *Spirulina* spp.** Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl., v. 29, n. 2, p. 109-117, 2008.

ANDRADE, M.R.A.; COSTA, J.A.V. **Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em fontes alternativas de nutrientes.** Ciênc. Agrotec., v. 32, n. 5, 2008.

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.

BAO, J.; ZHANG, X.; ZHENG, J. H.; REN, D. F.; LU, J. **Mixed fermentation of *Spirulina platensis* with *Lactobacillus plantarum* and *Bacillus subtilis* by random-centroid optimization.** Food Chem., v. 264, p. 64-72, 2018.

BELAY A.; **The potential application of *Spirulina* (*Arthrospira*) as a nutritional and therapeutic supplement in health management.** J. American Nutraceutical Assoc. v. 5, n. 2, 2002.

BENELHADJ, S.; GHARSALLAOUI, A.; DEGRAEVE, P.; ATTIA, H.; GHORBEL, D. **Effects of pH on the functional properties of *Arthrospira (Spirulina) platensis* protein isolate.** Food Chem., v. 196, p. 1056-1063, 2016.

BONOMETTI, P. **Spirulina fortalece o sistema imunológico e contribui para prevenir e minimizar os efeitos de doenças Virais.** Spigreen. 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 de mai. de 2020.

BUCHI. **Mini Spray Dryer B-290.** Disponível em: <<https://www.buchi.com/br-pt/products/spray-drying-and-encapsulation/mini-spray-dryer-b-290>>. Acesso em: 03 de abr. de 2020.

CHAGAS, A.L. **Modelagem e simulação do fotobiorreator Air-Lift para o cultivo da microalga *Dunaliella Tertiolecta*.** ENG07053- Trabalho de diplomação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2011.

CHOJNACK, A.K.; NOWORYTA, A. **Evaluation of *Spirulina* sp. growth in photoautotrophic, heterotrophic and mixotrophic cultures.** Enzyme Microb. Tech., v. 34, n. 5, p. 461-465, 2004.

COMITRE, A.A.; VAZ, L.B.; SILVA, L.A.; LARROSA, A.P.Q.; PINTO, A. **Secagem a vácuo de *Spirulina* sp. Leb 18: análise das características dos compostos bioativos do produto desidratado.** Universidade Federal de Rio Grande, Escola de Química e Alimentos, XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (COBEQIC), 2015.

COSTA, B.R.; **Secagem da microalga *Spirulina* em camada delgada utilizando secador com bomba de calor.** Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Rio Grande, RS.2014.

COSTA, B.R.; RODRIGUES, M.C.K.; ROCHA, S.F.; POHNDORF, R.S.; LARROSA, A.P.Q.; PINTO, L.A.A. **Optimization of *Spirulina* sp. Drying in heat pump: effects on the**

physicochemical properties and color parameters. J. Food Process. Pres., v. 40, n. 5, p. 934-942, 2016.

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.

CUESTA, A.R.R.; SERRANO, F.C.T. **Evolucion del pH en el cultivo de *Spirulina spp.* (*Arthrospira*) bajo condiciones de laboratorio. Trabajo de Grado.** Pontificia Universidad Javeriana – Faculdade de Ciencias Correria de Microbiologia Industrial. 2006. 106 p.

DERNER, R.B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S.M.; FETT, R. **Microalgas, produtos e aplicações.** Cienc. Rural, v. 36, n. 6, p.1959-1967, 2006.

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

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

ECYCLE. **Spirulina: o que é e para que serve.** 2019. Disponível em < <https://www.ecycle.com.br/3179-spirulina>>. Acesso em: 22 de fev. de 2020.

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/cultivo-de-spirulina-avanca-no-brasil-com-producao-em-grande-escala-no-mato-grosso/>>. Acesso em: 26 de mai. de 2020.

EXTREMADURA. **Espirulina: Algas comestíveis en el corazón de Gata.** Acesso em < https://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/espirulina-algas-comestibles-corazon-gata_960409.html> Acesso em: 22 de mar. de 2020.

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.

FELLOWS, P. J.; OLIVEIRA, F. C.; RUBENSAN, J. M.; NITZKE, J. A.; THYS, R. C. S. **Tecnologia do processamento de alimentos : princípios e prática.** [s.l.] Artmed, 2006.

FREITAS, L. V. D. **Estudo sobre a desidratação de microalgas em secador rotatório.** Monografia de graduação. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia. 2017.

GHNIMIL, T.; HASSINI, L.; BAGANE, M. **Convective and infrared drying assisted by capillary drainage of spirulina: a real possibility to reduce the energy consumption.** Heat Mass Transfer, v. 55, p. 867-876, 2019.

GONZÁLES, M., PARRA, O., CIFUENTES, A. **Técnicas de cultivo de microalgas em laboratório.** In: Alveal, K. Ferraio, M., Olivieila E., Sar, E., Eds. *Manual de métodos fisiológicos.* Universidad de Concepción, Concepción, Chile, p. 2019-250, 1995.

GRATOS, I. S. **Estudo da secagem intermitente da microalga *Spirulina platensis*.** Monografia de graduação. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia. 2019.

GUIDINI, C.A. **Fermentação Alcoólica em Batelada Alimentada Empregando *Saccharomyces cerevisiae* de Características Floculantes.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, abr. 2013.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. **Free radicals in Biology and Medicine.** Oxford: Clarendon Press, 1989, 543 p.

HENRIKSON, R. – **Microalga Spirulina – Superalimento del futuro.** Barcelona: Ediciones Urano, ISBN 84-7953-047-2. 1994.

HOLZ, L.C.; SEIBEL, F.I.; RODIGHERI, G.; SALLA, A.C.V.; MAGRO, F.G.; MARGARITES, A.C.F. **Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em meio diluído em águas**

de abastecimento e de resfriamento do processo de destilação. Semana do Conhecimento. Universidade de Passo Fundo, 2015.

IBARZ, A.T. **Capacidad antioxidante y cuantificación de polifenoles extractables in vitro en algas de consumo alimentario.** Facultad de Medicina, Grado en nutrición humana y dietética. 2016.

INCROPERA, F.P; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, 6ª edição, p. 320-321, 2007, LTC Editora. 2007.

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

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

KARKOS, P.D.; LEONG, S.C.; SIRVAJI, N., ASSIMAKOPOULOS, D.A. **Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications.** Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2011.

KOSARIC, N.; NGUYEN, H.T.; BERGOUGNOU, M.A. **Growth of *Spirulina maxima* algae effluents from secondary waste water treatment plants.** Biotechnol. Bioeng., v. 14, p. 881-896, 1978.

LARROSA, A.P.Q.; CAMARA, L.S.; MOURA, J.M.; PINTO, L.A.A. ***Spirulina sp.* biomass dried/disrupted by different methods and their application in biofilms production.** Food Sci. Biotechnol., v. 27, p.1659-1665, 2018.

LARROSA, A.P.Q.; COMITRE, A.A.; VAZ, L.B.; PINTO, L.A.A. **Influence of air temperature on physical characteristics and bioactive compounds in vacuum drying of *Arthrospira Spirulina*.** J. Food Process Eng., v. 40, n. 2, 2017.

LIMA, R.F.; FORMIGA, W.A.M.; SILVA, E.V.; PAIVA, Y.F.; SANTOS, F.A.F. **Aceitabilidade de cookies enriquecidos com *spirulina platensis*.** Nutrição e saúde: os

desafios do mundo contemporâneo., Instituto Medeiros de Educação Avançada (IMEA), João Pessoa, Cap. 2, 2018.

MACHADO, A.R.; GRAÇA, C.S.; ASSIS, L.M.; SOARES, L.A. **Uma abordagem sobre caracterização e avaliação do potencial antioxidante de extratos fenólicos de microalgas *Spirulina sp.* LEB-18 e *Chlorella pyrenoidosa*.** Rev. de Ciências Agrárias, v. 40, n. 1, 2017.

MAESTRIN, A. P. J.; NERI, C. R.; OLIVEIRA, T.; SERRA, O.A.; IAMAMOTO, Y. ***Spirulina maxima*: um experimento para os cursos de química.** Quím. Nova, v. 32, n. 6, 2009.

MARCHINI, J. S., VANNUCCHI, H., SUEN, V. M. M., & CUNHA, S. F. C. **Aminoácidos.** 1th ed. São Paulo: ILSI Brasil International Life Sciences Institute do Brasil. 2016.

MAZZOLA, D. **Efeito da *Spirulina platensis* e do exercício aeróbico no processo de envelhecimento em ratos.** Programa de Pós-Graduação em Envelhecimento Humano da Faculdade de Educação Física e Fisioterapia da Universidade Passo Fundo, 2012.

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.

MOHAMMED, M.K.; MOHD, M.K. **Production of carotenoids (antioxidants/ colourant) in spirulina platensis in response to Indole Acetic Acid (IAA).** Int. J. Eng. Science Technol., v. 3, n. 6, 2011.

MORAES, C.C.; BURKERT, J.F.M.; COSTA, A.V.; KALIL, S, J. **Extração de ficocianina a partir de diferentes biomassas de *Spirulina sp.*** R. Bras. Agrociência, v. 13, n. 4, p. 529-532, 2007.

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

MULITERNO, A.; MOSELE, P.C.; ALBERTO, J.; COSTA, V.; HEMKEMEIER, M.; BERTOLIN, T.E.; COLLA, L.M. **Cultivo mixotrófico da microalga *Spirulina platensis* em batelada alimentada**. Ciênc. Agrotec., v. 29, n. 6, 2005.

NASIRIAN, F.; DADKHAH, M.; MORADI-COR, N.; OBEDAVI, Z. **Effects of *Spirulina platensis* microalgae on antioxidant and anti-inflammatory factors in diabetic rats**. Diabetes Metab. Syndr. Obes., v. 11, p. 375-380, 2018.

NEHER, B.D.; AZCARATE, S.M.; CAMIÑA, J.M.; SAVI, M. **Nutritional analysis of *Spirulina* dietary supplements: Optimization procedure of ultrasound-assisted digestion for multielemental determinatio**. Food Chem., v. 257, p. 295-301, 2018.

NETO, A.M.G.; MONTEIRO, I.B.; CANTO, F.Q.; PRIMO, T.A.R.C.; SILVEIRA, C.B.; NEVES, F.F. **Avaliação do potencial de cultivo mixotrófico da microalga *Chlorella sp.* utilizando glicose como fonte de carbono**. Seminário de iniciação científica, Universidade do Estado de Santa Catarina – 25º SIC UDESC, 2015.

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**. J. Nut. Food Secur., 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 2020.

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

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

PRASETYANINGRUM, A.; DJAENI, M. **Drying Spirulina with Foam Mat Drying at Medium Temperature.** Internat. J. Sci. Eng., v. 3, n. 2, p. 1-3, 2012.

PULZ, O.; GROSS, W. **Valuable products from biotechnology of microalgae.** Appl. Microbiol. Biot., v. 65, p. 635-648, 2004.

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.

SALOUS, A.; CADENA, N.; MOSQUERA, C.; MARTINEZ, T. **Elaboración de chocolate com espirulina (*Spirulina máxima*) endulzado com stevia y frutas deshidatadas.** Universidad Agraria Del Ecuador. Cinferece Proceedings. 6th Engineering, Science and Technology Conference, v. 2018, p. 28-37, 2017.

SANTOS, A.O.; SILVA, T.C.; SILVA, N.C.; DUARTE, C.R.; BARROZO, M.A.S. **Impacto da desidratção 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.

SCHEFLER, S. Disponível em: <<https://scheffler.com.br/a-scheffler/>>. Acesso em: 08 de mar. de 2020.

SESHADRI, C.V.; UMESH, B.V.; MONOHARAN, R. **Beta-Carotene studies in Spirulina.** Bioresour. Technol., v. 38, n. 2–3, p. 111-113, 1991.

SILI, C.; TORZILLO, G.; VONSHANK, A. *Arthrospira (Spirulina) in* WHITTON, B.A. Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time, Springer, 2012.

SILVA, J.P.S. **Utilização de energia solar para secagem de microalgas.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia- MG. 2017.

SILVA, S.C.; FERNANDES I.P.; BARROSA, L.; FERNANDES, A.; ALVES M.J.; CALHELHA, R.C.; PEREIRA, C.; BARREIRA, G.C.M.; MANRIQUE, Y.; COLLA, E; FERREIRA, I.C.F.R.; BARREIRO, M.F. **Spray-dried *Spirulina platensis* as an effective**

ingredient to improve yogurt formulations: Testing different encapsulating solutions. J. Funct. Foods, v. 60, 103427, 2019.

SILVA, D.R.B.; JÚNIOR, P.F.M.; SOARES, E.A. **A importância dos ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa na gestação e lactação.** Rev. Bras. Saúde Mater. Infant., v. 7, n. 2, p. 123-133, 2007.

SILVA, N.C. **Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos. Defesa de Doutorado.** Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia- MG. 2019.

SIMÕES, M.A.; SANTOS, S.D.; DANTAS, D.M.M; GÁLVEZ, A.O. **Algas cultiváveis e sua aplicação biotecnológica.** Instituto Federal, Sergipe (1ª Edição), 2019.

SIMOPOULOS, A.P. **The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids.** Biomed. & Pharmacother., v. 56, n. 8, p. 365-379, 2002.

SIMPORE, J.; KABORE F.; ZONGO, F.; DANSOU, D.; BERE, A.; PIGNATELLI, S.; BIONDI, D.M.; RUBERTO, G.; MUSUMECI, S. **Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing Spiruline and Misola.** Nut. J., v. 5, n. 1, 2006.

SONI, R. A.; SUDHAKAR, K.; & RANA, R.S. **Spirulina – From growth to nutritional product: A review.** Trends Food Sci. Tech., v. 69, Part A, p. 157-171, 2017.

SOUSA, A.B.B.; NACIMENTO, A.P.S.; ARAÚJO, A.K.P.; ALMEIDA, R.D; CAVALCANTI, A.S.R.R.M.; DUARTE, M.E.M. **Caracterização físico-química de polpa mista de ceriguela com *Spirulina platensis* secas por liofilização.** Rev. Bras. Prod. Agroind., v. 20, n. 3, p. 281-288, 2018.

TEDESCO, C. **Remoção de cromo VI pela microalga *Spirulina platensis*.** Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia Ambiental. Passo Fundo, RS, Brasil. 2010.

YAMAGUCHI, S.K.F.; MOREIRA, J.B.; COSTA, J.A.V.; SOUZA, C.K.; BERTOLI, S.L.; CARVALHO, L.F. **Evaluation of adding *Spirulina* to freeze-dried yogurts before fermentation and after freeze-drying.** Ind. Biotechnol., v. 15, n. 2, 2019.

YAMSAENG SUNG, R.; BUALUANG, O. **Air impingement drying of *Spirulina Platensis*.** J. Sci. Technol., v. 32, n. 1, p. 55-62, 2010.

ZARROUK, C. **Contribution a l'étude d'une cyanobactérie: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina máxima*.** University of Paris, France, 1966.

ZONA CEREALISTA. **Spirulina em Pó (com Laudo Técnico).** Disponível em: <https://www.zonacerealista.com.br/spirulina-em-po.html>>. Acesso em: 21 de mar. de 2020.

ZHU, C.; ZHAI, X.; WANG, J.; HAN, D.; LI, Y.; XI, Y.; TANG, Y.; CHI, Z. **Large-scale cultivation of *Spirulina* in a floating horizontal photobioreactor without aeration or an agitation device.** Appl. Microbiol. Biotechnol., v. 102, p. 8979–8987, 2018.