



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



ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MICROALGA
SPIRULINA PLATENSIS

Isabelle Secchin Graton

Uberlândia – MG

2019



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



ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MICROALGA
SPIRULINA PLATENSIS

Isabelle Secchin Graton

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Química.

Uberlândia – MG

2019

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ISABELLE SECCHIN GRATON
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 28 DE
JUNHO DE 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Antonio de Souza Barrozo

Orientador (FEQ/UFU)

Eng. Dr. Neiton Carlos da Silva

FEQ/UFU

Prof. Msc. Janaina Miranda Barbosa

FEQ/UFU

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus avós Leonydia e Gercino (*in memoriam*), e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Com o coração repleto de gratidão e esperança termino mais uma etapa em minha vida.

Agradeço principalmente a Deus por nunca me desamparar, mesmo nos momentos desafiantes, e nos momentos de angústia e medo Ele estava junto a mim me dando força e coragem para seguir em frente.

Todas as vitórias que tive até aqui, devo a minha família. Meu bem mais valioso. Agradeço aos meus pais Rita e Beto e meu irmão João Victor por todo o apoio, conforto, amor e carinho. Vocês são o maior presente que Deus poderia me dar.

Agradeço a minha Tia Maria Inês por todo o carinho e amor que tem por mim. Você foi muito importante nessa etapa.

Agradeço aos meus amigos que estiveram ao meu lado me apoiando e vibrando comigo a cada conquista. Em especial a Tayná por todo companheirismo durante esses 5 anos, você é uma irmã que a vida me deu, obrigada!

Agradeço de forma especial ao grupo PET e a tutora e professora Érika. Participar desse grupo/família foi sem dúvidas a experiência mais enriquecedora que tive durante a graduação.

Agradeço a equipe de iniciação científica, Andressa, Thaise, Thábata, Luis Victor, Ana Luiza, Oscar e todos que participaram de alguma forma dos experimentos realizados. Trabalhar e conviver com vocês foi ótimo.

Agradeço ao Professor Marquinhos, por me dar a oportunidade de participar da sua equipe de iniciação científica desde o início da faculdade e por me orientar e aconselhar sempre que era necessário.

Agradeço de forma singular ao Neiton, por toda a orientação e amizade desde a iniciação científica, passando pela graduação, até a finalização dessa etapa com o TCC. Obrigada pela paciência, atenção e por todos os conselhos que me acalmavam e me davam um norte para seguir.

Agradeço ao Gabriel por todo o carinho e amor. Você também faz parte dessa conquista.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE ABREVIACÕES E NOMENCLATURA.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Microalgas	3
2.2 <i>Spirulina platensis</i>	4
2.3 Compostos Bioativos	6
2.3.1 Compostos Fenólicos.....	6
2.3.2 Flavonoides.....	7
2.3.3 Ácido Cítrico.....	8
2.3.4 Ficocianina.....	9
2.4 Secagem de Alimentos.....	10
2.4.1 Secagem por Infravermelho.....	11
2.4.2 Secagem por Micro-ondas	12
2.4.3 Secagem Intermitente	13
2.4.4 Secagem Intermitente em Infravermelho e Micro-ondas	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 Material.....	16
3.2 Secagem por Infravermelho.....	17
3.3 Secagem por Micro-ondas	18
3.4 Secagem Intermitente	18
3.5 Análises Realizadas	19
3.5.1 Umidade e Atividade de água.....	19
3.5.2 Análises de Compostos Bioativos.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Resultados da microalga <i>in natura</i>	22
4.2 Secagem da <i>Spirulina platensis</i> por Infravermelho.....	23
4.2.1 Umidade, Atividade de água, Tempo de processo.....	24

4.2.2 Compostos Bioativos para Secagem por Infravermelho.....	26
4.3 Secagem da <i>Spirulina platensis</i> por Micro-ondas	29
4.3.1. Umidade, Atividade de água, Tempo de processo.....	29
4.3.2 Compostos Bioativos para Secagem por Micro-ondas	31
4.4 Comparativo entre as Secagens	34
5. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura da Microalga <i>Spirulina platensis</i>	5
Figura 2.2 – Fórmula estrutural genérica dos fenólicos.....	7
Figura 2.3 – Fórmula estrutural genérica dos flavonoides.....	8
Figura 2.4 – Fórmula estrutural do ácido cítrico.....	9
Figura 2.5- Fórmula estrutural da ficocianina.....	10
Figura 3.1 – Microalga <i>Spirulina platensis in natura</i>	16
Figura 3.2 – Secador Infravermelho a) Equipamento b) Figura Esquemática.....	17
Figura 3.3 – Secador Micro-ondas a) Figura Esquemática b) Equipamento	18
Figura 3.4 – a) Estufa Marconi MA033 b) LabSwift Novasin.....	20
Figura 4.1 – Microalga <i>Spirulina platensis</i> após secagem por Infravermelho 50°C.....	25
Figura 4.2 –Microalga <i>Spirulina platensis</i> após Secagem por Infravermelho a 80°C e 110°C.....	26
Figura 4.3 – Microalga <i>Spirulina platensis</i> após Secagem Intermitente por Infravermelho a 80°C→50°C e 110°C→ 50°C.....	26
Figura 4.4- Teores de compostos bioativos da Spirulina na secagem contínua e intermitente por infravermelho: (a) TPC; (b) TFC; (c) ATT e (d)TF	27
Figura 4.5 – Microalga <i>Spirulina platensis</i> após Secagem por Micro-ondas a 280W e 800.....	31
Figura 4.6 –Teores de compostos bioativos da Spirulina na secagem contínua e intermitente por micro-ondas: (a) TPC; (b) TFC; (c) ATT e(d)TF.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Experimentos- Secagem Intermitente (Infravermelho e Micro-ondas)	19
Tabela 4.1 – Resultados das análises para a microalga <i>in natura</i>	22
Tabela 4.2 – Umidade, Atividade de Água e Tempo – Secagem Contínua e Intermitente (Infravermelho).....	24
Tabela 4.3 – Umidade, Atividade de Água e Tempo – Secagem Contínua e Intermitente (Micro-ondas)	30

LISTA DE ABREVIACÕES E NOMENCLATURA

UFU	Universidade Federal de Uberlândia
TPC	Teor de Compostos Fenólicos Totais
TFC	Teor de Flavonoides Totais
ATT	Acidez Total Titulável
TF	Teor de Ficocianina
Abs	Absorbância
A _w	Atividade de Água
G	Gramas
ml	Mililitros
nm	Nanômetro

RESUMO

O constante crescimento da população mundial fez com que surgissem formas alternativas de alimentação. Por meio desse cenário, surgem as microalgas, principais integrantes do fitoplâncton. Esse grupo de microrganismos têm uma grande importância, visto que juntamente com as macrófitas aquáticas, produzem a maior parte do O₂ presente na atmosfera. Através das microalgas, diversas aplicações comerciais são possíveis, dentre elas: tratamento de águas residuais e obtenção de compostos de interesse das indústrias química, alimentar e farmacêutica. A microalga *Spirulina* refere-se a uma gama de espécies que pertencem ao filo *Cyanobacteria*, e essas vêm sendo utilizadas há centenas de anos como fonte de alimento. A *Spirulina platensis* é uma microalga verde-azulada, microscópica, fotossintética, unicelular, filamentosa, procarionte e tem forma espiral. Apresenta elevado teor de proteína, compostos antioxidantes, ficocianina e carotenoides, vitaminas do complexo B, minerais, antioxidantes, vitaminas A, E, ferro absorvível e ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido gama linolênico. Embora apresente tantos benefícios, o seu uso apresenta uma limitação: a alta umidade. Para isso, faz-se necessário o uso de um método de secagem para que a biomassa atinja níveis de umidade em que não seja mais possível a proliferação de microrganismos e a sua consequente degradação. O trabalho em questão utilizou de radiações eletromagnéticas como infravermelho e micro-ondas para secar a microalga. As secagens foram realizadas tanto de forma contínua quanto intermitente e os compostos bioativos (fenólicos, flavonoides, ácido cítrico e ficocianina) foram verificados ao término do processo. A intermitência em ambas metodologias foi caracterizada pela combinação de temperaturas e potências mais elevadas com condições mais brandas. Observou-se que em ambas as metodologias foi possível remover a umidade de forma satisfatória do material. Entretanto, o processo de secagem promoveu a degradação dos compostos bioativos estudados em comparação com a microalga antes da secagem. O uso da intermitência se mostrou mais adequado que a secagem contínua em várias condições, favorecendo o uso dessa técnica mesmo nessas metodologias onde o efeito sobre a qualidade do material foi mais intenso.

Palavras-Chave: Secagem, *Spirulina platensis*, microalga, infravermelho, micro-ondas, intermitência, compostos bioativos.

ABSTRACT

The constant growth of the world's population has led to the emergence of alternative forms of food. Through this scenario, the microalgae, main members of the phytoplankton, arise. This group of microorganisms have a great importance, since together with the aquatic macrophytes, they produce most of the O₂ present in the atmosphere. Through the microalgae, several commercial applications are possible, among them: treatment of wastewater, obtaining compounds of interest of the chemical, food and pharmaceutical industries. *Spirulina* microalgae refers to a range of species that belong to the phylum *Cyanobacteria*, and these have been used for hundreds of years as a food source. *Spirulina platensis* is a microscopic blue-green, photosynthetic, unicellular, filamentous and prokaryotic microalgae with a spiral shape. It features high protein content, antioxidant compounds, phycocyanin and carotenoids, full B vitamins, minerals, antioxidants, vitamins A, E, absorbable iron, polyunsaturated fatty acids such as gamma linolenic acid. Although it has so many benefits, its use has a limitation: high humidity. For this, it is necessary to use a dehydration method in order for the biomass to reach moisture levels where the proliferation of microorganisms and their consequent degradation is no longer possible. The work in question used electromagnetic radiations like infrared and microwaves to dry the microalga. Dryings were performed either continuously or intermittently. The intermittence in both methodologies was characterized by the combination of higher temperatures and potencies with milder conditions. It was observed that in both methodologies it was possible to satisfactorily remove moisture from the material. However, the drying process promoted the degradation of the bioactive compounds studied in comparison to the microalga before drying. The use of intermittence was more adequate than continuous drying in several conditions, favoring the use of this technique even in those methodologies where the effect on the quality of the material was more intense.

Keywords: Drying, *Spirulina platensis*, microalgae, infrared, microwave, intermittence, bioactive compounds.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O desenfreado crescimento populacional, associado a diminuição de terras cultiváveis e a constante preocupação ao combate à fome, são barreiras a serem quebradas. Uma das opções para tais problemas é a utilização de proteína a partir de microrganismos, conhecidas como proteína unicelular (REHM; REED, 1995). Um dos principais microrganismos então utilizados para esse fim de alimentação são as microalgas, com grande potencial nutricional e proteico. As microalgas fazem parte de um grupo heterogêneo de microrganismos fotossintéticos e possuem uma ampla aplicabilidade comercial, além da nutrição humana e animal, como na produção de energia e obtenção de compostos para as indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas (DERNER, 2006).

Dentre essas microalgas destacam-se a espécies do grupo *Spirulina*, pertencente ao filo Cyanobacteria. A *Spirulina platensis*, *S. máxima* *S. fusiformes* tem especial importância por serem muito utilizadas na dieta (MARLES et al., 2011). A microalga *Spirulina platensis* vem sendo empregada na alimentação, desde os Astecas na região do Lago Texcoco no México e na região do lago Chaad pelos sul-africanos. Segundo Habib (2008) a utilização da *Spirulina* ganhou destaque internacional após o projeto “*Uso da Spirulina para combater a fome e subnutrição e ajudar a alcançar um desenvolvimento sustentável*” (elaborado por alguns países, tais como Burundi, Camarões e República Dominicana, dentre outros) ser lançado durante a Assembleia Geral das Nações Unidas (Segundo comitê, item 52 na agenda), ficando a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura incumbida de elaborar uma pesquisa sobre a *Spirulina* e esclarecer o seu uso.

A *Spirulina platensis* possui na sua composição elevado percentual de proteína (cerca de 55 a 70% em massa seca), antioxidantes, vitaminas, minerais e dentre os pigmentos o que mais destaca-se é a ficocianina. Esses compostos são muito utilizados para a prevenção e tratamento de inúmeras doenças (DISSA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010). O ambiente propício para o seu crescimento é sob sol forte, altas temperaturas e ambiente alcalinos.

Embora a *Spirulina platensis* apresente tantos benefícios graças aos seus compostos, para a sua utilização na dieta faz-se necessário processos que diminuam seu elevado percentual

de umidade, propício para a degradação por bactérias e outros microrganismos. A secagem é um dos mais antigos métodos utilizados para a manutenção da qualidade de alimentos em geral. Dentre os benefícios de se desidratar os alimentos, pode-se destacar: os compostos de interesse do alimento podem ser concentrados elevando o valor do produto final; as atividades enzimáticas são reduzidas, aumentando o período de estocagem e assim a vida útil pode ser prolongada; com a diminuição da umidade, o peso e o volume diminuem, facilitando a armazenagem e o transporte; dependendo da temperatura a que são submetidos, os microrganismos podem ser eliminados (MUJUMDAR, 2006).

O uso de secadores que utilizam como fonte térmica as radiações eletromagnéticas vêm se popularizando e dentre eles o infravermelho e micro-ondas são os mais utilizados. Esses secadores são especialmente estudados por apresentarem uma boa eficiência energética e tempos reduzidos de processo em relação aos métodos convencionais. Porém, a realização de tais secagens deve ser realizada em condições específicas a fim de evitar a degradação do produto (RATTI; MUJUMDAR, 2007; VADIVAMBAL; JAYAS, 2010). A intermitência, caracterizada por se interromper periodicamente algumas das condições do processo, pode ser uma possibilidade para evitar tal problema (CHUA; CHOU, 2005).

Assim, o presente estudo, tem como objetivo principal realizar a secagem da microalga *Spirulina platensis* nos secadores infravermelho e micro-ondas de forma convencional e intermitente e avaliar o impacto dessas metodologias sobre os compostos bioativos.

E como objetivos específicos:

- Avaliar o impacto das combinações de temperatura no secador infravermelho e as combinações de potência no secador micro-ondas no processo de remoção da umidade e o seu efeito nos compostos bioativos (fenólicos totais, flavonoides totais, acidez e ficocianina)
- Comparação dos teores dos compostos bioativos entre método de secagem convencional e intermitente e com os teores dos compostos presentes inicialmente na amostra *in natura*.
- Definir dentre os métodos avaliados o melhor método de secagem para o aproveitamento da microalga *Spirulina platensis*.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica realizada como suporte teórico para o presente trabalho, no qual serão expostos importantes conceitos e estudos sobre microalgas, dentre elas a *Spirulina platensis*, e seus compostos bioativos além de expor a metodologia de secagem em geral, por infravermelho e micro-ondas e, por fim, a secagem intermitente.

2.1 Microalgas

As microalgas são organismos fotossintéticos e microscópicos encontrados em ambientes marinhos ou de água doce. Seu mecanismo fotossintético é semelhante ao das plantas terrestres. Elas possuem estrutura celular simples e quando estão na presença abundante de água, CO₂ e alguns nutrientes são geralmente mais eficientes na conversão de energia solar em biomassa. Estes organismos constituem um grupo altamente diversificado de organismos procarióticos e eucarióticos (CHÁCON-LEE, 2010). Segundo Tomaselli (2004) a classificação desses microrganismos é realizada a partir do pigmento existente, dos constituintes da parede celular, da natureza química dos produtos de reserva e dos aspectos citológicos e morfológicos.

Estima-se que possam existir em torno de 200.000 até alguns milhões de espécies microalgais. Essas espécies são divididas em quatro grupos: cianófitas ou algas verdes-azuladas (*Chyanophyceae*); clorófitas ou algas verdes (*Chlorophyceae*); feófitas ou algas pardas (*Phaeophyceae*); rodófitas ou algas vermelhas (*Rhodophyceae*) (HABIB et al., 2008). Graças a essa diversidade, há uma ampla variedade na composição bioquímica e, desta forma, as microalgas podem dar origem a inúmeros produtos (NORTON et al., 1996; PULZGROSS, 2004).

Quando as microalgas são comparadas com as plantas pode-se citar inúmeras vantagens, dentre elas: muitas espécies crescem mais rapidamente, proporcionando maior produtividade; apresentam estrutura unicelular, o que garante a mesma composição bioquímica em toda sua extensão, diferentemente das plantas terrestres que apresentam compostos localizados em locais específicos (somente nos frutos, nas folhas, raízes, etc.); através da

manipulação das condições de cultivo é possível induzir à maior síntese ou acúmulo de compostos de interesse (RICHMOND, 1990; DERNER, 2006). Além dessas vantagens, segundo Chen et al. (2015), o dióxido de carbono da atmosfera pode ser fixado pelas microalgas através de seus metabolismos fototróficos em uma eficiência consideravelmente maior que a das plantas terrestres, removendo o excesso de CO₂ do ambiente e, portanto, possui um importante papel no ciclo de carbono do planeta.

Diversas espécies são cultivadas comercialmente e a biomassa produzida é principalmente utilizada como fonte de produtos para a indústria de alimentos. Segundo Pulz & Gross (2004), o mercado de alimentos funcionais, utilizando microalgas em iogurtes e bebidas, além de massas e pães apresenta rápido desenvolvimento em países como China, Estados Unidos França, e Tailândia. As principais microalgas cultivadas comercialmente são espécies dos gêneros *Chlorella Beyerinck* (*Chlorophyceae*) e *Arthrospira Stizenberger* (*Cyanophyceae*) para a adição em alimentos naturais (“health food”); *Dunaliella salina* Teodoresco, (*Chlorophyceae*) para a obtenção de betacaroteno e *Haematococcus pluvialis* Flotow (*Chlorophyceae*) para a obtenção de astaxantina (BECKER, 2004).

2.2 *Spirulina platensis*

Spirulina é um gênero pertencente à família das *Oscillatoriaceae* e do grupo das cianobactérias. Caracterizadas pela sua coloração verde azulada, são procariontes e fotossintetizantes. Seu tamanho é microscópico, tem a forma filamentosa e crescem em águas fortemente alcalinas sob sol forte e altas temperaturas. (SHIMAMATHSU, 2004). Esta microalga é formada por cadeias de células em forma de espiral (tricomas) de 2 a 8 µm de comprimento (Figura 1). As células giram ao redor do próprio eixo e a cor de seus filamentos tem a coloração específica devido à presença de clorofila e a ficocianina (TOMASELLI, 2004). Dentre as mais utilizadas como alimento estão: *Spirulina platensis*, *Spirulina máxima* e *Spirulina fusiformis* (MARLES, 2011; HABIB, 2008).

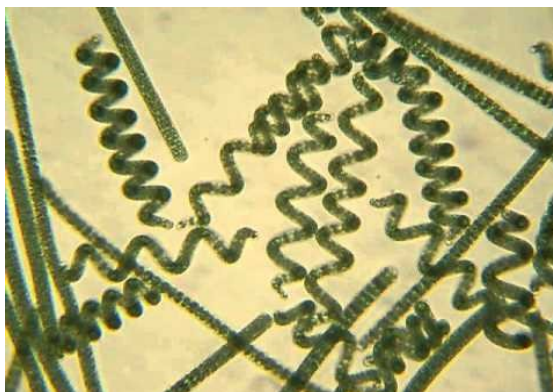


Figura 2.1: Estrutura da microalga *Spirulina platensis*

A utilização de Spirulina data de séculos atrás, quando povos nativos a consumiam como forma de alimento. Os primeiros relatos foram no México, pelos povos Astecas, nas proximidades do lago Texcoco, onde consumiam na forma de molho à base de cereais conhecido como *chimolli* ou molho asteca (DILLON, 1995). A população dos *Kanembous* que vive em volta do Lago Chad, na África, colhem as algas e as secam ao sol para vender no mercado local em forma de tortas chamadas de *Dihé*. Essa torta é preparada com molhos, temperos, carnes e outros alimentos, sendo consumida em 70% das refeições deste povo (SASSON, 1997; ABDULQADER et. al, 2000).

Desde que a Spirulina passou a ser reconhecida pelo FDA (*Food and Drug Administration*) através do status GRAS (*Generally Regarded As Safe*) o número de estudos científicos envolvendo a mesma aumentou rapidamente, com destaque para os países desenvolvidos que vêm utilizando esta cianobactéria como ração animal, complemento alimentar na forma de comprimidos e tabletes e na indústria de cosméticos. No Brasil, a Spirulina foi aprovada para comercialização pelas Comissões Técnico Científicas de Assessoramento em Alimentos Funcionais e Novos Alimentos (CTCAF) e pela Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), e assim passou a ser utilizada na merenda escolar (OLIVEIRA et al., 2013).

A *Spirulina platensis* vem sendo comercializada a mais de 40 anos, sendo a maior parte destinada para o consumo humano com finalidade nutracêutica (BELAY, 1997; VONSHAK, 1997). Essa microalga destaca-se pelo seu elevado teor de proteínas, que compõe cerca de 60 a 70% do seu peso em base seca, e por ter em sua composição, compostos antioxidantes, vitaminas A, E, do complexo B, ferro absorvível, minerais, ácidos graxos poli-

insaturados, como o ácido gama linolênico, compostos fenólicos e ficocianina (AMBROSI, 2008). A ficocianina produzida é utilizada como corante tanto no ramo alimentício como no de cosméticos. Além disso, possui propriedades anti-inflamatória, antioxidante e hepatoprotetora, (HENRIKSON, 1994).

2.3 Compostos Bioativos

O consumo de substâncias antioxidantes na dieta tem sido estudado com enfoque para a ação protetora contra os processos oxidativos que ocorrem no organismo. A causa de inúmeras doenças está sendo relacionada aos danos causados por formas de oxigênio extremamente reativas, conhecidas como “substâncias reativas oxigenadas”. Estas substâncias também estão ligadas aos processos responsáveis pelo envelhecimento do corpo (BRENNAN & PAGLIARINI, 2001; YILDRIM et al., 2001).

Os antioxidantes exógenos são aqueles obtidos através da dieta, principalmente nos alimentos de origem vegetal. Esses são essenciais para a resistência ao estresse oxidativo, neutralizando os efeitos oxidantes dos radicais livres. Os compostos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico, vitamina E, vitamina C e carotenoides são exemplos desses antioxidantes (OU et al., 2002; LAGUERRE et al., 2007).

2.3.1 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos estão presentes em uma grande variedade de frutas, vegetais e produtos industrializados. Podem ser produtos do metabolismo secundário, originados através de reações de defesa das plantas contra o estresse gerado pelo meio ou pigmentos responsáveis pela coloração dos alimentos. Apresentam função antioxidante, graças a sua habilidade em doar hidrogênio ou elétrons, além de seus radicais intermediários estáveis, que impedem a oxidação de vários ingredientes do alimento, principalmente os lipídios (BRANDWILLIAMS et al., 1995).

Os compostos fenólicos são substâncias que possuem em sua estrutura um anel aromático ligado a um ou mais grupo hidroxila, incluindo derivados funcionais (Figura 2.2). Podem variar desde moléculas simples, como os ácidos fenólicos, até compostos polimerizados, como os taninos. Tais compostos influenciam diretamente nas características sensoriais dos

vegetais, como aroma, cor e sabor de vegetais, frutas e seus produtos (MARTINEZ-VELVERDE et al., 2000).

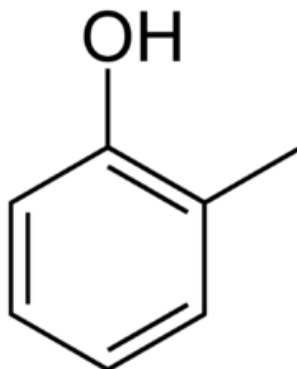


Figura 2.2 – Fórmula estrutural genérica dos fenólicos

Apesar da relevância dos estudos sobre compostos fenólicos em plantas e sua importância, somente recentemente os estudos dos compostos fenólicos em algas e microalgas tem se consolidado (HAJIMAHMOODI et al. 2010; LÓPEZ et al., 2011).

2.3.2 Flavonoides

Os flavonoides constituem o mais variado e importante grupo dos compostos fenólicos. São divididos em vários subgrupos: flavonóis, isoflavonoides, anticianinas, flavanas, flavononas e flavonas (LOPES et al., 2000). Quimicamente são formados por uma cadeia de difenil propano com dois anéis benzênicos ligado a um anel pirano (Figura 2.3) (BEHLING et al., 2004). Caracterizam-se por doarem elétrons e possuem grande ação antioxidante por reagirem e inativarem ânions superóxido, radicais peróxido de lipídios e/ou estabilizando radicais livres (BIRT et al., 2001).

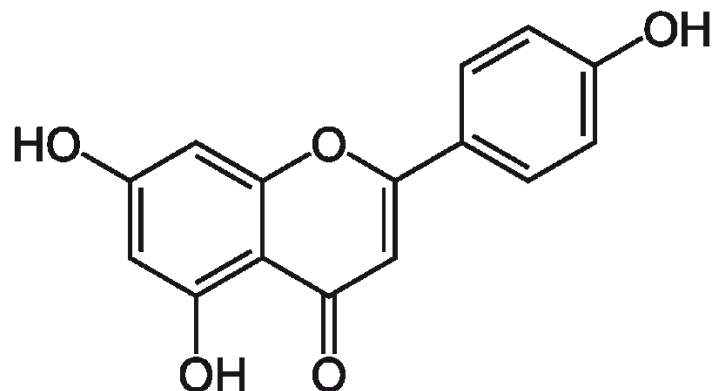


Figura 2.3 – Fórmula estrutural genérica dos flavonoides

Pesquisas revelam que os flavonoides exercem grande ação sobre os sistemas biológicos, por meio de potencial efeito antioxidante, antimicrobiano, antiviral, antiulcerogênico, anti-hipertensivo, anti-inflamatório, dentre outros (PELZER et al., 1998). Esses compostos são relativamente estáveis à oxidação, a altas temperaturas e moderadas variações de acidez (PETERSON; DWYER, 1998).

2.3.3 Ácido Cítrico

O ácido cítrico é um ácido orgânico fraco, muito usado como conservante natural. É um sólido cristalino branco, inodoro e de sabor levemente ácido. Constituinte natural de plantas e tecidos animais, com maior incidência em frutas cítricas, estando presente também no corpo humano, como nos ossos e sangue (APELBLAT, 2014). É muito utilizado como acidulante e antioxidante na indústria alimentícia pois apresenta sabor agradável, alta solubilidade e baixa toxicidade. Possui diversas vantagens, dentre elas: potencializa os conservantes, auxilia na retenção da carbonatação, tem sabor “frutal”, realça aromas, dentre outros (SILVA, 2014)

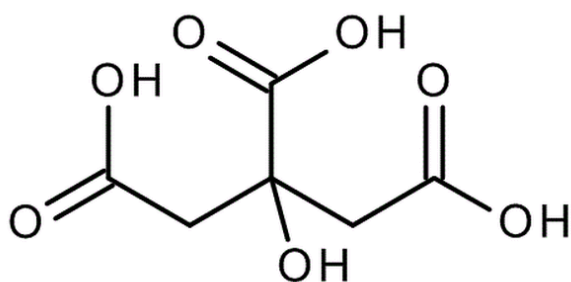


Figura 2.4 – Fórmula estrutural do ácido cítrico

2.3.4 Ficocianina

A microalga *Spirulina platensis* possui em sua constituição, dois tipos de ficobiliproteínas: a ficocianina, caracterizada pela coloração azul intenso, e a aloficocianina, de coloração verde-azulada. Essas duas são armazenadas nas subunidades (ficobiliproteínas) presentes nas estruturas granulares das microalgas, chamadas de ficobilissomos. As ficobiliproteínas possuem função fotossintética (WALTER, 2011).

Aproximadamente 20% em peso seco da microalga *Spirulina platensis* é ficocianina. Este pigmento tem funções importantes, tais como: estimulante ao sistema imunológico, aumentando a contagem de leucócitos e propriedades antioxidantes, pois é capaz de sequestrar radicais hidroxil (ESTRADA, 2001; SILVA, 1999). O seu uso estende-se a diversas áreas como aplicações farmacêuticas, biotecnológicas, medicinais e alimentícias, sendo que a *Spirulina platensis* possui a melhor produtividade deste pigmento (cerca de 120-140 mg de ficocianina por grama de biomassa seca) (ERIKSEN, 2008).

Estudos constataram que a ficocianina possui atividades antioxidante, antiproliferativa, anti-inflamatória apoptótica, hepatoprotetora, neuroprotetora, nefroprotetora, cardioprotetora, dentre outras (FERNÁNDEZ-ROJAS et al. 2014).

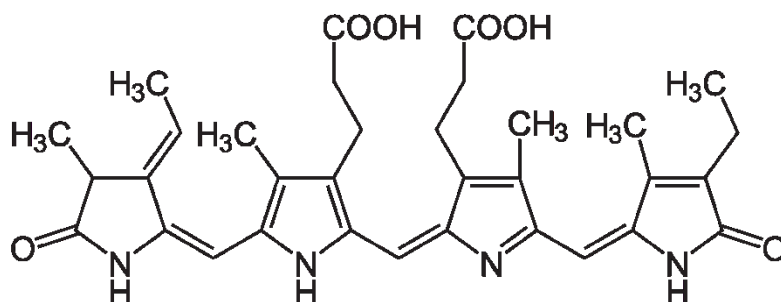


Figura 2.5 – Fórmula estrutural da ficocianina

2.4 Secagem de Alimentos

A secagem ou desidratação consiste na redução de umidade ocasionada pela transferência simultânea de calor e massa, que promove a remoção de água através da evaporação reduzindo assim a atividade de água do material. (KHRAISHEH et al., 1997). Esse processo de remoção de água na forma de vapor para o ar não saturado é talvez um dos métodos mais antigos de preservação de alimentos (AKPINAR et al. 2006).

A transferência de calor acontece do ambiente para o material, evaporando a umidade superficial. Esta depende de condições externas como temperatura, pressão, umidade, fluxo e direção do ar e área de exposição do sólido. Já a transferência de massa ocorre do interior para a superfície do material, seguido da evaporação. A facilidade do movimento interno da umidade é característica do material, dentre elas, da sua temperatura, natureza física e conteúdo de umidade (MUJUMDAR et al., 2007).

A importância da secagem está diretamente ligada a manutenção da qualidade do produto através da conservação, onde, por meio da diminuição do teor de umidade, a ação microbiana é impedida graças a redução das atividades físico-químicas (COSTA, 2014). Além disso, a secagem aumenta a vida de prateleira de um produto (inibição das reações enzimáticas, menor risco de oxidação), reduz o volume e peso do material (facilitando o transporte) e aumenta o valor agregado, pelo fato de concentrar os compostos de interesse (MUJUMDAR, 2006).

Porém, a secagem também possui suas desvantagens, dentre elas a degradação do material, alteração de cor, aroma e sabor e aumento considerável do valor do produto final causado pelos custos de processo. Por esses motivos, os estudos em secagens de alimentos

ganham força e buscam por uma secagem menos agressiva, mais rentável economicamente, com menores tempos de processo e também visam potencializar o efeito dos compostos de interesse.

2.4.1 Secagem por Infravermelho

A radiação eletromagnética por infravermelho é emitida por todos os corpos que emitem calor. Possui comprimento de onda maior que o da luz visível, sendo invisível a olho nu, mas na forma de calor a mesma pode ser detectada. Essa radiação está dividida em dois níveis, o infravermelho próximo, com comprimento de onda na faixa de 0,7 μm à 25 μm , utilizada em aparelhos eletrônicos e o infravermelho distante, na faixa de 25 μm a 1000 μm , esse usado para aquecimento, na secagem e na medicina para tratamentos musculares e estéticos (CENKOWSKI et al., 2008).

A radiação infravermelha, ao penetrar na superfície do material, gera uma vibração molecular, promovendo a conversão da radiação em calor. As características do material ditarão o comportamento da penetração dessa radiação, bem como os comprimentos de onda emitidos (CENKOWSKI et al., 2008; GINZBURG, 1969; HEBBAR & ROSTAGI, 2001).

Nesse tipo de secagem as temperaturas mais altas são detectadas na superfície do material que está recebendo a radiação. Por esse motivo, o calor é conduzido de forma uniforme ao centro do material. O calor da superfície do material é arrastado pelo ar do meio por convecção. Concomitantemente, o transporte de massa acontece do centro para a superfície. Como consequência, no interior do material tem-se um fluxo contracorrente de transferência de calor e massa, enquanto na superfície esse fluxo é concorrente (MASAMURA et al., 1988).

A secagem por infravermelho pode ser dividida em três estágios. No primeiro, o material é aquecido em uma taxa de secagem constante, com a evaporação de água da superfície, no qual a pressão de vapor da água na superfície do material é a mesma que a pressão de vapor saturado na temperatura da superfície. No segundo estágio tem-se o início da queda da taxa de secagem, onde a superfície já se encontra seca e a evaporação de água passa a ser no centro do material. Finalmente, no terceiro estágio a água é arrastada na forma de vapor do centro para o meio externo (HASATANI et al., 1988).

Pode-se encontrar diversas vantagens ao relacionar a secagem por infravermelho com a secagem tradicional convectiva. Com o infravermelho os coeficientes de transferência de

calor são altos e o tempo do processo é curto, portanto o custo da energia é baixo. O equipamento pode ser compacto e automatizado, permitindo alto grau de controle dos parâmetros do processo. Isto é especialmente importante devido ao rápido aquecimento e às possibilidades de superaquecimento do material (SAKAI, 1994).

Apesar das vantagens, a secagem por radiação infravermelha em alimentos não é tão recorrente. Ela é principalmente utilizada no aquecimento e cozimento de soja, grãos de cereais, grãos de cacau e nozes, e produtos de consumo imediato como os a base de carne e fritura (MUJUMDAR, 1995).

2.4.2 Secagem por Micro-ondas

As radiações eletromagnéticas por micro-ondas possuem alto comprimento de onda (compreendido de 1 mm a 1 m) e frequência variando entre 300 MHz e 300 GHz. Essa radiação, assim como a infravermelho é invisível a olho nu (SCHIFFMANN, 2007).

A secagem por micro-ondas acontece devido a capacidade dos materiais de absorver a energia das micro-ondas e transformá-las em calor. Essa desidratação ocorre através de mecanismos dipolares e iônicos. A presença de água (que possui característica dipolar) em contato com o calor provoca o aquecimento dielétrico. Com a incidência do campo elétrico oscilante sobre as moléculas de água (polarizadas), essas tentam se realinhar na direção do campo elétrico. Esse campo elétrico possui alta frequência e o realinhamento ocorre um milhão de vezes por segundo, como consequência as moléculas se chocam e assim ocorre o aquecimento volumétrico do material (DATTA & DAVIDSON, 2000).

Essa forma de secagem é muito conhecida e utilizada no dia a dia das pessoas, seja para o preparo ou aquecimento de alimentos. Isso se deve graças ao rápido tempo de processo e maior economia de energia quando comparado aos métodos convencionais. O uso de forno micro-ondas a nível industrial é recente, e pode trazer vantagens equivalentes aos métodos convencionais (menores tempos, maior economia de energia, dentre outros) (VENKATESH & RAGHAVAN, 2004).

A secagem por micro-ondas pode ser dividida em três etapas. A primeira etapa é onde acontece a transformação da energia das micro-ondas em energia térmica, promovendo o aquecimento. Isso é explicado pelo fato de a pressão de vapor da água no material ser maior que a do ambiente. Assim, a umidade do material começa a diminuir, porém em uma taxa

consideravelmente baixa. Na segunda etapa a energia térmica é utilizada para vaporização da umidade. Esse período apresenta uma rápida velocidade de secagem. E por último, ocorre a redução da taxa de secagem, na qual a energia térmica convertida é menor que a energia necessária para a vaporização da umidade. Por esse fato, mesmo que conversão de radiação em energia térmica diminua, a temperatura do material pode continuar subindo, podendo ocasionar superaquecimento ou até mesmo carbonização (ZHANG et al., 2006).

Apesar de inúmeras vantagens que essa metodologia apresenta (baixo tempo, economia de energia, pequenos equipamentos) se não for corretamente utilizada, pode resultar em produtos de baixa qualidade. Nesse tipo de desidratação podem ocorrer interferências do campo magnético, ocasionando uma distribuição de temperaturas não uniforme, resultando em partes secas, carbonizadas e outras com excesso de umidade. (MASKAN, 2000; VADIVAMBAL & JAYAS, 2010).

2.4.3 Secagem Intermitente

Um dos maiores problemas da secagem de uma forma geral são os elevados custos energéticos gerados pelo processo. Esse custo é em torno de 20 a 25% de todo o gasto em energia pelas indústrias. Assim, a busca por formas alternativas e inovadoras surge para tentar otimizar esses processos, bem como aumentar a eficiência energética (CHUA et al., 2003).

A secagem intermitente é definida pelos estudos como sendo uma variação do fornecimento de energia térmica para o processo. A técnica mais conhecida para tal variação é a “on/off”, na qual a fonte de calor é periodicamente desligada e então ligada novamente. O período em que a fonte de calor é desligada é chamado de descanso ou têmpera. Nesse período, a umidade migra por difusão do interior do material para a superfície, permitindo assim uma nova distribuição de temperatura e umidade e assim propiciando a transferência de massa. Ao acionar a fonte de calor, a secagem torna-se mais rápida e efetiva, devido a tal redistribuição (ALLAF et al., 2015; CHUA et al., 2003; KUMAR et al., 2014b).

A secagem intermitente também visa aumentar a qualidade do produto final. Segundo Allaf et al. (2015) a qualidade é melhorada evitando ou reduzindo o superaquecimento ou o ressecamento da camada superficial do material. A degradação pode ser causada por rachaduras, quebras ou crostas no material. A qualidade também pode ser vista no impacto dos teores de bioativos. Soysal et al. (2009) realizaram a secagem intermitente de pimentão

vermelho e verificaram que os aspectos sensoriais como cor, aparência e textura do produto final foram melhores que os métodos convencionais. Pan et al. (1999b), comparou os teores de betacaroteno em abóbora na secagem intermitente e convencional, e constatou que na secagem intermitente foi maior (87.2%, enquanto para a convencional foi de 61.5%). Chua et al. (2000a) mostraram que, com a escolha adequada da temperatura do ar de secagem intermitente, a melhora no ácido ascórbico da goiaba em pedaços poderia ser até 20% maior do que naqueles secados sob condição isotérmica. Zhao et al. (2014) observaram, por meio da intermitência comparado com o método convencional, que as perdas de betacarotenos em cenouras caíram de 43,92% para 11,28%.

A fim de implementar a intermitência na secagem, diferentes parâmetros podem ser modificados, sendo que os mais utilizados são aqueles que modificam as condições do ar (temperatura, umidade, pressão ou vazão). Estudos vêm avaliando o comportamento da intermitência em micro-ondas e com outras radiações combinadas a processos convectivos ou não, variando-se a potência ao longo do tempo. Para se definir o parâmetro da intermitência deve-se ter como base as características do material a ser desidratado e deve ser levado em consideração os conceitos de transferência de calor e massa (ALLAF et al., 2015; DEFRAEYE, 2016; KUMAR et al., 2014b).

2.4.4 Secagem Intermitente por Infravermelho e Micro-ondas

A intermitência em infravermelho foi proposta por Carrol e Churchill (1986) com o objetivo de se secar materiais termossensíveis, a fim de se ter um aumento na qualidade dos produtos e redução do tempo de secagem. Chua e Chou (2005), através de secagem intermitente em infravermelho, desidrataram cenoura e batata, reduzindo tanto os impactos da radiação na cor do produto quanto o tempo de processo. Tan et al. (2001) secaram batatas e abacaxi por infravermelho intermitente e verificaram redução dos impactos da radiação infravermelha no tempo gasto para a secagem e na cor do produto final.

A fim de se reduzir os impactos de carbonização e não uniformidade da temperatura na secagem por micro-ondas, além de reduzir o tempo do processo, a intermitência em micro-ondas vem sendo aplicada em algumas pesquisas. Soysal et al., 2009 secou pimentões vermelhos em micro-ondas de forma intermitente e convencional e concluiu que o produto final no primeiro método de secagem apresentou melhores atributos sensoriais, como aparência, cor,

textura e gosto e menor tempo de secagem. Kumar et al.(2014) realizou a secagem de maçãs de forma intermitente em micro-ondas e concluiu que houve a redução da não-uniformidade do aquecimento e remoção da umidade superficial graças a redistribuição da temperatura.

Com isso, o presente estudo visou avaliar e comparar a secagem da microalga *Spirulina platensis* em infravermelho e micro-ondas de forma contínua com o método intermitente, com a finalidade de otimizar o tempo de secagem, melhorar os aspectos do produto final, e potencializar os efeitos dos compostos bioativos.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo será apresentado o material utilizado neste trabalho, assim como toda a metodologia de secagem e determinação dos teores de compostos bioativos.

3.1 Material Utilizado

A microalga *Spirulina platensis* utilizada nos experimentos foi fornecida pela empresa Brasil Vital, localizada no município de Anápolis, Goiás (GO). A mesma foi previamente filtrada à vácuo para remoção do excesso de umidade a fim de facilitar o transporte e armazenamento.

Para armazenar as amostras da *Spirulina in natura*, a massa de microalga foi separada em pequenas porções e então as mesmas foram embaladas em sacos plásticos de polietileno, envoltos com papel alumínio com a finalidade de evitar a fotodegradação dos seus compostos e manter as propriedades da biomassa.

As amostras foram mantidas a -18°C , sendo descongeladas aproximadamente 5 horas antes da realização dos experimentos, a temperatura ambiente. Após a secagem, as amostras eram armazenadas da mesma forma que a *in natura*, até o início das análises.



Figura 3.1: Microalga *Spirulina platensis in natura*

3.2 Secagem por Infravermelho

A secagem da microalga *Spirulina* por infravermelho foi realizada em um secador da marca Gehaka, modelo IV 2500 (Figura 3.2). O secador possui um emissor infravermelho, um sensor de temperatura do tipo Platina (PT100) e uma base conectada diretamente ao eixo de uma balança, onde se alocava um prato de alumínio descartável com a amostra a ser seca.

Sobre este sistema existe uma capota responsável pelo isolamento térmico do refletor para o ambiente. A câmara protege a balança do calor emitido pelos raios infravermelhos por meio de um colchão de ar, permitindo que haja circulação de ar internamente e favorecendo o arraste do vapor de água que sai da amostra sem ocorrer variações na leitura da balança. Além disso, a câmara permite que a radiação infravermelha seja dirigida diretamente à amostra, propiciando uma distribuição uniforme de calor no material (SILVA, 2019).

Utilizou-se em cada ensaio, aproximadamente 40 g de amostra uniformemente distribuída sobre o prato, de modo a facilitar a penetração da radiação e promover uma secagem mais satisfatória. Os experimentos foram realizados nas temperaturas de 50°C, 65°C, 80°C, 95°C e 110°C. O equipamento encerrava a secagem a partir do momento em que se atingia variação menor que 0,1% de umidade/minuto, considerando essa a condição de equilíbrio.

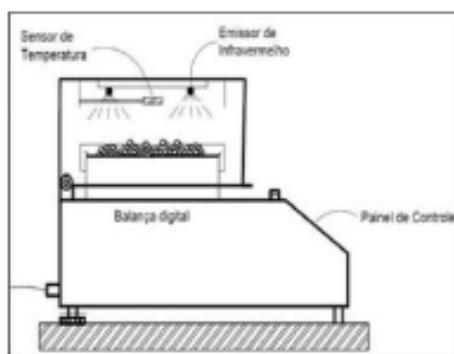


Figura 3.2: Secador Infravermelho a) Equipamento b) Figura Esquemática

3.3 Secagem por Micro-ondas

A secagem da Spirulina por micro-ondas foi realizada utilizando um micro-ondas de uso doméstico, marca Panasonic, modelo NN-SF560WRU com uma adequação - uma balança analítica Shimadzu (modelo AUX220) acoplada na parte superior externa conectada a um suporte dentro do micro-ondas onde era colocada a amostra. Para tal adequação criou-se um orifício no teto do micro-ondas como mostra a Figura 3.3. Essa adequação trouxe maior facilidade na realização dos experimentos pelo fato de se efetuar a pesagem da amostra (verificação da redução de umidade) sem a interrupção da secagem.



Figura 3.3: Secador Micro-ondas a) Figura Esquemática b) Equipamento

Para tal metodologia, utilizou-se as potências de 200W, 280W, 480W, 600W e 800W. Todos os experimentos foram efetuados com cerca de 45 gramas de microalga. A secagem era finalizada quando a umidade atingida estivesse na faixa de 7 a 10%, representando um valor de atividade de água entre 0,300 e 0,500. Esse valor de a_w é considerado satisfatório, pois não permite o crescimento microbiológico além de evitar a carbonização do material (SILVA, 2019).

3.4 Secagem Intermitente

A partir de testes preliminares, concluiu-se que a variação do fornecimento de energia foi a forma de intermitência mais relevante para essas metodologias de secagem, isto é, a temperatura e potência para o secador infravermelho e micro-ondas, respectivamente. Dessa

forma, o material era seco inicialmente em uma condição energética de maior intensidade até atingir 50% da umidade, e então o experimento era finalizado com uma condição mais branda.

Foram efetuadas ao todo 10 secagens com a condição intermitente para ambos secadores, cujas condições são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Experimentos-Secagem Intermitente (Infravermelho e Micro-ondas)

Experimento	Intermitência Infravermelho	Intermitência Micro-ondas
1	110 °C → 95°C	800W → 600W
2	110°C → 80 °C	800W → 480W
3	110°C → 65°C	800W → 280W
4	110°C → 50°C	800W → 200W
5	95°C → 80°C	600W → 480W
6	95°C → 65°C	600W → 280W
7	95°C → 50°C	600W → 200W
8	80°C → 65°C	480W → 280W
9	80°C → 50°C	480W → 200W
10	65°C → 50°C	280W → 200W

3.5 Análises Realizadas

O presente estudo visou analisar e quantificar a umidade e os compostos bioativos da microalga *Spirulina platensis in natura* e após as secagens. As metodologias utilizadas estão descritas a seguir.

3.5.1 Umidade e Atividade de água

A determinação de umidade foi realizada através do método da estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (AOAC, 1995), usando uma estufa modelo Marconi MA033 (Figura 3.4a). Os

resultados foram expressos em base úmida e em porcentagem. A atividade de água (a_w) foi quantificada por meio do equipamento LabSwift Novasina (Figura 3.4b).



Figura 3.4: a) Estufa Marconi MA033 b) LabSwift Novasina

3.5.2 Análises de Compostos Bioativos

Os compostos bioativos analisados foram os fenólicos totais, flavonoides totais, ácido cítrico e ficocianina. Previamente, as amostras utilizadas para as análises foram pesadas em balança Shimadzu, modelo AY220, com precisão de 10^{-4} g. Todas as análises foram realizadas em triplicata, sem iluminação e em ambiente climatizado.

Essas amostras foram previamente trituradas em liquidificador até obter um pó uniforme, sem grânulos. Para os compostos fenólicos e flavonoides totais, as amostras foram submetidas a extração com metanol absoluto. E para o ácido cítrico e ficocianina, com água destilada.

Para a determinação dos teores de fenólicos e flavonoides, as amostras trituradas foram colocadas juntamente com o metanol em um tubo e agitadas por 3 minutos, em vórtex NSA002441 da Edutec. Posteriormente os tubos foram mantidos em repouso e em local escuro, para que houvesse maior extração dos compostos. Após esse período, as amostras foram filtradas em papel filtro e o extrato obtido foi utilizado para as análises.

Para as análises de ácido cítrico e ficocianina, as amostras já trituradas foram misturadas com água destilada e maceradas até obter o volume total de 250 mL. Após esse processo, foram filtradas e o extrato obtido da filtração (parte líquida) foi submetido às análises.

O **Teor de Compostos Fenólicos Totais (TPC)** foi determinado através do método de *Folin-Ciocalteu*, utilizando ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como padrão, de acordo com Singleton

& Rossi (1965) e leitura em espectrofotômetro. O reagente de *Folin-Ciocalteu* é uma solução de íons complexos poliméricos formados a partir de heteropoliácidos fosfomolibdicos e fosfotungsticos. Ele é responsável por oxidar os fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul Mo-W, possibilitando sua leitura no espectrofotômetro (SILVA, 2015). A leitura foi realizada a 622 nm e os resultados expressos em mg de ácido gálico / 100 g amostra em base seca.

O **Teor de Flavonoides Totais (TFC)** foi quantificado pelo método colorimétrico descrito por Zhinshen et al. (1999) em que cloreto de alumínio ($AlCl_3$) é utilizado como agente de deslocamento para diminuir a interferência de outros compostos na leitura de absorbância da solução. Utilizou-se também a leitura em espectrofotômetro, com comprimento de onda de 450 nm, considerando-se a rutina ($C_{27}H_{30}O_{16}$) como padrão. Os resultados foram expressos em mg de rutina / 100 g amostra em base seca.

A análise de **Acidez Total Titulável (ATT)**, quantificada através do teor de ácido cítrico presente nas amostras, foi realizada através do método titulométrico da *Association of Official Analytical Chemists* – AOAC (1995), titulando o extrato das amostras com NaOH 0,1 N padronizado até a viragem. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico / 100 g amostra em base seca.

Por fim, para a determinação do **Teor de Ficocianina (TF)**, utilizou-se método adaptado de Costa et al. (2015), no qual o extrato obtido da maceração com água foi submetido a diferentes leituras no espectrofotômetro. As leituras foram feitas nas absorbâncias de 620 e 652 nm e o teor de ficocianina foi calculado de acordo com a Equação 1. Os resultados foram expressos em g ficocianina/ 100g em base seca.

$$TF = \frac{Abs_{620} - 0,474 \cdot Abs_{652}}{5,34} \quad (1)$$

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos para as secagens em Infravermelho e Micro-ondas no método convencional e com intermitência. São descritos os resultados de umidade, atividade de água, tempo de processo e dos compostos bioativos para a microalga desidratada e *in natura* para fins de comparação.

4.1 Resultados da microalga *in natura*

A Tabela 4.1 apresenta os resultados de umidade e dos teores dos compostos bioativos obtidos para a *Spirulina platensis in natura*.

Tabela 4.1 – Resultados das análises para a microalga *in natura*

Análise	Resultado
Umidade (%)	82,70 ± 0,97
TPC (mg ácido gálico/100g base seca)	462,12 ± 13,81
TFC(mg rutina/100g base seca)	9,86 ± 0,26
ATT (mg ácido cítrico/100g base seca)	5336,01 ± 225,68
TF(g ficocianina/100g base seca)	14,55 ± 0,36

A umidade encontrada para a amostra da microalga *in natura* foi de 82,70 ± 0,97% em base úmida. Esse valor está muito próximo dos valores encontrados por Costa et al. (2015) (83,04 ± 0,20), Melo et al., (2016) (83,40 ± 0,20) e Papadaki et al. (2017) (88,84 ± 3.30). Essa alta porcentagem de umidade confirma a necessidade de se realizar a secagem da microalga, pois ela propicia a proliferação de bactérias e micro-organismos deixando-a susceptível a degradação, reduzindo a vida útil do material (BORTOLOTTI, 2013).

Obteve-se um Teor de Fenólicos Totais (TPC) de $462,12 \pm 13,81$ mg de ácido gálico/100 g base seca. Segundo VASCO (2009), considera-se uma baixa concentração de fenólicos quando o valor está abaixo de 100mg de ácido gálico/100g. Quando esse valor ultrapassa 1000mg de ácido gálico/100g o produto pode ser considerado com alta concentração desse composto. Logo, para o valor encontrado para a microalga *in natura*, diz-se que a mesma apresenta uma concentração intermediária de fenólicos totais. O TPC encontrado por esse estudo se equivale aos de Colla et al. (2007) que analisaram a *Spirulina platensis* e obtiveram teores na faixa de 242,0 a 499,0 mg/100g. Porém, o TPC foi superior ao valor de 383,20 mg ácido gálico / 100 g encontrado por Costa et al., (2015). Essas alterações são explicadas pelos diferentes métodos e meios de cultivo aos quais as microalgas são submetidas (HABIB et al., 2008)

O Teor de Flavonoide Totais (TFC) para a amostra *in natura* foi de $9,86 \pm 0,26$ mg/100 g amostra seca. Esse valor é considerado alto ao encontrado em frutas por exemplo, ao se comparar com o resíduo de acerola estudado por SILVA (2014) que possui TFC de $1,00 \pm 0,14$ mg rutina/100 g amostra seca ou nos resíduos de maracujá por SILVA (2015) que possuem teores de $0,47 \pm 0,05$ mg rutina/100 g amostra seca.

Para a Acidez Titulável Total (ATT) obteve-se um valor consideravelmente alto, de $5336,01 \pm 225,68$ mg de ácido cítrico/100 g de amostra seca. Essa ATT se mostra superior inclusive ao de frutas cítricas ao se comparar com os resultados obtidos por Silva (2015) na análise dos resíduos de maracujá *in natura*, com cerca de $2701,35 \pm 89,13$ mg ácido cítrico / 100 g base seca. O mesmo comportamento encontra-se para o resíduo de acerola em Silva (2014), cuja quantificação foi de 2843 ± 132 mg ácido cítrico / 100 g base seca. Embora o ácido cítrico possua capacidade antioxidante, a sua elevada concentração pode trazer sabor extremamente ácido e/ou adstringente para o produto (SILVA, 2015)

O teor médio de ficocianina para a amostra *in natura* foi de $14,55 \pm 0,36$ /100 g base seca. Costa et al. (2016) encontraram cerca de 14,64g ficocianina/100g amostra seca. Esses valores são muito próximos e retratam a importância desse composto frente a atividade antioxidante da microalga.

4.2 Secagem da *Spirulina platensis* por Infravermelho

4.2.1 Umidade, Atividade de água, Tempo de processo

A Tabela 4.2 apresenta os resultados de umidade, atividade de água (a_w) e tempo de processo obtidos para a secagem contínua e intermitente em infravermelho. Verificou-se que para ambas técnicas, os valores de a_w e, por consequência, umidade foram satisfatórios. Segundo Garcia (2004) os substratos com atividade de água abaixo de 0,6 estão dificilmente propícios a proliferação de microrganismos específicos, e acima deste valor inicia-se a proliferação. Portanto, para os valores de atividade de água encontrados (compreendidos de 0,273 à 0,503) o crescimento microbiano é impedido.

Tabela 4.2: Umidade, Atividade de Água e Tempo – Secagem Contínua e Intermitente (Infravermelho)

Temperatura (°C)	Umidade (%)	Atividade de Água (a_w)	Tempo (min)
Secagem Contínua			
65°C	12,92 ± 0,46	0,503	600
80°C	5,12 ± 0,11	0,344	330
95°C	4,38 ± 0,31	0,348	177
110°C	4,25 ± 0,08	0,315	117
Secagem Intermitente			
110 °C → 95°C	3,46 ± 0,33	0,273	156
110°C → 80 °C	4,75 ± 0,23	0,341	216
110°C → 65°C	5,72 ± 0,13	0,391	336
110°C → 50°C	11,75 ± 0,54	0,562	446
95°C → 80°C	5,89 ± 0,09	0,356	207
95°C → 65°C	6,05 ± 0,27	0,365	364
95°C → 50°C	6,8 ± 0,14	0,416	341
80°C → 65°C	7,67 ± 0,09	0,403	366
80°C → 50°C	7,98 ± 0,45	0,441	482
65°C → 50°C	9,34 ± 0,48	0,359	711

Para a secagem intermitente esse comportamento é explicado pelo fato de ao iniciar a secagem em temperaturas maiores, um elevado teor de umidade é retirado graças a maior

quantidade de energia fornecida, tornando mais fácil a remoção de umidade na condição de menor temperatura. Esse desempenho é reafirmado ao se analisar o tempo, onde percebe-se que na secagem contínua a baixas temperaturas o tempo é consideravelmente alto. Já para as temperaturas mais altas, de 95°C e 110°C, como esperado, o tempo é reduzido. E para a secagem intermitente, o tempo de processo para cada condição de intermitência, foi um tempo intermediário entre as duas condições contínuas, confirmando a teoria de que a intermitência reduz os gastos energéticos devido ao menor tempo de processo.

A secagem contínua a 50°C não foi possível de ser finalizada. Após aproximadamente 12 horas de secagem, a mesma foi interrompida por atingir a variação mínima do equipamento (abaixo de 0,1% de umidade removida por minuto). Mesmo após o longo tempo de secagem, a microalga apresentava teor de umidade elevado, de cerca de 28,72% e atividade de água de 0,736, inviabilizando tal condição. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de a baixa radiação nessa temperatura não ser capaz de retirar a umidade além do limite que o equipamento determina. Além disso, percebe-se pela Figura 4.1, que sobre a amostra foi criada uma crosta, dificultando a absorção da radiação e saída da umidade.



Figura 4.1: Microalga *Spirulina platensis* após secagem por Infravermelho 50°C

As Figuras 4.2 e 4.3, mostram que a microalga seca apresenta um aspecto polido e brilhante, como relatado em outros métodos de secagem e por Desmorieux e Hernandez (2004). Algumas regiões mais escuras foram observadas após a secagem, e essas se intensificavam com o aumento da temperatura. Além disso, o material ficava fortemente aderido ao prato, mesmo após a secagem.



Figura 4.2: Microalga *Spirulina platensis* após Secagem por Infravermelho a 80°C e 110°C



Figura 4.3: Microalga *Spirulina platensis* após Secagem Intermitente por Infravermelho a 80°C→ 50°C e 110°C→ 50°C

4.2.2 Compostos bioativos para secagem por infravermelho

Os teores de compostos bioativos quantificados para a secagem contínua e intermitente em Infravermelho, são expostos na Figura 4.4.

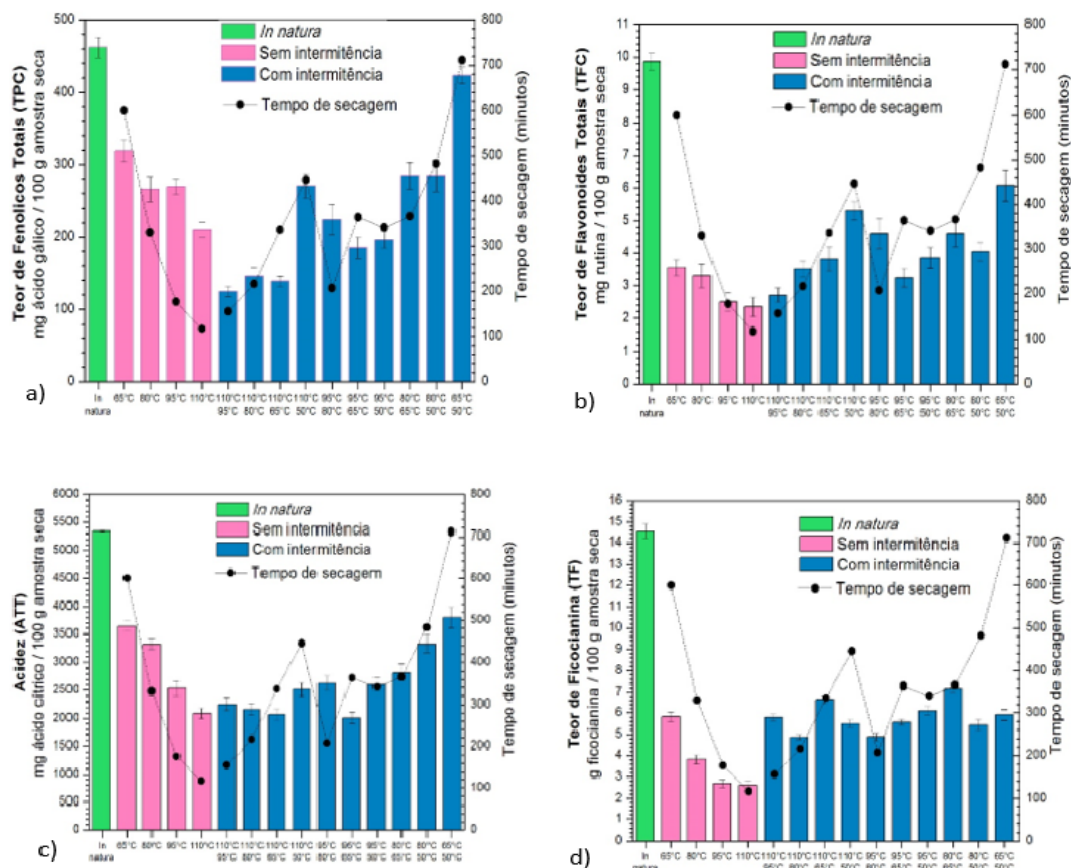


Figura 4.4: Teores de compostos bioativos da Spirulina na secagem contínua e intermitente por Infravermelho: (a) TPC; (b) TFC; (c) ATT e (d) TF (centralizar)

4.2.2.1 Compostos Bioativos para Secagem Contínua por Infravermelho

Ao analisar os resultados da secagem contínua da microalga por infravermelho observa-se que os teores dos compostos bioativos obtidos foram menores do que o da microalga *in natura*. Essa redução pode ser justificada pelo fato de a Spirulina não possuir celulose na sua parede celular, o que promove uma maior exposição das células à radiação infravermelha, aumentando a degradação dos compostos (HABIB, 2008).

Avaliando de uma forma geral, as secagens realizadas nas menores temperaturas (65°C) foram as que obtiveram maiores teores de compostos bioativos. Nessas condições, o tempo de processo foi maior, o que indica que os compostos bioativos são mais afetados pela temperatura do que pelo tempo de secagem.

Os teores de Fenólicos Totais (Figura 4.4 a) mantiveram-se próximos até a temperatura de 95°C, decrescendo na temperatura de 110°C. Os melhores teores foram aproximadamente 30% menores do que o resultado obtido para a microalga *in natura*. Já os compostos flavonoides (Figura 4.4 b) apresentaram maior degradação. Embora os melhores resultados encontrados foram para as secagens a 65 e 80 °C esses ainda foram cerca de 64% menores que o TFC da amostra *in natura*. Essa degradação foi ainda mais crítica para as temperaturas de 95°C e 110°C, chegando a ser 76% menor para a última temperatura.

A Acidez Titulável Total (Figura 4.4 c) também se mostrou sensível ao aumento de temperatura, tendo os seus maiores valores para as temperaturas mais baixas. A ficocianina (Figura 4.4 d) foi o composto que mais se degradou com a secagem contínua por infravermelho, mesmo a 65 °C a degradação foi em torno de 60% da ficocianina encontrada para a amostra de microalga *in natura*. Essa degradação deve-se ao comportamento termossensível da ficocianina como já relatado por Desmorieux & Decaen (2005).

4.2.2.2 Compostos Bioativos para Secagem Intermitente por Infravermelho

A Figura 4.4 apresenta os resultados dos compostos bioativos encontrados para a Secagem Intermitente por Infravermelho. Ao comparar esses resultados com os da secagem contínua percebe-se que através de certas condições de intermitência foi possível o aumento de alguns compostos.

O maior teor de Fenólicos Totais (Figura 4.4 a) foi obtido para a condição de intermitência de 65°C → 50°C, de 423,67 mg ácido gálico / 100 g amostra seca, valor esse próximo do encontrado na microalga *in natura* (462,12 mg ácido gálico / 100 g amostra seca). Embora para essa condição o tempo de secagem tenha sido maior que para a secagem contínua, o teor obtido foi cerca de 33% maior. Os valores de TPC das combinações de 110°C → 50°C, 80°C → 65°C e 80°C → 50°C se aproximaram dos teores das secagens contínuas nas temperaturas de 80 e 95°C, e os tempos de tais secagens foi próximo ou um pouco superior.

A secagem intermitente foi benéfica ao se avaliar os Teores de Flavonoides Totais (Figura 4.4 b). Foi possível obter valores próximos ou até mesmo superiores aos da secagem contínua. Os maiores teores foram nas condições de intermitência de 65°C → 50°C e 110°C → 50°C. Essa última condição foi ainda mais interessante, pois foi cerca de 50% maior que para a condição de 65°C e foi realizada em um tempo 25% menor. Embora em algumas condições de

intermitência o aumento do TFC é verificado, a sensibilidade dele é observada pelo fato de os valores obtidos estarem distantes do composto *in natura* (9,86 mg rutina / 100 g amostra seca).

O comportamento para os teores de Acidez Titulável Total (Figura 4.4 c) para a secagem intermitente foi o mesmo que o observado para a secagem contínua. Os maiores ATT foram nas secagens com combinações mais brandas ($80^{\circ}\text{C} \rightarrow 50^{\circ}\text{C}$ e $65^{\circ}\text{C} \rightarrow 50^{\circ}\text{C}$), porém valores esses ainda baixos ao compará-los com a amostra *in natura* (5336,01 mg ácido cítrico/100g base seca). Logo, a intermitência não impactou de forma significativa a acidez das amostras.

Já o Teor de Ficocianina foi afetado positivamente pelo uso da intermitência (Figura 4.4 d). Esses teores foram próximos ou superiores aos valores de TF encontrados na melhor condição contínua (65°C). Os melhores resultados foram nas combinações de $80 \rightarrow 65^{\circ}\text{C}$ e $110 \rightarrow 65^{\circ}\text{C}$, sendo 14 a 23% maiores que os obtidos na secagem contínua à 65°C , e com tempos de secagem 40 % menores. Entretanto, da mesma forma que para os outros compostos, o teor de ficocianina ainda foi mais baixo do que o obtido para a amostra *in natura* (14,55 g ficocianina / 100 g amostra seca).

4.3 Secagem da *Spirulina platensis* por Micro-ondas

4.3.1. Umidade, Atividade de água, Tempo de processo

Da mesma forma que na secagem por infravermelho, os valores de atividade de água e umidade obtidos na secagem em micro-ondas (contínua e intermitente) foram satisfatórios. Os valores de atividade de água estão compreendidos na faixa de 0,337 a 0,485. Esse intervalo encontrado não propicia o crescimento microbiano, sendo, portanto benéfico para a qualidade do produto final.

Tabela 4.3: Umidade, Atividade de Água e Tempo – Secagem Contínua e Intermitente (Micro-ondas)

Potência (W)	Umidade (%)	Atividade de Água (aw)	Tempo(min)
Secagem Contínua			
200W	8,11 ± 0,03	0,429	70,0
280W	6,62 ± 0,26	0,392	33,0
480W	4,46 ± 0,19	0,347	18,0
600W	4,10 ± 0,08	0,337	12,0
800W	4,48 ± 0,23	0,342	11,0
Secagem Intermitente			
800 → 600W	7,92 ± 0,08	0,451	7,5
800 → 480W	5,58 ± 0,06	0,343	13,5
800 → 280W	7,60 ± 0,18	0,407	18,0
800 → 200W	7,79 ± 0,09	0,420	39,0
600 → 480W	5,93 ± 0,09	0,355	12,0
600 → 280W	9,05 ± 0,01	0,461	16,0
600 → 200W	9,43 ± 0,12	0,463	33,5
480 → 280W	10,57 ± 0,17	0,485	15,0
480 → 200W	9,17 ± 0,17	0,449	35,0
280 → 200W	7,19 ± 0,10	0,388	63,5

Ao analisar o tempo de secagem verificou-se uma redução considerável ao compará-lo com os tempos encontrados para a secagem por infravermelho sendo, portanto, um ponto positivo de tal metodologia como previamente relatado na literatura (MASKAN, 2000). Enquanto o maior tempo de secagem por infravermelho foi de 711 minutos para a condição de 65°C → 50°C, nessa metodologia foi para a secagem contínua à 200W de 70 minutos.

Na secagem contínua, as potências de 600 e 800W apresentaram os menores tempos, 12 e 11 minutos respectivamente. Já para as menores potências (200 e 280W) o tempo foi cerca de 7 e 3 vezes maior do que o de 800W, respectivamente. Esse comportamento é explicado pelo fato de nas potências mais baixas, a incidência da radiação ser menor e consequentemente a força motriz para retirada da umidade ser maior, levando a um tempo mais elevado.

Comparando a secagem contínua com a intermitente, constatou-se que essa segunda foi benéfica visto que os tempos de secagem foram inferiores ou equivalentes ao tempo intermediário de cada combinação utilizada. Os menores tempos tem ligação direta com o fato de que ao trocar a potência do micro-ondas, para uma potência menor, a água se desloca para a superfície, sendo mais fácil a sua remoção.

A Figura 4.5 mostra a aparência das amostras obtidas em algumas das secagens realizadas. A secagem por micro-ondas permitia que o material fosse retirado com facilidade do prato. Além disso, apresentou uma redução do volume após a secagem e um maior escurecimento da amostra. Essas características são verificadas, já que a secagem por micro-ondas é mais intensa, fazendo com que a umidade fosse retirada de forma mais rápida.

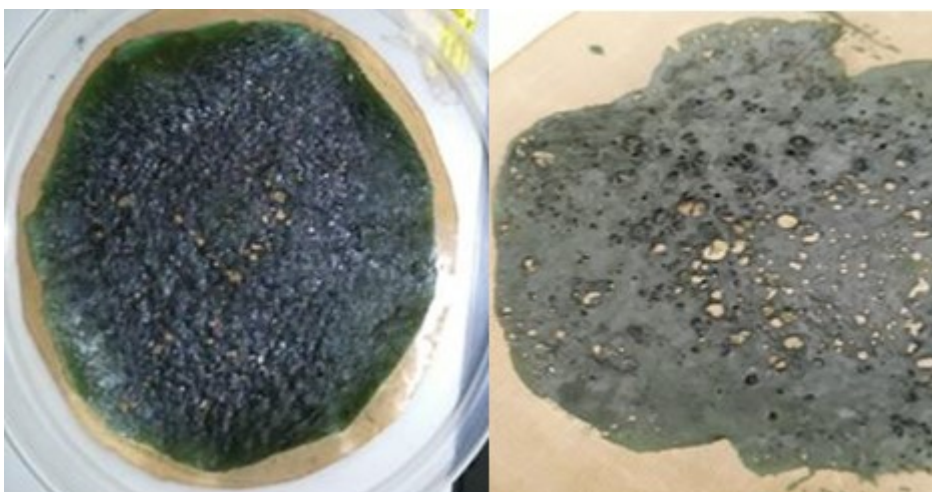


Figura 4.5: Microalga *Spirulina platensis* após Secagem por Micro-ondas a 280W e 800W

4.3.2 Compostos bioativos para secagem por micro-ondas

Os teores de compostos bioativos para a secagem contínua e intermitente em Micro-ondas são expressos na Figura 4.6.

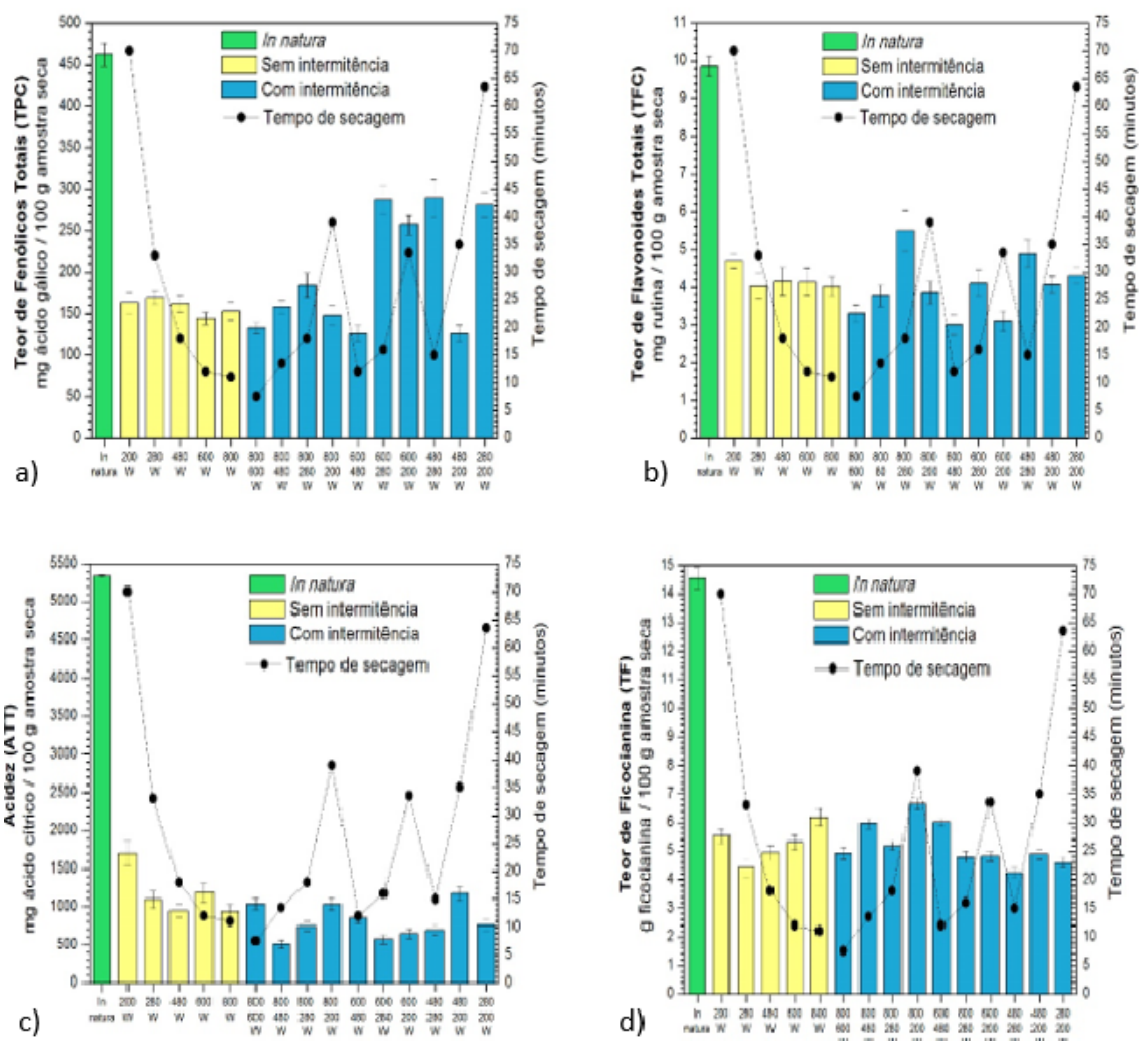


Figura 4.6: Teores de compostos bioativos da Spirulina na secagem contínua e intermitente por micro-ondas: (a) TPC; (b) TFC; (c) ATT e (d) TF

4.3.2.1 Compostos Bioativos para Secagem Contínua por Micro-ondas

De forma semelhante ao comportamento na secagem por infravermelho, verifica-se uma alta degradação dos compostos bioativos ao compará-los com os valores obtidos para a amostra *in natura*. Esse comportamento pode ser explicado devido a simplicidade da estrutura celular da microalga, como já citado. Já o tempo de processo foi consideravelmente menor do que a secagem por infravermelho, sendo, portanto, um ponto positivo de tal metodologia.

Apesar da redução observada para os compostos bioativos em relação a microalga *in natura* (TPC- 35%, TFC - 42% e ATT - 22%), as concentrações desses compostos mantiveram-se praticamente constantes independente da potência utilizada. Para o teor de Ficocianina

observa-se um comportamento um pouco diferente dos outros compostos. Houve um aumento do teor durante as secagens nas maiores potências. Indicando que, no caso da secagem por micro-ondas, a radiação tem menor efeito sobre esse composto do que o tempo de processo. Porém mesmo com tal comportamento, quando comparado com a amostra *in natura*, o teor de ficocianina da amostra seca representa 42,5%.

4.3.2.2 Compostos Bioativos para Secagem Intermitente por Micro-ondas

Para a secagem intermitente a constância observada para a maioria dos compostos durante a secagem contínua, não se repete. Para algumas condições de intermitência, houve uma alteração positiva desses compostos bioativos.

As condições de intermitência de 600 → 280W, 480 → 280W, 280 → 200W, 600 → 200W foram as que apresentaram os maiores valores de TPC (Figura 4.6 a) (aumento de 80% em relação aos valores para a secagem contínua). As duas primeiras condições citadas, foram as que apresentaram os menores tempos de secagem (16 e 15 minutos respectivamente), favorecendo, portanto, a economia de energia e potencializando os TPC. Contudo, para esse composto, conclui-se que a combinação entre potências intermediárias é favorável, aumentando os teores e minimizando o efeito da degradação pelas micro-ondas. Ao analisar o melhor resultado para o TPC, verifica-se que esse foi 62% do TPC da amostra *in natura*, quase duas vezes maior que o valor obtido para a secagem contínua.

Embora não se observe um aumento tão considerável quanto para os TPC, os teores de Flavonoides totais (Figura 4.4 b) também foram afetados positivamente. Observa-se que as condições: 800 → 280W, 480 → 280W apresentaram maiores teores que para a secagem contínua (30% e 16%, respectivamente). E para essas condições o tempo de processo foi consideravelmente baixo, ficando entre 15 e 18 minutos. O melhor resultado para o TFC (800 → 280W), representando 56% do TFC original, valor esse maior que para a secagem contínua (42%).

Ao verificar o comportamento da ATT (Figura 4.6 c) com a intermitência, percebe-se que houve degradação do ácido cítrico, já que os valores para a acidez se mantiveram iguais ou menores que os obtidos para a secagem contínua. Da mesma forma que para a intermitência por infravermelho, as combinações de potência não impactaram no resultado da ATT. Esse mesmo comportamento foi evidenciado nos teores de ficocianina (Figura 4.6 d), se mantendo próximos

aos valores da secagem contínua. Para a ficocianina, a secagem em infravermelho apresentou melhores resultados.

4.4 Comparativo entre as Secagens

Para os Teores de Fenólicos Totais, verificou-se que a secagem por infravermelho apresentou melhores resultados. E os resultados para essa metodologia aliada com intermitência, foram ainda mais satisfatórios. Para a secagem por micro-ondas, as mesmas evidências foram encontradas, onde, para esse composto em questão, a intermitência se mostrou mais efetiva.

De uma forma geral a degradação dos Teores de Flavonoides Totais foi maior do que para os TPC. Para os TFC, as secagens intermitentes apresentaram melhores resultados tanto para infravermelho quanto para micro-ondas.

Para a acidez, um comportamento diferente foi encontrado. A secagem por micro-ondas degradou o ácido cítrico, e com a intermitência essa degradação foi ainda maior. Já para a secagem por infravermelho a intermitência não se mostrou tão discrepante, os resultados ficaram próximos dos obtidos para a secagem contínua.

Por fim, para o teor de ficocianina a intermitência se mostrou discretamente mais eficaz para a secagem da microalga quando comparada com as metodologias contínuas, e não houve diferença considerável entre a secagem por infravermelho e micro-ondas.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

O potencial nutricional da microalga *Spirulina platensis* foi constatado pelos altos teores de compostos bioativos presentes na microalga ainda *in natura*. Porém, o elevado teor de umidade presente nas amostras *in natura* (82,70%), faz com que a secagem se faça necessária para a conservação da qualidade do material, além de facilitar o transporte e armazenagem e além de impedir o crescimento microbiano. A fim de verificar o comportamento da secagem, realizou-se a umidade final e atividade de água. Os resultados obtidos para essas análises foram satisfatórios em todos os experimentos, já que as umidades foram menores que 12% e a atividade de água menor que 0,6.

As secagens através de radiações eletromagnéticas como por infravermelho e micro-ondas destacam-se por serem mais eficientes energeticamente, e no caso das micro-ondas por diminuir consideravelmente o tempo de secagem. Porém tais técnicas trazem certa degradação dos compostos em relação aos da microalga *in natura*. De uma forma geral, a secagem por infravermelho apresentou maiores teores de compostos bioativos quando comparada com a secagem por micro-ondas, sendo, portanto, um ponto positivo para tal metodologia.

A intermitência é utilizada a fim de minimizar os impactos dessa degradação que a secagem contínua apresenta, e no presente trabalho, foi utilizada combinações de temperatura e potência para os secadores em questão (infravermelho e micro-ondas respectivamente). Ao comparar a secagem intermitente com a secagem contínua, essa foi benéfica em todos os compostos, exceto para a acidez obtida pela secagem por micro-ondas, que além de ser menor do que para a secagem contínua foi consideravelmente menor que para a secagem por infravermelho (contínua e intermitente), mostrando que as micro-ondas são mais agressivas para esse composto do que a radiação por infravermelho.

Portanto, conclui-se que a intermitência, em condições específicas, pode ser vantajosa para a maioria dos compostos bioativos, além de apresentar menores tempos de secagem nessas condições, o que torna o processo mais rentável economicamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULQADER, G.; BARSANTI, L.; TREDICI, M.R. Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *Journal of Applied Phycology*, 12: 493-498 . 2000.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil). VII Lista dos novos ingredientes aprovados – Comissões Tecno científicas de Assessoramento em Alimentos Funcionais e Novos Alimentos. Disponível em http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/novos_ingredientes.htm.
- AKPINAR, E. K. Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: modelling, performance analyses. *Energy Conversion and Management*, v. 51, p. 2407-2418, 2010.
- ALLAF, K.; MOUNIR, S.; NEGM, M.; ALLAF, T.; FERRASSE, H.; MUJUMDAR, A. S. Intermittent Drying. Em: MUJUMDAR, A. S., *Handbook of Industrial Drying*, Cap 22, p. 491-501, 4a Edição, CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA, 2015.
- AMBROSI, M. A.; REINEHR, C. O.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J.A.V.; COLLA, L.M., Propriedades de saúde de *Spirulina spp*. *Revista de Ciencias Farmacêuticas Básica e Aplicada* , vol. 29, no. 2, pp. 109–117, 2008.
- AOAC. *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, 1995.
- APELBLAT, A. Citric Acid. 1ed. Israel, Springer. 357p, 2014.
- BECKER, W.: Microalgae in human and animal nutrition, p. 312– 351. In Richmond, A. (ed.), *Handbook of microalgal culture*. Blackwell, Oxford (2004).
- BEHLING, E B.; SENDÃO, M. C.; FRANCESCATO, H. D. C.; ANTUNES, L.M.G.; BIANCHI, M.L.P. Flavonoide quercetina: aspectos gerais e ações biológicas. *Alim. Nutri.*, Araraquara, v. 15, n. 3, p. 285-292, 2004.
- BELAY, A. M. H. A. Mass culture of *Spirulina* outdoors-the earthrise farms experience. In: Vonshak, A., ed. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. London: Taylor & Francis, p.131-158, 1997.
- BORTOLOTTI, C. T.; SANTOS, K. G.; FRANCISQUETTI, M. C. C.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Hydrodynamic Study of a Mixture of West Indian Cherry Residue and Soybean Grains in a Spouted Bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 91, p. 1871-1880, 2013.

- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, v. 8, p. 25-30, 1995.
- BRENNA, O.V.; PAGLIARINI, E. Multivariate analyses of antioxidant power and polyphenolic composition in red wines. *J. Agric. Food Chemistry*. Chicago: v.49, p. 4841-4844, 2001.
- CARROLL, M. B.; CHURCHILL, S. W. A numerical study of periodic on-off versus continuous heating by conduction. *Numerical Heat Transfer*, v. 10, p. 297–310, 1986.
- CENKOWSKI, S.; ARNTFIELD, S. D.; SCANLON, M. G. Far Infrared Dehydration and Processing. Em: HUI, Y. H.; CLARY, C.; FARID, M. M.; FASINA, O. O.; 158 NOOMHORM, A.; WELTI-CHANES, J., *Food Drying Science and Technology*, Cap. 7, p. 157-202, DEStech Publication, Inc, Lancaster-EUA, 2008.
- CHACÓN-LEE , T.L.; GONZÁLEZ-MARIÑO, G.E.; Microalgae for “Healthy” Foods—Possibilities and Challenges. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(6), 655–675. 2010.
- CHEN, C. -L.; CHANG, J. -S.; LEE, D. -J. Dewatering and Drying Methods for Microalgae. *Drying Technology*, v. 33, p. 443-454, 2015.
- CHUA, K. J.; CHOU, S. K. A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 40, p. 23-39, 2005.
- CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. S.; CHOU, S. K. Intermittent drying of bioproducts – an overview. *Bioresource Technology*, v. 90, p. 285-295, 2003.
- COLLA, L. M.; REINEHR, C. O.; REICHERT, C.; COSTA, J. A. V. Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1489–1493, 2007.
- COSTA, B. R. *Secagem da Microalga Spirulina em Camada Delgada Utilizando Secador com Bomba de Calor*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande – RS, 121 p., 2014.
- COSTA, B. R.; ROCHA, S. F.; RODRIGUES, M. C. K.; POHNDORF, R. S.; LARROSA, A. P. Q.; PINTO, L. A. A. Physicochemical characteristics of the *Spirulina sp.* Dried in heat pump and conventional tray dryers. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 50, p. 2614-2620, 2015.

- 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. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 40, p. 934-942, 2016.
- DATTA, A. K.; DAVIDSON, P. M. Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*, 65, 32–41, 2000.
- DEFRAEYE, T. Towards more efficient intermittent drying of fruit: Insights from combined hygrothermal-quality modelling. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 38, p. 262-271, 2016,
- DERNER, R. B. Efeito de fontes de carbono no crescimento e na composição bioquímica das microalgas *Chaetoceros muellei* e *Thalassiosira fluviatilis*, com ênfase no teor de ácidos graxos poliinsaturados. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- DESMORIEUX, H.; DECAEN, N. Convective drying of spirulina in thin layer. *Journal of Food Engineering*, v. 66, p. 497-503, 2005.
- DILLON, J.; PHUC, A. P.; DUBACQ, J. P. Nutritional value of the alga *Spirulina*. *Plants in Human Nutrition*, v. 77, p. 32-46, 1995.
- DISSA, A. O.; DESMORIEUX, H.; SAVADOGO, P. W.; SEGDA, B. G.; KOULIDIATI, J. Shrinkage, porosity and density behavior during convective drying of spirulina. *Journal of Food Engineering*, v. 97, p. 410-418, 2010.
- ERIKSEN, N. T. The technology of microalgal culturing. *Biotechnol. Lett.* 30: 1525 – 1536, 2008.
- ESTRADA, J. E. P.; BESCÓS, P. B.; FRESNO, A. M. V. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. *Il Farmaco*, v. 56, p. 497-500, 2001.
- ESTRADA, J.E.P.; BESCÓS, P.; VILLAR DEL FRESNO, A.M. Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. *Il Farmaco*, v.56, p.497-500, 2001.
- FDA - Food and Drug Administration. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000127 CFSAN/Office of Food Additive Safety. 2003. Disponível <http://www.fda.gov/Food/FoodIngredientsPackaging/GenerallyRecognizedasSafeGRAS/GRASListings/ucm153944.htm>.

- FERNÁNDEZ-ROJAS, B.; HERNÁNDEZ-JUÁREZ, J.; PEDRAZA-CHAVERRI, J. Nutraceutical properties of phycocyanin, *Journal of Functional Foods* 11., 375-392., 2014.
- GINZBURG, A. S. Application of Infrared Radiation in Food Processing. *Chemical and Process Engineering Series*, Leonard Hill, London, 1969.
- HABIB, M. A. B.; PARVIN, M.; HUNTINGTON, T. C.; HASAN, M. R. 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, p. 33, 2008.
- HAJIMAHMOODI, M.; FARAMARZI, M. A.; MOHAMMADI, N.; SOLTANI, N.; OVEISI, M. R.; NAFISSI-VARCHEH, N. Evaluation of antioxidant properties and total phenolic contents of some strains of microalgae. *Journal of Applied Phycology*, v. 22, p. 43–50, 2010.
- HASATANI, M.; ITAYA, Y.; MIURA, K. Hybrid drying of granular materials by combined radiative and convective heating. *Drying Technology*, v. 6(1), p. 43-49, 1988.
- HEBBAR, H. U.; ROSTAGI, N. K. Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. *Journal of Food Engineering*, v. 47, p. 1–5, 2001.
- HENRIKSON, R. Microalga Spirulina: superalimento del futuro. Ediciones Urano S.A., Barcelona, 1995.
- HENRIKSON, R. Microalga Spirulina: Superalimento del futuro. Barcelona: Ediciones S.A.Urano, 1994.
- KHRAISHEH, M. A. M.; COOPER, T. J. R.; MAGEE, T. R. A. Microwave and air drying. Fundamental considerations and assumptions for the simplified thermal calculations of volumetric power absorption. *Journal of Food Engineering*, 33(2), 207–219, 1997.
- KUMAR, C.; JOARDDER, M. U. H.; KARIM, A.; MILLAR, G. J.; AMIN, Z. Temperature redistribution modelling during intermittent microwave convective heating. *Procedia Engineering*, v. 90, p. 544-549, 2014a.
- KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering*, v. 121, p. 48-57, 2014b.
- LAGUERRE, M.; LECOMTE, J.; VILLENEUVE, P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. Review. *Progress in Lipid Research*, v. 46, p. 244-282, 2007.

- LOPES, R M. VER RESTO, Flavonoides. Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, São Paulo, 17, 18-22, nov/dez 2000.
- LÓPEZ, A.; RIVERO, A.; TANGIL, M.S. The effects of solvents on the phenolic contents and antioxidant activity of *Stypocaulon scoparium* algae extracts. Food Chemistry, v.125, n.3, p.1104-1109, 2011.
- MARLES R.J.; BARRETT M.L.; BARNES J.; CHAVEZ M.L.; GARDINER P.; KO R.; MAHADY G.B.; DOG T.L.; NANDAKUMARA D.S.; GIANCASPO G.I.
- MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. Archivos Latinoamericanos de Nutricion, v. 50 (1), p. 5–18, 2000.
- MASAMURA, A.; SADO, H.; HONDA, T.; SHIMIZU, M.; NABETHANI, H.; HAKAJIMA, M. Drying of potato by far infrared radiation, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, v.35, p. 309-314, 1988.
- MASKAN, M. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, v. 44, p. 71-78, 2000.
- MASKAN, M. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, v. 44, p. 71-78, 2000.
- MELO, P. C. *Cinética de Secagem e Armazenamento de Spirulina platensis*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás (UEG), Anápolis-GO, 78 p., 2016.
- MORAIS MG, COSTA JAV, ANDRADE MR. Cultivo de *Spirulina* em escala piloto no sul do Brasil para o enriquecimento da merenda escolar. In: XXIII SEURS - Seminário de extensão universitária da região sul, 2005, Florianópolis.
- MUJUMDAR, A. S. Handbook of industrial drying. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 1995.
- MUJUMDAR, A. S. Principles, Classification and Selection of Dryers. Em: MUJUMDAR, A. S., *Handbook of Industrial Drying*, Cap 1, p. 1-32, 3a Edição, CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA, 2007.
- MUJUMDAR, A.S. Handbook of Industrial Drying. 3ed CRC Press, 1312p. 2006
- NOOMHORM, A.; WELTI-CHANES, J., *Food Drying Science and Technology*, Cap. 7, p. 157-202, DEStech Publication, Inc, Lancaster-EUA, 2008.
- NORTON, T.A et al. Algal biodiversity. *Phycologia*, n.35, p.308–326, 1996

- OLIVEIRA, E. G.; DUARTE, J. H.; MORAES, K.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. Optimization of *Spirulina platensis* convective drying: evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 45, p. 1572–1578, 2010.
- OLIVEIRA, C. A.; CAMPOS, A. A.; RIBEIRO, S. M.; OLIVEIRA, W. C.; NASCIMENTO, A. G.; Potencial nutricional, funcional e terapêutico da cianobactéria spirulina. RASBRAN - Revista da Associação Brasileira de Nutrição. São Paulo, SP, Ano 5, n. 1, p. 52-59, Jan-Jun. 2013.
- OU, B.; HUANG, D.; HAMPSCH-WOODILL, M.; FLANAGAN, J.A.; DEEMER, E.K. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3122-3128, 2002.
- PAN, Y.K., ZHAO, L.J., HU, W.B., The effect of temperingintermittent drying on quality and energy of plant material. *Drying Technology—An International Journal* 17 (9), 1795–1812. 1999b.
- PAPADAKI, S., KYRIAKOPOULOU, K., STRAMARKOU, M., TZOVENIS, I., & KROKIDA, M. Environmental Assessment of Industrially Applied Drying Technologies for the Treatment of *Spirulina Platensis*. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 11(1), 41-46, 2017.
- PELZER, L. E.; GUARDIA, T.; JUAREZ, O. A.; GUERREIRO. Acute and chronic antiinflammatory edects of plant flavonoids, *Farmaco*, v. 53, p.421-423, 1998.
- PETERSON, J.; DWYER, J. Flavonoids: dietary occurrence and biochemical activity. *Nutrition Research*. v. 18, n. 12, p. 1995-2018, 1998.
- PULZ, O.; GROSS, W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology Biotechnology*, v.65, p.635-648, 2004.
- RATTI, C., & MUJUMDAR, A. S. Infrared drying. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of industrial drying*, vol. 1 (pp. 567 – 588), 1995.
- RATTI, C.; MUJUMDAR, A. S. Infrared Drying. Em: MUJUMDAR, A. S., *Handbook of Industrial Drying*, Cap 18, p. 423-438, 3a Edição, CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA, 2007.
- REHM, H. J.; REED, G. Enzymes, biomass, food and feed. *Biotechnology Multi Volume Comprehensive Treatise*, v.9, p.170-215, 1995.

- RICHMOND, A. (Ed). CRC Handbook of microalgal mass culture. Florida: CRC. 528p, 1990.
- RICHMOND, A. Cell response to environmental factors. In: RICHMOND, A. (ed.). CRC Handbook of Microalgal Mass Culture. Boca Raton: CRC, p. 69-100, 1990.
- SAKAI, N., & HANZAWA, T. (1994). Application and advances in farinfrared heating in Japan. *Trends in Food Science and Technology*, 5(11), 357 – 362
- SASSON, A. Micro Biotechnologies: Recent Developments and Prospects for Developing Countries. BIOTEC Publication 1/2542. pp. 11-31 Place de Fontenoy, Paris. France. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 1997.
- SCHIFFMANN, R. F. Microwave and Dielectric Drying. Em: MUJUMDAR, A. S., *Handbook of Industrial Drying*, Cap 12, p. 286-305, 3ª Edição, CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA, 2007.
- SHARAF M.; GRIFFITHS J. United States pharmacopeia safety evaluation of Spirulina. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 51(7):593-604, 2011.
- SHIMAMATSU, H. Mass production of Spirulina, an edible microalga. *Hydrobiology*, v. 512, p. 39-44, 2004.
- SHOW, K.-Y.; LEE, D.-J.; CHANG, J.-S. Algal biomass dehydration. *Bioresource Technology*, v. 135, p. 720-729, 2013.
- SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F.; FERREIRA, M. A. Methods for the evaluation of the degree of lipid oxidation and the antioxidant activity. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 22, n. 1, p.115-232, 1999.
- SILVA, N. C. *Desidratação de Resíduos de Processamento de Maracujá por Diferentes Metodologias*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG. 163 p., 2015.
- SILVA, N. C. *Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes materiais visando a preservação de compostos bioativos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG. 72 p., 2019.
- SILVA, P. B. Secagem de resíduos de frutas em secador roto-aerado. Dissertação de mestrado. UFU. Uberlândia, MG. 2014.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 16, p. 144-158, 1965.

- SOYSAL, Y.; AYHAN, Z.; ESTURK, O.; ARIKAN, M. F. Intermittent microwave-convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (color and texture) and sensory quality. *Biosystems Engineering*, v. 103, p. 455-463, 2009.
- TOMASELLI, L. The microalgal cell. In: RICHMOND, A. (Ed). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell Science, 2004.
- VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials — A review. *Food and Bioprocess Technology*, v. 3, p. 161–171, 2010.
- VASCO, C. *Phenolic compounds in Ecuadorian fruits*. Tese de Doutorado. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, 2009.
- VENKATESH, M. S.; RAGHAVAN, G. S. V. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agrifood Materials, *Biosystems Engineering*, v. 88(1), p. 1-18, 2004.
- VONSHAK, A. Outdoor mass production of Spirulina: the basic concept. In: Vonshak, A., ed. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. London: Taylor and Francis. p.79-99, 1997.
- WALTER, A. Estudo do processo biotecnológico para obtenção de ficocianina a partir da microalga Spirulina Platensis sob diferentes condições de cultivo. 133f. Dissertação. Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- YILDIRIM, A.; MAVI, A.; KARA, A.A. Determination of antioxidant and antimicrobial activities of Rumex crispus L. extracts. *J. Agric. Food Chemistry*, v. 49, p. 4083-4089, 2001.
- ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A. S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, v. 17, p. 524–534, 2006.
- ZHAO, D.; AN, K.; DING, S.; LIU, XU, Z.; WANG, Z. Two-stage intermittent microwave coupled with hot-air drying of carrot slices: Drying kinetics and physical quality. *Food and Bioprocess Technology*, v. 7(8), p. 2308–2318. 2014.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, v. 64, p. 555-559, 1999.