

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

LETÍCIA HELENA PAULINO DE ASSIS

Produção de leite de coco em pó por meio de secagem
em *spray dryer*: uma revisão

Lorena
2019

LETÍCIA HELENA PAULINO DE ASSIS

Produção de leite de coco em pó por meio de secagem
em *spray dryer*: uma revisão

Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São
Paulo para obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Química

Orientadora: Prof.^a Dra. Livia Chaguri e Carvalho

Lorena

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Assis, Letícia Helena Paulino de
Produção de leite de coco em pó por meio de secagem
em spray dryer: uma revisão / Letícia Helena Paulino
de Assis; orientadora Livia Chaguri e Carvalho. -
Lorena, 2019.
55 p.

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia
Química - Escola de Engenharia de Lorena da
Universidade de São Paulo. 2019

1. Secagem. 2. Spray dryer. 3. Leite de coco. 4.
Agentes carreadores. 5. Atomização. I. Título. II.
Carvalho, Livia Chaguri e, orient.

RESUMO

ASSIS, Letícia Helena Paulino de. **Produção de leite de coco em pó por meio de secagem em *spray dryer***: uma revisão. Orientadora: Livia Chaguri e Carvalho. 2019. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

As técnicas de secagem de alimentos são amplamente utilizadas visando à sua conservação. O leite de coco em pó é um produto que vem se destacando dentre os alimentos para pessoas intolerantes à lactose e à proteína do leite de vaca. A técnica de secagem por atomização por *spray dryer* é uma das mais utilizadas para obtenção do leite de coco em pó. Dessa forma, esta monografia reúne alguns trabalhos sobre a secagem do leite em coco para sua obtenção em pó. Dentre os estudos apresentados, podem-se destacar algumas informações relevantes sobre métodos de conservação de alimentos por secagem, variáveis, ou condições de operações utilizadas no método de secagem por *spray dryer* (incluindo detalhes dos equipamentos, substâncias e agentes carreadores utilizados no processo). Foram apontados alguns benefícios da técnica no leite de coco, bem como sua composição e suas propriedades. Como resultado, obteve-se um procedimento detalhado de como elaborar a composição da alimentação, quais condições de processo devem ser adotadas e quais propriedades da alimentação e do produto em pó podem ser obtidas na Escola de Engenharia de Lorena, no Laboratório de Engenharia de Microalgas, local em que se encontra instalado um *spray dryer*. Almeja-se, com este trabalho, fornecer subsídios para a obtenção do leite de coco pulverizado.

Palavras-chave: Secagem, *Spray dryer*, Leite de coco, Agentes carreadores, Atomização

ABSTRACT

ASSIS, Letícia Helena Paulino de. **Production of coconut milk by drying process in spray dryer:** a review. Advisor: Livia Chaguri e Carvalho. 2019. 1 v. Monography (Graduation) –CourseChemicalEngineering, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

Food drying techniques are widely used for their conservation. Coconut milk powder is a product that stands out among foods for lactose and cow milk protein intolerant people. The spray drying spray drying technique is one of the most used to obtain coconut milk powder. Thus, this monograph gathers some works on the drying of coconut milk to obtain it in powder form. Among the studies presented, we can highlight some relevant information about methods of preserving food by drying, variables, or operating conditions used in the spray dryer drying method (including details of equipment, substances and carrier agents used in the process). Some benefits of the technique in coconut milk were pointed out, as well as its composition and properties. As a result, a detailed procedure was obtained on how to elaborate the feed composition, which process conditions should be adopted and which properties of the feed and powder product can be obtained at the Escola de Engenharia de Lorena, the Laboratório de Engenharia de Microalgas, where a spray dryer is installed. It is expected that this work can help the future obtaining of coconut milk powder.

Keywords: Drying, Spray dryer, Coconut milk, Carrier agents, Atomization

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar e por guiar meus passos e meu coração.

A meus pais, Luísa Helena Freitas Paulino e Luiz Roberto de Assis, pelo cuidado, apoio, amor e por investirem e acreditarem em mim.

À Prof.^a Dra. Lívia Chaguri e Carvalho, por toda a instrução e pelo suporte ao longo deste ano.

Aos meus amigos e às minhas amigas de São Paulo, pelo companheirismo e carinho.

Às minhas amigas e aos meus amigos de Lorena, por tornarem minha graduação tão especial.

À minha família, por sempre me acolher e me incentivar.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, por todas as oportunidades que se concretizaram.

Ao Projeto Criança Feliz e ao projeto Idoso Amigo, pelo significado que deram à minha vida.

À Escola de Engenharia de Lorena, pelo tanto que me proporcionou e por anos inesquecíveis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Secção transversal de um coco	14
Figura 2 – Fluxograma do processamento de coco.....	15
Figura 3 – Diagrama do processo de secagem.....	20
Figura 4 – Desenvolvimento microbiológico em função da atividade de água.....	23
Figura 5 – Esquema de um secador do tipo <i>spray dryer</i>	25
Figura 6 – Dextrose Equivalente	28
Figura 7 – Morfologia das partículas de leite de coco nas seguintes condições: (a) 16 MPa, 40 °C e 3 mL/min de taxa de alimentação (27 °C e 6 MPa) (b) 12 MPa, 50 °C e 4 mL/min de taxa de alimentação (27 °C e 12 MPa).....	30
Figura 8 – Distribuição de partículas do coco de babaçu utilizando dois tipos de materiais de parede: maltodextrina e amido modificado.....	31
Figura 9 – Fluxograma do Processo	41
Figura 10 – Imagem do MSD 0.5 com identificação de cada um de seus principais sistemas	42
Figura 11 – Bico atomizador	43
Figura 12 – Parâmetros da medição de cor.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Influência das Variáveis no <i>Spray Dryer</i>	25
Quadro 2 – Ingredientes nos Leites de Coco em Pó do Mercado	37
Quadro 3 – Preços das marcas de leite de coco em pó	38
Quadro 4 – Análises físico-químicas para o pó de leite de coco.....	45
Quadro 5 – Análises físico-químicas para a solução.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características agronômicas dos grupos de coqueiro	17
Tabela 2 – Estimativa de área e de produção por tipo de coqueiro e por Região	19
Tabela 3 – Comparação entre artigos de secagem de leite de coco.....	33
Tabela 4 – Especificações técnicas do <i>spray dryer</i> LM MSD 0.5	45
Tabela 5 – Condições de processo propostas para a secagem de leite de coco no <i>spray dryer</i> MSD 0.5	49

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a_w	Atividade de água (adimensional)
a^*	Coordenada cromática (vermelho/verde)
b^*	Coordenada cromática (azul/amarelo)
CS	Caseinato de sódio
DE	Dextrose Equivalente
DP	Grau de polimerização de dextrose
$D[4,3]$	Diâmetro de Brouckere (μm)
L^*	Luminosidade
MD	Maltodextrina
m_i	Massa inicial antes da secagem (g)
m_s	Massa da amostra pós secagem (g de matéria seca)
p_w	Pressão parcial de vapor de água
p_0	Pressão parcial de vapor de água pura
t	Variável temporal (s)
T	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ou K)
T_g	Temperatura de transição vítrea ($^{\circ}\text{C}$ ou K)
X	Umidade (kg água/ kg matéria seca)
X_{bu}	Umidade em base úmida (kg água/ kg produto)
X_{bs}	Umidade em base seca (kg água/ kg matériaseca)
ρ_{ap}	Densidade aparente (g/mL)
ρ_{abs}	Densidade absoluta (g/mL)
ε	Porosidade (adimensional)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização	10
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivo Geral	13
1.4 Objetivos Específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Coco	15
2.1.1 Propriedades e obtenção do leite de coco em pó	15
2.1.2 Tipos de coco	15
2.1.3 Produção nacional de coco	18
2.2 Secagem	19
2.2.1 Métodos de secagem	20
2.2.2 Fluxo de calor	21
2.3 A água nos alimentos	22
2.3.1 Atividade de água	23
2.4 <i>Spray Dryer</i>	24
2.4.1 <i>Spray Dryer</i> na Indústria de Alimentos	26
2.4.2 Agentes carreadores	27
2.4.3 <i>Spray Dryer</i> na secagem de leite de coco	28
3 METODOLOGIA	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Pesquisa de mercado	37
4.2 Escolha do coco	39
4.3 Manuseio da matéria-prima e preparo da solução a ser seca	39
4.4 Funcionamento do <i>spray dryer</i> da Escola de Engenharia de Lorena	42
4.5 Análises físico-químicas	45
4.6 Procedimento proposto	48
5 CONCLUSÃO	50
Referências Bibliográficas	51

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A secagem, uma das operações unitárias mais antigas, usuais e complexas, é muito empregada em alimentos. A complexidade dessa operação se deve à dificuldade da descrição matemática das transferências de massa e energia simultaneamente com quantidade de movimento do sólido (ALVES, 2014).

Não só há remoção da água, mas também mudanças nos aspectos físico-químicos e biológicos dos produtos que são obtidas a partir desta técnica. Portanto, a secagem detém grande importância, dado que é uma operação unitária que reduz a deterioração de produtos biológicos, reduz custos energéticos, de embalagem, de transporte e de armazenamento. Outros benefícios, gerados com a secagem em alimentos, são o aumento da vida útil, preservação do valor nutricional e redução de perdas pós-colheitas (ENGEL, 2017).

Desde o período Paleolítico, em que os humanos, basicamente, caçavam para garantir a sobrevivência e viviam como nômades, a conservação de alimentos era um desejo. Assim, surgiu o primeiro método de secagem: a secagem natural, que emprega a radiação solar (SILVA et al., 2015).

No Antigo Egito, uvas eram submetidas à secagem solar e não recebiam nenhum tratamento prévio. Outros métodos usados na época eram fermentação, condimentação de frutas com álcool ou preservação com uso de vinagre, vinho, açúcar e sal (PARK et al., 2006).

Com a Revolução Francesa, no século XVIII, as técnicas de secagem começaram a se aprimorar, iniciando-se com a secagem de papel em folhas em uma sala com circulação de ar. Um século depois, em Londres, na “Grande Exibição”, surgiu a secagem de papel em cilindros aquecidos. No mesmo período, leites e vegetais eram secos em sistemas de pequeno aquecimento, amidos e sais eram secos em fornos (ALVES 2014).

No século XIX, os tratamentos térmicos foram muito utilizados e foram propostos métodos mais complexos, como secagem a vácuo e à radiação térmica. Na França, Nicholas Apert alcançou bons resultados na preservação de frutas pelo calor (PARK et al., 2006; PARK et al., 2007).

Durante a Segunda Guerra, no século XX, as técnicas foram ainda mais aperfeiçoadas, já que os alimentos precisavam ser transportados para os soldados de forma segura em

relação à higienização e conservação. Iniciaram-se os processos de secagem em tambores e por atomização (SILVA et al., 2015; ALVES, 2014).

Apesar da difusão em âmbito industrial apenas no século XX, a secagem por atomização já havia sido utilizada em 1865 para secagem de ovos (SILVEIRA et al., 2013). Os primeiros produtos conhecidos em larga escala por *spray dryer* são o leite e o sabão em pó (SILVA, 2012). Foi na Segunda Guerra Mundial que equipamentos de *spray dryer* passaram a ser cada vez mais utilizados, devido à alta produtividade e ao curto tempo na câmara de secagem e, assim, foram desenvolvidos com capacidades cada vez maiores (PIGNATA, 2016).

O método de secagem por *spray dryer* pode ser aplicado nas indústrias agrícolas, cerâmicas, químicas, alimentícias, farmacêuticas, de papel e celulose, mineral, polímeros, dentre outras (ALVES, 2014). A técnica já é bem estabelecida, mas é cada vez mais estudada e utilizada para produção de frutas e vegetais em pó (ENGEL, 2017).

No cenário atual, a população mundial vem aumentando, assim como a demanda por alimentos, bem como o excedente da produção agrícola, que gera enormes perdas de alimentos *in natura*. Assim, a conservação de alimentos é um tema atual que precisa ser cada vez mais aprimorado (ENGEL et al., 2016). Somado a isso, a busca por alimentos saudáveis, mais próximos do natural, mas que apresentem praticidade, rapidez no preparo e longo tempo de conservação é de grande requisição atualmente (SILVA et al., 2015).

Segundo Carvalho e Coelho (2009), o coqueiro é um dos principais recursos vegetais da humanidade, já que pode ser aproveitado por inteiro (caule, raiz, fruto, água) e pode ser empregado em diversas indústrias, principalmente na alimentícia, em suas diversas aplicações, como iogurtes, leite de coco, biscoitos, etc.

O Brasil possui um grande território com coqueiros que apresentam papel fundamental na economia local e seus derivados, como o leite de coco, que neste cenário tem alta demandada no mercado, visto suas propriedades nutricionais. O coco é um fruto considerado saudável, segundo as definições de Park et al. (2006), e o leite de coco em pó proporciona praticidade e um longo tempo de conservação. Sua produção tem potencial de participação comercial, visto suas propriedades nutricionais e que pode ser uma alternativa em substituição ao leite de vaca, principalmente àqueles que são alérgicos à sua proteína e à lactose. (CARVALHO; COELHO, 2009). No entanto, há poucos estudos sobre a secagem de leite de coco para a obtenção de um produto em pó.

1.2 Justificativa

Há muitos estudos de secagem e seus diferentes tipos, nesse sentido, a secagem por *spray dryer* é apontada como um método eficiente, que pode apresentar custos não muito elevados, fácil controle de processo e seus produtos em pó conservam suas propriedades nutricionais e suas partículas possuem tamanho uniforme se comparado a outros métodos de secagem, como estufa convencional (MASTERS, 1976; ENGEL, 2017).

Outro fator determinante para a escolha do método é a aquisição de um *spray dryer*, em escala laboratorial, o qual se encontra instalado no Laboratório de Microalgas da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. A revisão deste tema é de fundamental importância para realização de futuros experimentos no equipamento.

Quanto ao leite de coco, a escolha se deve às propriedades nutritivas que apresenta como produto para fins alimentícios: nele estão contidas muitas proteínas responsáveis por produzirem substâncias (como o hormônio serotonina que regula o sono), geram sensação de bem-estar, como o antioxidante glutianato, que protege o corpo de metais pesados, dentre outras. Outra consideração é a baixa oferta de produtos hipoalergênicos no mercado (ou seja, substitutos do leite de vaca para pessoas que são alérgicas a sua proteína), categoria em que o leite de coco se enquadra (CARVALHO; COELHO, 2009).

Apesar de existirem muitas produções no ramo acadêmico ligadas à secagem de diversos alimentos, à secagem em *spray dryer* e algumas relacionadas à produção de leite de coco em pó, são escassas as que unem o método e o produto: secagem de leite de coco em *spray dryer*.

Outro fator relevante é que, dentre as empresas que comercializam leite de coco em pó no Brasil e que foram contatadas, a Monama e a QualiCôco informaram que suas fábricas realizam apenas o processo de envase do produto.

Visto que o processo de secagem de leite de coco ainda não é amplamente difundido no Brasil, não há muitos estudos científicos sobre o processo de obtenção de um produto que pode ser enquadrado como alimento saudável e/ou funcional. Assim, optou-se, neste Trabalho de Conclusão de Curso, fazer uma revisão bibliográfica deste tema.

Considerando que a revisão realizada é sobre a secagem de um alimento (o leite de coco em pó), é de grande interesse que o produto mantenha ou tenha pouca perda de suas características e propriedades.

1.3 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica do processo de obtenção do leite de coco em pó para que futuramente, este produto possa a ser produzido com a utilização do *spray dryer* LM MSD 0.5 e estudado na Escola de Engenharia de Lorena.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram divididos em:

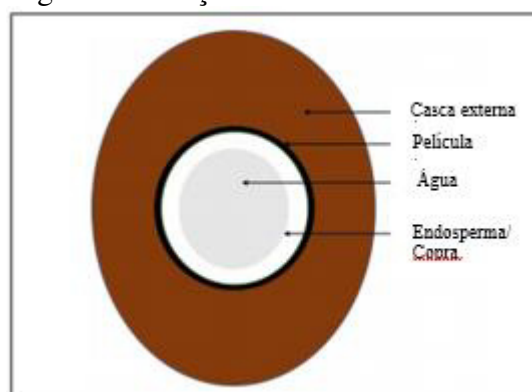
- a) Reunir diferentes bibliografias de formulação e processamento do leite de coco em pó;
- b) Indicar como é realizado o manuseio da matéria-prima;
- c) Estudar as formulações elaboradas, como as concentrações dos insumos que são utilizados para a produção do leite de coco em pó de modo a descrever um procedimento simples para uma formulação no laboratório;
- d) Estudar e esquematizar os parâmetros e/ou condições do processo de secagem que usualmente são empregados para produção do leite de coco em pó;
- e) Estudar e esquematizar algumas análises da qualidade do produto que são geralmente realizadas;
- f) Indicar um procedimento experimental para reprodução do leite de coco em pó no *spray dryer* LM MSD 0.5 da Escola de Engenharia de Lorena.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Coco

O coco maduro, condição que leva aproximadamente um ano, é composto por 35% de casca externa (o revestimento fibroso da fruta), 12% de tegumento ou película (revestimento duro interior da fruta), 28% de polpa ou copra (endosperma sólido), que é a parte comestível e 25% de água (endosperma líquido). Das partes do coco, as mais utilizadas para produtos comercializados são a água e a copra; deste, inclusive, o leite de coco é produzido (PATIL; BENJAKUL, 2018). A composição está representada na Figura 1.

Figura 1 – Secção transversal de um coco



Fonte: Adaptado de Patil e Benjakul (2018)

As proteínas do coco geralmente propiciam um bom valor nutricional e um perfil balanceado de aminoácidos. Alguns deles são a isoleucina, a leucina, a lisina, a metionina, dentre outras. Suas propriedades dependem fortemente da sensibilidade ao calor (PATIL; BENJAKUL, 2018).

Desses aminoácidos, a cisteína pode formar a glutatona, que é antioxidante e participa como cofator de várias enzimas, evitando metais pesados no corpo. O coco apresenta aplicações industriais na medicina, biotecnologia e nutrição. Na indústria de alimentos, o coco é amplamente utilizado, como, por exemplo, em fábricas de bolachas, doces, iogurtes, além da comercialização do coco maduro, água de coco, coco ralado, amêndoa de coco e leite de coco (CARVALHO; COELHO, 2009).

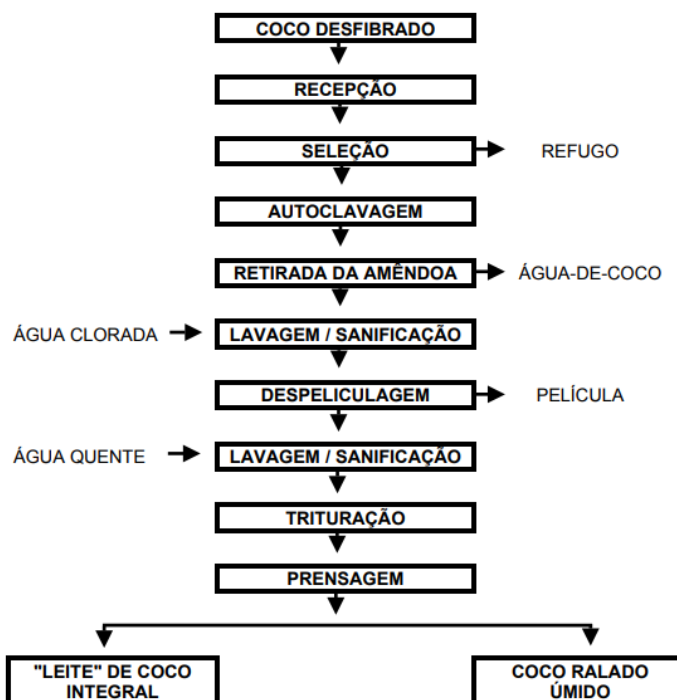
2.1.1 Propriedades e obtenção do leite de coco em pó

Proveniente de uma matéria-prima rica em proteínas, o leite de coco se apresenta como alternativa nutricional pelas vantagens que manifesta. Suas proteínas o estabilizam naturalmente (PATIL; BENJAKUL, 2018)

O leite de coco é indicado para casos de tosse e asma por fluidificar as secreções brônquicas e aumentar a resposta leucocitária. Possui também propriedades antioxidantes que agem em patologias. Por exemplo, a cisteína atua na neutralização de radicais livres quando há estresse oxidativo. O leite de coco é considerado um produto hipoalergênico. Outro atributo do leite de coco é o triptofano abundante. Esse aminoácido é responsável por produzir o hormônio serotonina no cérebro, que gera a sensação de bem-estar e regula o sono (CARVALHO; COELHO, 2009).

O processo de produção do leite de coco, conforme a Figura 2, tem sua eficiência da extração do leite de coco controlada por parâmetros operacionais: temperatura da água adicionada e condições de pressão. De forma resumida, para extração do leite de coco, o coco é ralado, misturado ou não com água e prensado (PATIL; BENJAKUL, 2018).

Figura 2 – Fluxograma do Processamento de Coco



Fonte: Abreu et al. (2002)

Inicia-se o processo pela recepção, em que as fábricas descarregam o coco sem a casca fibrosa, seguida pela seleção, em que os parâmetros de qualidade (como rachadura, maturação e tamanho) são observados por amostragem. Logo depois, na etapa de autoclavagem, os equipamentos injetam vapor superaquecido no produto para que, com a dilatação térmica desse, facilite o processo de separação do tegumento da polpa, a despeliculagem. Nessa etapa, a película é removida por abrasão. Na lavagem, a polpa é submetida a um jato de água quente e a um lavador rotativo que removem possíveis resíduos de película. A penúltima etapa consiste na trituração, em que a polpa é encaminhada a moinhos do tipo martelo com faces dentadas ou afiadas que rompem as estruturas fibrosas; podem ser usadas peneiras para várias granulometrias. O final do processo ocorre com a etapa de prensagem, em que o produto é gradativamente comprimido a fim de reduzir o teor de gordura. O grau de prensagem é determinado por um dispositivo de controle nas prensas, que ajudam a garantir um fácil manuseio e uma qualidade do produto final (ABREU et al., 2002).

2.1.2 Tipos de coco

Existem inúmeros tipos de coco, os quais são os frutos provenientes de palmeiras. Na família das palmeiras, chamada de *Arecaceae*, existem 14 tribos (classificação taxonômica entre família e gênero). Dentre essas tribos, está a *Cococeae*, que contém palmeiras de grande importância econômica como *Cocos nucifera* (coqueiro), *Elaeis guineenses* (dendezeiro), *Attalea speciosa* (babaçu) e *Bactris gasipaes* (pupunha). O coco proveniente o coqueiro é chamado de coco-da-baía, pois foi introduzido no Brasil pela Bahia e apresenta um alto volume de produção nacional. Para a produção de leite de coco, os cocos mais utilizados são o coco-da-baía e o de babaçu (GUNN, 2004).

Dentre as variedades de *Cocos nucifera*, existem gigante, anão e híbrido e suas características são dadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características agronômicas dos grupos de coqueiro

Características	Variedade de coqueiros		
	Anão	Híbrido	Gigante
Início da floração (ano)	2 a 3	3 a 4	5 a 7
Vida útil	30 a 40	50 a 60	60 a 80
Tamanho do fruto	Pequeno	Intermediário	Grande
Crescimento	Lento	Intermediário	Rápido
Porte (m)	8 a 10	20	35
Número de plantas por hectare	205	160	142
Produção de frutos (frutos/planta/ano)	150 a 200	130 a 150	60 a 80
Produtividade de frutos (frutos/ha)	30 a 40 mil	20 a 24 mil	8 a 12 mil
Peso do fruto (g)	900	1200	1400
Peso médio albúmen sólido (Kg/ha)	250	400	350
Produtividade copra (kg/ha)	3 a 4 mil	4 a 5 mil	2 a 2,5 mil
Teor médio de óleo (%)	25,41	66,01	67,02
Produção de água (mL)	200 a 300	400 a 550	500 ou mais

Fonte: Adaptado de Brainer (2018)

Das variedades de coco, o mais utilizado para aplicações como leite de coco, coco ralado é o proveniente do coqueiro gigante que apresenta, pela tabela, maior peso de endocarpo sólido. O híbrido é utilizado tanto para aplicações do anão como do gigante (BRAINER, 2018).

Para fabricação de leite de coco utiliza-se o endosperma sólido (ou albúmen sólido), portanto o coco seco, que leva em média de 11 a 12 meses para atingir essa

maturidade, seria ideal, já que apresenta o endosperma sólido totalmente formado. O coco verde costuma se destinar ao mercado de água de coco e é colhido ainda imaturo, com 6 meses, quando se inicia a formação do albúmen sólido (MARTINS; JÚNIOR, 2014).

Tanto o coco verde como o coco seco podem ser obtidos durante todos os meses do ano, assim não existe uma estação climática definida para a colheita que é realizada normalmente em dois períodos de maturação, conforme sua finalidade ou mercado a que se destina (BRAINER, 2018).

2.1.3 Produção nacional de coco

Segundo Brainer (2018), em 2017, a área mundial dedicada à produção de coco-da-baía foi de cerca de 12 milhões de hectares, que resultaram em 61,1 milhões de toneladas. Os três maiores produtores de coco-da-baía são a Indonésia, a Filipinas e a Índia, que possuem o domínio de 72,6% da área e 72,8% da produção mundial. O Brasil é o quinto maior produtor, totalizando 2,34 milhões de toneladas, e possui a sexta maior área, que compõe 216 mil hectares do território nacional. O coco de babaçu, entretanto, segundo dados do IBGE de 2016, apresenta tendência de queda na produção, que pode ser observada pela produção de amêndoas naquele ano, que se resumiu a 60 mil toneladas, enquanto em outros anos se aproximava de 200 mil toneladas anuais (PORRO, 2019).

De 2010 a 2017, principalmente em 2012 devido às adversidades climáticas, o Brasil sofreu grande perda de coqueirais no Nordeste que é a maior produtora do Brasil, com 82,9% da área e 74% da produção nacional. Ainda assim, o Brasil continua com a sexta maior área mundial e além disso, dentre os maiores produtores mundiais, possui o maior rendimento (10.863 kg/ha), que se deve à tecnologia utilizada na cultura, como condução e manejos dos coqueirais e sistemas intensivos de cultivo (BRAINER, 2018).

Apesar de a produção no Nordeste ser muito maior, a produção de coco se estendeu para outras regiões conforme a Tabela 2. Um dos fatores é que o custo do frete do coco seco entre Nordeste e seus principais consumidores (Sudeste e Sul) é em média 35% a mais do que o preço pago ao produtor do coco. O preço do coco do produtor no Nordeste, o mais barato das regiões brasileiras, é em média R\$0,69 por fruto, enquanto no Sul, o coco mais caro, é R\$ 1,12. Segundo os dados do Sindcoco (2018), a área do

coqueiro Gigante ainda prevalece (57,9%) (BRAINER, 2018).

Tabela 2 – Estimativa de área e de produção, por tipo de coqueiro e por Região (2017)

País e Regiões	Área colhida (ha)			Produção (mil frutos)		
	Anão e Híbrido	Gigante	Total	Anão e Híbrido	Gigante	Total
Brasil	113.200	156.000	269.200	1.485.184	452.300	1.937.484
Norte	10.000	18.000	28.000	131.200	54.000	185.200
Nordeste	80.000	138.000	218.000	1.049.600	398.300	1.447.900
Sudeste	20.000	-	20.000	262.400	-	262.400
Sul	200	-	200	2.624	-	2.624
Centro-Oeste	3.000	-	3.000	39.360	-	39.360

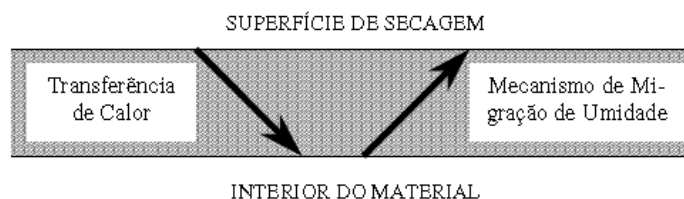
Fonte: Adaptado de Brainer (2018)

O coqueiro provém de exploração sustentável, assim, seus ganhos não são só econômicos, mas ambientais e sociais. Há avanços de técnicas de cultivo que permitem em regiões de agroecossistemas frágeis, como em regiões de Mata Atlântica, melhores condições de vida a pequenos produtores. Cerca de 90% da produção de coco do mundo provém de pequenos agricultores com áreas de até 5 hectares; no Brasil, 70% da produção em áreas de até 10 hectares. Os coqueiros gigantes encontram-se nesse tipo de propriedades, já que não necessitam alto nível tecnológico pela rusticidade e adaptabilidade às condições de fertilidade do solo que apresentam (MARTINS; JÚNIOR, 2014).

2.2 Secagem

A secagem é uma operação unitária que tem a finalidade de remover um líquido volátil de um corpo não volátil por meio da vaporização térmica. Dessa forma, o processo requer aplicação de calor sob condições controladas para evaporação da umidade do material. Assim, no processo de secagem, há tanto a transferência de energia (troca de calor), como transferência de massa caracterizada pelo movimento da água do interior do material à superfície para posterior evaporação da umidade, conforme esquematizado na Figura 3 (MUJUMDAR, 2006; PARK et al., 2007).

Figura 3 – Diagrama do processo de secagem



Fonte: Park et al. (2007)

Na secagem de alimentos, o líquido removido é a água. Quando essa água é removida de forma eficiente e em níveis seguros para determinado alimento, pode aumentar a vida de prateleira do produto seco (CELESTINO, 2010).

Para realização do processo de secagem, devem ser considerados inúmeros fatores que implicam um processo de qualidade. Esses fatores incluem escolha de secador, propriedades do material a ser seco (conteúdo de umidade, composição química, entre outras) e propriedades do ar de secagem (KEEY, 1972; MARCINCOWSKI, 2006).

2.2.1 Métodos de secagem

A secagem pode ser realizada por três principais meios: condução, convecção e radiação. A secagem por convecção é a mais comum e pode ser natural ou forçada e o calor sensível é transferido para o material a ser seco pela passagem de fluxo de ar aquecido. Na condução, a troca de calor ocorre por contato direto com a superfície e na radiação, em que a energia é emitida para a matéria (MUJUMDAR, 2006; ALVES, 2014).

No método de secagem por convecção, o ar pré-aquecido passa sobre a superfície do material e evapora a água contida e a transporta para fora do secador. Um exemplo de secador que utiliza esse método é o *spray dryer*. As vantagens da técnica são o tempo curto de processo e as temperaturas relativamente baixas utilizadas (ENGEL et al., 2017).

A condução refere-se a um mecanismo de transporte de energia devido a um gradiente de temperatura e é realizada pelo contato de uma superfície aquecida com material a ser seco, como bandejas, placas e cilindros. A técnica é indicada para materiais finos ou muito úmidos (INCROPERA et al., 2008; PARK et al., 2007). Um exemplo da utilização desse método está na secagem de manga em *cast-tape* (processo

de secagem condutivo, em que uma fina camada do alimento pastoso é espalhada sobre um suporte flexível), que segundo Zotarelli (2017), possui vantagens em relação ao *spray dryer*, pois o pó pode ser produzido de toda a polpa da fruta, preservando suas fibras e sem adição de maltodextrina. Entretanto, o método não é indicado para secagem de leite, por exemplo, já que possui um alto teor de gordura e segundo Santana et al. (2016), causa adesão das partículas à superfície de secagem.

A radiação é emitida através de fontes eletromagnéticas. Como a penetração da radiação infravermelha é geralmente baixa, esse método tem ampla utilização para secagem de filmes, pinturas e cobertura. (PARK et al., 2007)

Outros métodos são a secagem dielétrica e a secagem por liofilização. O primeiro método decorre da alta frequência em que o material é exposto em um campo eletromagnético. Com a fricção molecular, energia é gerada e o calor é produzido nas partes úmidas do material, devido à constante dielétrica da água ser maior do que de materiais sólidos. A liofilização é uma técnica em que a água congelada é sublimada e se condensa em placas refrigeradas distante do material seco. Usada em geral quando o material não pode ser aquecido. Para desidratar alimentos é a técnica menos danosa, porém é uma das mais caras (PARK et al., 2007).

2.2.2 Fluxo de calor

Em uma operação de secagem, existem alguns modos do material se mover em relação ao ar de secagem. Esses modos são classificados como: ciclo co-corrente ou escoamento paralelo, escoamento contracorrente, ciclo perpendicular (ou concorrente) e ciclo misto (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006).

No escoamento paralelo, o material e o ar de secagem possuem o mesmo sentido de corrente, dentro do equipamento. Já no escoamento contracorrente, a direção é paralela e os sentidos são opostos. No concorrente, o escoamento é do ar e do material ocorrem perpendicularmente, de forma cruzada. No ciclo misto, o material altera seu sentido devido ao arraste do ar (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006; TORRES, 2006).

A direção do fluxo de calor e sólidos é um dos fatores a se considerar na escolha do secador adequado ao processo. Além disso, outros fatores a serem avaliados para essa decisão são o tipo do fluxo do material (estacionário, transiente), formato do material úmido (líquido, granular), método de operação do secador (batelada, contínuo), dentre

outros fatores (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

2.3 A água nos alimentos

A composição dos alimentos e seu teor de umidade são aspectos que influenciam na migração de água dos alimentos para o meio ambiente, assim como fatores como externos, como as propriedades do ar de secagem. Esses elementos afetam tanto a transferência de massa como de calor, que podem repercutir nas características da massa seca (PARK et al., 2006).

Os alimentos são compostos majoritariamente por água, podendo representar 90% da composição do produto. A quantidade de água é o que pode causar reações de degradação que alteram suas características químicas, físicas, microbiológicas e organolépticas. Sendo assim, conhecer sua forma em um produto é fundamental. Sua presença nos alimentos se assume nas formas de água livre e de água ligada que juntas constituem o conteúdo de água do produto em relação à sua massa seca (FENNEMA, 2000). Segundo Santana (2013), a umidade de um alimento se relaciona com sua estabilidade, podendo impactar estocagem e o processamento.

A água livre apresenta as moléculas de água fracamente ligadas aos solutos e está disponível para as reações químicas, físicas e microbiológicas, enquanto a água ligada exibe mobilidade restringida, já que é a água adsorvida ao material e assim, está quimicamente presa ao alimento (FENNEMA, 2000).

A água ligada apresenta baixa pressão, alta energia de ligação e não está disponível como solvente. Para remoção de parte dela, são necessárias altas temperaturas; enquanto a água livre é de fácil remoção em temperaturas nos processos de desidratação. A água livre está ligada à estabilidade do alimento, pois é a água disponível para reações, ou seja, a quantidade de umidade que pode ser removida de um sólido. A diferença entre água livre e ligada pode ser medida em função da pressão de vapor. A água ligada exerce, no alimento, uma pressão de vapor menor do que a água líquida exerceria a mesma temperatura, enquanto a água livre, pressão de vapor total (MARCINKOWSKI, 2006).

O teor de umidade pode ser expresso em base seca (X_{bs}) e em base úmida (X_{bu}). Esses valores são representados em porcentagem (%) e obtidos experimentalmente para posteriormente serem calculados de acordo com as Equações 1 e 2 (ALVES, 2014).

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_s}{m_s} = \frac{m_{\text{água}}}{m_s} \quad (1)$$

$$X_{bu} = \frac{m_i - m_s}{m_i} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{água}} + m_s} \quad (2)$$

Em que m_i representa a massa total inicial da amostra antes do processo (massa do sólido úmido), m_s , a amostra depois da secagem (massa do sólido seco) e $m_{\text{água}}$, massa da água.

2.3.1 Atividade de água

O conteúdo de água presente em um alimento não reflete ao total de água disponível para a realização de reações químicas e bioquímicas. A atividade de água indica essa disponibilidade. A medida padrão, nas condições normais de pressão e temperatura, da atividade de água varia de 0 a 1. Assim, em alimentos, será menor devido aos sólidos que possam estar ligados à parte da água total (ALVES, 2014).

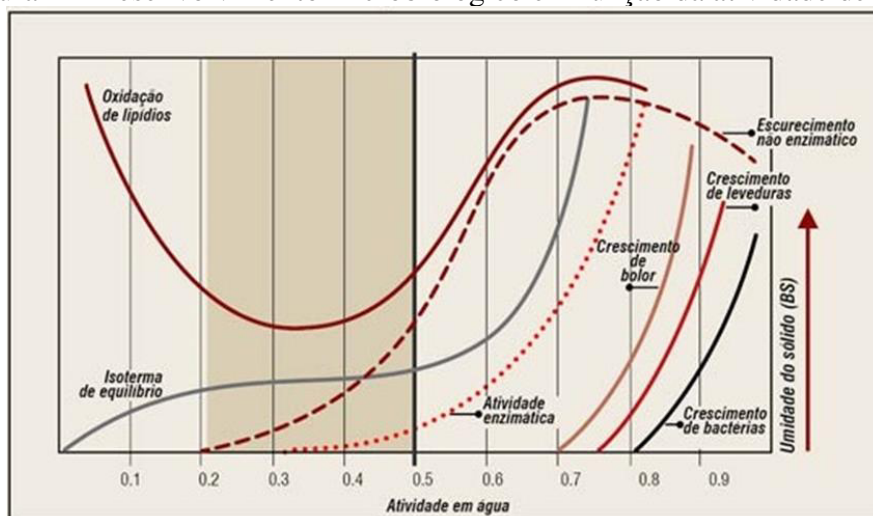
A atividade de água (a_w) pode ser expressa pela relação entre pressão parcial de vapor de água na superfície do alimento (p_w) e a pressão de vapor parcial da água pura (p_v), conforme a Equação 3.

$$a_w = \frac{p_w}{p_v} \quad (3)$$

Em que p_w é a pressão de vapor de água em equilíbrio com o alimento e p_v , a pressão de vapor de água pura.

A Figura 4 representa o desenvolvimento microbiológico em função da atividade de água.

Figura 4 – Desenvolvimento microbiológico em função da atividade de água



Fonte: Adaptado de Fennema (2000)

Nota-se que nos alimentos de atividade de água elevada ($a_w > 0,9$), as reações químicas e biológicas ocorrem em alta intensidade, já que um meio com mais água livre é propenso para o crescimento de bolor e leveduras, por exemplo. Em atividades entre 0,4 e 0,8, as reações químicas se aceleram, devido ao aumento de substrato. Atingindo valores entre 0,6 e 0,7, a atividade microbiológica é praticamente inexistente e para atividades de água menores do que 0,3, a região de oxidação de lipídeos é atingida (FENNEMA, 2000).

2.4 Spray Dryer

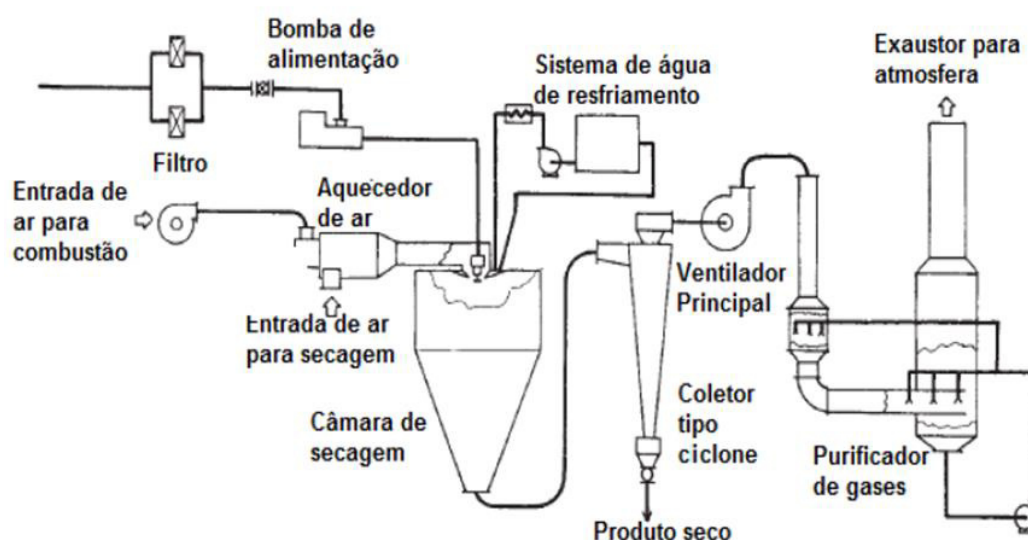
O processo de secagem por nebulização ou por *spray dryer* consiste na dispersão das partículas de um fluido em forma de gotículas em uma câmara com temperatura e vazão controladas, ao circular uma corrente de ar quente por convecção através do atomizador, transformando o fluido em produto seco (MASTERS, 1976). As pequenas gotículas formadas, com grande área superficial geram uma evaporação eficiente da água, apesar de em alguns casos a temperatura ser elevada para alimento (acima de 70 °C), ocorre rapidamente, causando menor prejuízo ao produto em pó formado. O calor latente de vaporização das gotas é suprido uma vez que ocorre o contato com uma quantidade suficiente de gás (geralmente ar quente) (LAND, 2012).

O *spray dryer*, por apresentar ampla eficiência de processo, evitar degradação dos materiais e não apresentar custos elevados (comparado a outras técnicas, como

secagem a vácuo e liofilização), conquistou larga participação nas indústrias, como farmacêutica e alimentícia. Outras de suas vantagens atrativas à produção de micropartículas são a versatilidade (aplicação tanto em escala industrial, como laboratorial), altas taxas de produção e uma operação simples (PEREIRA et al., 2018).

O equipamento de *spray dryer* exibe a seguinte constituição: um sistema de vazão e controle de alimentação do material a ser seco, um sistema de atomização (rotativa ou por bocal), sistema de aquecimento e controle do ar de secagem, uma câmara de secagem (em que ocorre a mistura *spray*-ar (fluxo de ar) e evapora a umidade) e um sistema que separa ar do pó seco (coletor). O processo de secagem se inicia quando o ar de secagem é enviado ao aquecedor de ar (muitas vezes por meio de bomba de calor) e posteriormente para a câmara de secagem, enquanto o fluido é conduzido ao disco rotativo ou ao bico aspersor para ser atomizado. O ar quente entra em contato com o fluido já atomizado, na câmara de secagem, removendo sua umidade. O produto seco, depositado no fundo da câmara, é retirado por coletor tipo ciclone; já o ar, após passar por um purificador, pode ser liberado para a atmosfera (MUJUMBAR, 2006). A Figura 5 representa o equipamento de secagem.

Figura 5 – Esquema de um secador do tipo *spray dryer*



Fonte: Adaptado de Munjumbar(2006)

As características do produto seco dependem de alguns fatores relacionados às propriedades físico-químicas do fluido, o tipo de atomizador e as condições do processo, como temperatura do ar de secagem e alimentação (PIGNATA, 2016). O

Quadro 1 sintetiza as principais variáveis.

Quadro 1 – Influência das Variáveis no *Spray Dryer*

Variável	Influência
Concentração do fluido	Maior concentração reduz o calor requerido pelo <i>spray dryer</i> e forma partículas grandes
Vazão de alimentação	Vazão alta produz partículas grandes
Densidade	Seu efeito varia inversamente ao tamanho da partícula
Viscosidade	O tamanho da gota varia diretamente com a viscosidade da alimentação
Temperatura do fluido	Aumento da temperatura de entrada diminui o consumo de calor requerido pelo secador
Vazão do ar de secagem	Vazão alta, baixo tempo na câmara, consequentemente, alta umidade residual
Temperatura do ar de secagem	Aumento da temperatura provoca a diminuição da densidade do produto

Fonte: Adaptado de Masters (1985)

Segundo Silveira al. (2013), as funções básicas da atomização são promover uma evaporação eficiente e gerar partículas com as propriedades desejadas, como tamanho, densidade, formato e teor de umidade.

2.4.1 *Spray Dryer* na Indústria de Alimentos

Na indústria de alimentos espera-se obter partículas com boa qualidade, baixa atividade de água para evitar reações microbiológicas indesejáveis e prolongar o armazenamento e conservação. Os benefícios da secagem em comparação a outras técnicas de conservação são a preservação dos nutrientes, da cor e do sabor do alimento (PEREIRA et al., 2018).

Visto que o *spray dryer* propicia essas características, suas aplicações são extensas. Está presente nas áreas de secagem de cereais, plantas, frutas, extratos de frutas, lácteos, ovos e café (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006).

Alguns estudos confirmam a eficiência do método. De acordo com Teijeiro et al. (2018), o *spray dryer* é apontado como eficiente método de secagem do *kefir* (tipo de cogumelo), já que apresentou longa duração no armazenamento do produto, apresentando estabilidade por, pelo menos, 60 dias. Segundo Marques et al. (2014), mesmo que o processo de secagem tenha demonstrado médio rendimento, a coloração do material seco resultou no mesmo amarelo do milho no início do processo.

Segundo Zotarelli et al. (2017), apesar de o processo de secagem de *cast-tape* ter sido mais eficiente para a secagem de manga, o *spray dryer* apresentou bom rendimento com a adição do agente carreador maltodextrina e o produto final obtido é o pó, não necessitando moagem como no *cast-tape*. Assim como no processo de secagem da manga, a coloração da matéria seca se apresentou vantajosa no *spraydryer* em detrimento do *cast-tape*, de acordo com Durigon et al. (2016), na secagem do tomate, o resultado se assemelhou.

2.4.2 Agentes carreadores

Para uma secagem eficiente, são adicionados os agentes carreadores ou agentes de transporte, ou também chamados, materiais de parede. Eles possuem a função de reduzir a higroscopicidade e a adesividade do material a ser seco e evitar a aglomeração de partículas, que é um dos fatores limitantes da secagem por *spray dryer*. Portanto, facilitam a secagem do alimento (CARVALHO, 2010).

Um dos principais problemas na secagem de alimentos é a aderência de gotículas maiores ou de aglomerados na parede da câmara de secagem antes da finalização do processo, formando depósitos no secador e um material diferente do desejado no que diz respeito, principalmente, ao teor de umidade (TRIBOLI et al., 2014).

Para minimizar esse depósito de produto no equipamento, o agente carreador é adicionado no processo de secagem. Em geral, esses agentes são carboidratos de alto peso molecular que reduzem a higroscopicidade do material (ENGEL et al., 2017).

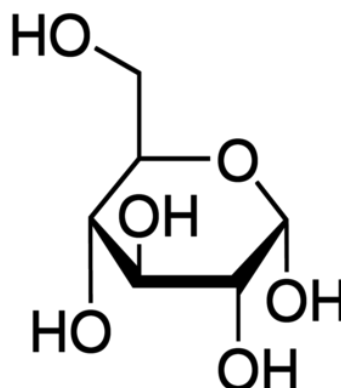
Para a escolha do agente de transporte alguns critérios podem ser levados em consideração, como as propriedades físicas do material a ser seco (solubilidade), as propriedades do material de parede (viscosidade, temperatura de transição vítrea, estabilidade) e fatores como a interação entre os materiais e o controle deles no processo. O material ideal apresenta baixa higroscopicidade, evitando aglomeração, além de características relevantes para proteção do agente ativo, liberando o solvente da cápsula, selando e não reagindo com o material a ser seco. Um agente carreador protege o material de condições adversas, como pH, luz, oxigênio, dentre outras (PEREIRA et al., 2018)

O material de parede age por microencapsulação, que consiste em uma técnica que promove uma barreira física entre o encapsulado e componentes externos. A

substância ativa é incluída em uma matriz sólida que forma uma microesfera. Proporciona proteção contra intempéries, inibe reações com o meio, evitando contaminação (ROSA; TSUKADA; FREITAS, 2006).

Um exemplo de agente carreador muito utilizado na secagem de alimentos é o carboidrato maltodextrina. São originadas da hidrólise do amido, apresentam baixo teor de dextrose equivalente (DE) (menores do que 20), baixa umidade, alta solubilidade (inclusive em água fria) e baixa viscosidade (SILVA, 2012). Geralmente, as maltodextrinas são descritas pelo índice de DE, que a medida de α -D-glicose anidro, que é inversamente proporcional ao grau de polimerização (DP), sendo que $DE = 100/DP$. O DE e o DP variam de acordo com o grau de hidrólise. A maltodextrina, como agente carreador, possui algumas vantagens, como baixo dulçor e sabor neutro. A Figura 6 mostra a fórmula molecular da dextrose equivalente, unidade que pode se repetir até vinte vezes para a formação da maltodextrina.

Figura 6 – Dextrose Equivalente



Fonte: Merck (2019)

2.4.3 *Spray Dryer* na secagem de leite de coco

Na pesquisa bibliográfica realizada, notou-se que em praticamente todas as formulações, utiliza-se um agente carreador também chamado de material de parede, que auxilia na secagem do leite de coco. Na maioria dos estudos utilizou-se maltodextrina nessa função, com DE (porcentagem de dextrose equivalente) diferente em cada estudo. Segundo Matsuura et al. (2015), a maltodextrina com 10 DE resulta em uma emulsão reconstituída do pó seco com menor estabilidade do que as de DE igual a

2 e a 25. Segundo Santana (2013), o aumento do DE promove aumento na solubilidade, na higroscopicidade, no escurecimento não enzimático e a diminuição da viscosidade. O rendimento encontrado foi entre 20,33 e 30,19%.

Segundo Naik et al. (2014), o leite de coco em pó obtido pela secagem em *spray dryer* apresenta uma coloração que tende para o amarelo.

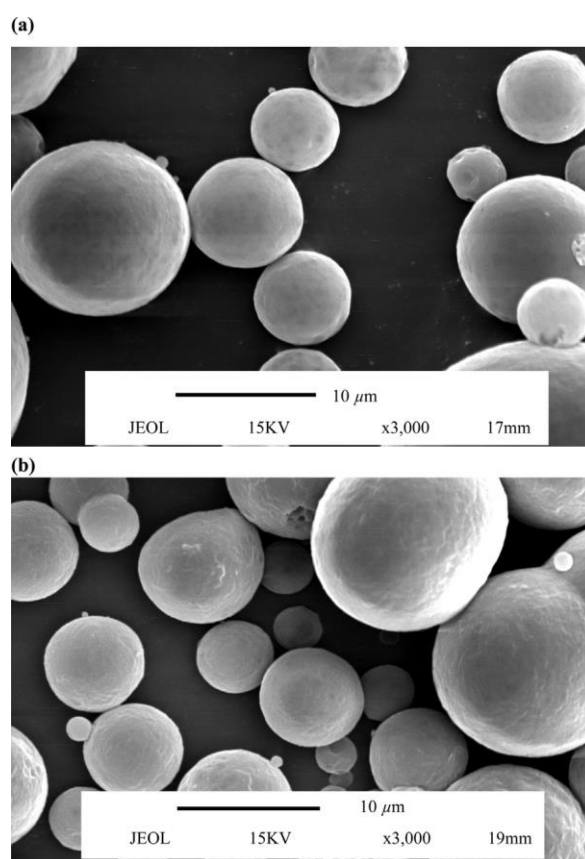
Segundo Hee et al. (2015), maltodextrina (MD) é amplamente utilizada devido a seu baixo custo, alta estabilidade oxidativa e sabor e aroma neutros. Nesse estudo, adicionou-se à maltodextrina 10 DE, o caseinato de sódio (CS), para aumentar a capacidade emulsificante, a estabilidade da emulsão e a retenção do material na cápsula. Foram testados quatro tipos de agentes carreadores, todos com a composição citada, sendo que no primeiro nada foi adicionado e nos outros, goma arábica (GA), gelatina (G), *whey protein concentrate* (WPC). As condições iniciais foram: vazão de alimentação de 10 mL/min, taxa de secagem de 0,35 m³/h, pressão do ar de compressão de 5 bar, temperatura de entrada de $180 \pm 5^\circ \text{C}$ e de saída de $80 \pm 5^\circ \text{C}$. O tamanho médio de partículas variou bastante considerando-se os diferentes agentes carreadores, isto é, $77,30 \pm 48,60 \mu\text{m}$ para a mistura com goma arábica e $229,70 \pm 159,60 \mu\text{m}$ para o agente carreador que continha somente maltodextrina e caseinato de sódio.

Quanto ao teor de umidade, o material de parede sem aditivos apresentou o menor valor, $2,35 \pm 0,287\%$ e o maior valor de densidade aparente, 0,29 g/cm³, aproximadamente. Uma densidade aparente maior apresenta a vantagem de ser mais compacta e ocupar menos espaço, além de conter menos ar obstruído, que diminui a possibilidade de degradação oxidativa. Apresentou boa estabilidade no que se refere a separação de fases, em que as emulsões foram armazenadas durante um dia em condições ambientes. Quanto à eficiência de encapsulamento, a mistura que obteve melhor resultado foi de maltodextrina com caseinato de sódio, de 80,51%, medida pelo total de partículas encapsuladas sobre o total de encapsulante na solução (HEE et al., 2015).

Em Hee et al. (2017), usou-se maltodextrina 10DE (a 13%) como material de parede e dióxido de carbono supercrítico como solvente. A eficiência de encapsulamento ficou entre 72,9% e 80,5%, ao variarem-se a pressão, a taxa de alimentação (além de sua temperatura e pressão). Isso refletiu na morfologia das partículas. Tanto as partículas resultantes do melhor como do pior encapsulamento são esféricas e bem dispersas. No entanto, a superfície das partículas com 80,5% de

eficiência são lisas e não apresentam rachaduras ou fissuras, enquanto a de 72,9%, apresentou superfícies enrugadas e algumas partículas porosas. Essa comparação pode ser observada na Figura 7, que mostra a imagem obtida do MEV. No geral, suas maiores eficiências de encapsulamento foram à temperatura de 40° C.

Figura 7 – Morfologia das partículas de leite de coco nas seguintes condições: (a) 16 MPa, 40 °C e 3 mL/min de taxa de alimentação (27 °C e 6 MPa) (b) 12 MPa, 50 °C e 4 mL/min de taxa de alimentação (27 °C e 12 MPa).

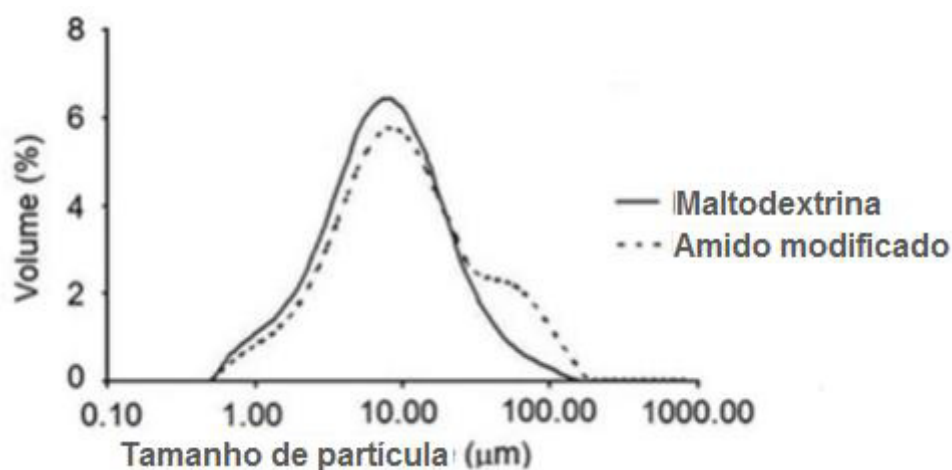


Fonte: Hee et al. (2017)

Em Santana et al. (2016), os fatores que influenciaram foram o tipo de agente carreador (maltodextrina 10 DE e amido modificado), a concentração desses agentes (21,5% a 25%) e a temperatura do ar de entrada (de 177° C a 195° C). As temperaturas favoráveis para o processo de secagem do leite de coco foram 188 °C com maltodextrina como agente carreador, enquanto com a utilização de amido modificado, 170 °C. O resultado foi um diâmetro médio de partículas de $11,18 \pm 0,3$ e $17,77 \pm 0,2$

μm , para maltodextrina e amido modificado, respectivamente. A Figura 8 mostra a distribuição de partículas, em que é visível a uniformidade que a maltodextrina exibe. Um tamanho menor de partícula acarreta uma superfície de contato maior, causando grande afinidade com a umidade. Quanto à morfologia, o ideal é uma esfera lisa para boa retenção. Após a medição no MEV, observaram-se partículas não homogêneas. O resultado por micrografia demonstrou que não houve fissuras, trincas superficiais ou colapsos, apesar dos formatos irregulares.

Figura 8 – Distribuição de partículas do coco de babaçu utilizando dois tipos de materiais de parede: maltodextrina e amido modificado



Fonte: Adaptado de Santana et al. (2016)

A umidade variou tanto com a temperatura de entrada da alimentação como com a concentração de agente carreador, os valores foram de 0,43 a 2,19% para maltodextrina e 1,01 a 2,06% para amido modificado, enquanto a atividade de água alterou com a temperatura numa média de 0,11% para os dois materiais de parede. As densidades aparente e absoluta, também altamente dependentes do tamanho das partículas, foram, respectivamente, $0,43 \pm 0,003 \text{ g/mL}$ e $1,25 \pm 0,01 \text{ g/mL}$ para maltodextrina e $0,39 \pm 0,003 \text{ g/mL}$ e $1,22 \pm 0,01 \text{ g/mL}$ para amido modificado. O rendimento para o leite de coco seco com amido modificado foi da faixa de 25,9 a 47,7%, enquanto aquele em que foi adicionada maltodextrina apresentou um rendimento entre 26,7 a 34,7%, mas uma reconstituição melhor de propriedades quando dissolvido (SANTANA et al., 2016).

Já no estudo de otimização do *spray dryer* para obtenção de leite de coco de

Lucas-Aguirre (2018b), as variáveis de entrada do processo utilizadas para medição de resultados foram a concentração do agente carreador maltodextrina de DE não especificado (de 5% a 15%), a temperatura do ar de entrada na câmara de secagem (de 150° C a 170° C), do ar de saída (de 80° C a 90° C), pressão de vácuo na câmara (1.00 a 1.88 cmH₂O) e a frequência de rotação do atomizador, que variou de 24.000 a 28.000 RPM. Os resultados foram medidos, primeiramente, após 36 dias de armazenamento, assim, foram encontradas as condições ideais do processo, obtiveram-se os seguintes resultados: atividade de água de $0,17 \pm 0,02\%$, teor de umidade $1,7 \pm 0,2\%$, em que a maior parte das partículas possuía um diâmetro de $78,2 \pm 24,3 \mu\text{m}$. Quanto aos aspectos de cor medidos, as partículas apresentaram diferenças estatísticas influenciadas pelas interações entre as variáveis independentes. No entanto, são imperceptíveis para o olho humano, parecendo monocromáticas.

Um resumo das condições de processo utilizadas e dos parâmetros resultantes podem ser encontrados na Tabela 3 das variáveis dependentes, incluindo diâmetro de partículas ($D[4,3]$), teor de umidade (X), atividade de água (a_w), densidade aparente (ρ_{ap}) e densidade absoluta (ρ_{abs}).

Tabela 3 – Comparação entre artigos de secagem de leite de coco

	Variáveis independentes				Variáveis dependentes				
	Tipo de agente carreador	Vazão de alimentação	Temperatura de entrada do ar	Concentração de agente carreador	a_w	X	$D[4,3]$	ρ_{abs}	ρ_{ap}
Santana et al., 2018	MD 10 DE	0,2 kg/h	177 a 195° C	0,43 -2,19%	0,11 ± 0,01%	0,62 ± 0,01%	11,18 ± 0,3 μm	1,25 ± 0,01 g/mL	0,43 ± 0,003 g/mL
	Amido modificado			1,01-2,06%	0,12 ± 0,01%	1,62 ± 0,01%	17,77 ± 0,2 μm	1,22 ± 0,01 g/mL	0,39 ± 0,003 g/mL
Lucas-Aguirre, 2018b	Maltodextrina	-	150 a 170 °C	5-15%	0,17 ± 0,02%	1,7 ± 0,2%	78,2 ± 24,3 μm	-	-
Hee,2015	MD:CS	10 mL/min (0,6 L/h)	180 ± 5° C	aprox. 18%	-	2,35 ± 0,287%	229,70 ± 159,60 μm	-	0,29 ± 0,019 g/cm ³
	MD:CS:GA				-	2,85 ± 0,423%	77,30 ± 48,60 μm	-	0,24 ± 0,015 g/cm ³
	MD:CS:G				-	2,66 ± 0,2017%	155,30 ± 81,40 μm	-	0,23 ± 0,026 g/cm ³
	MD:CS:WPC				-	2,54 ± 0,445%	168,10 ± 81,10 μm	-	0,25 ± 0,030 g/cm ³
Hee et al., 2017	MD:CS	3-5 mL/min	40-60%	17,40%	-	2,9 - 4,1%	39,5 - 72,10 μm	-	0,29 - 0,32 g/cm ³
Aduja Naik et al., 2014	-	30 mL/min	150 ± 2° C	0	-	17,96 - 1,34%	-	-	-
	MD 25 DE				-	2,0 - 0,04%	38 ± 4 μm	-	-
Matsuura et al., 2015	MD 10 DE	30 mL/min	150 °C	27,50%	-	1,7 - 0,05%	38 ± 3 μm	-	-
	MD 2 DE				-	1,8 - 0,04%	42 ± 2 μm	-	-
Santana et al., 2013	Goma arábica	0,2 kg/h	170 a 220 °C	10 - 20%	0,14 - 0,58%	0,52 - 2,39%	10,7 ± 0,2 μm	1,16 ± 0,01 g/mL	0,39 ± 0,003 g/mL

Fonte: Própria Autora

Nota-se que o teor de umidade é muito maior quando não há material de parede, que por serem higroscópicos, absorvem a água. Não há grandes variações da atividade de água (que permaneceram com valores baixos) nem das densidades. Entretanto, o tamanho das partículas é afetado por diversas características e pela tabela, observa-se que as partículas do leite de coco de babaçu são consideravelmente menores do que as do coco-da-baía. Outro ponto que é possível inferir a partir da tabela é a relação entre a densidade aparente e o tamanho de partícula, em que quando este é menor, aquele é maior e vice-versa.

A distribuição do tamanho de partículas pode ser influenciada pelo tipo de agente carreador e suas propriedades, além de sua concentração, por exemplo insuficiente para encapsular as partículas; já a coloração varia tanto com a temperatura como com o tipo de agente carreador. A atividade de água depende do agente carreador e da temperatura, assim como a umidade, que é influenciada também pelo tamanho de partícula (SANTANA, 2013).

3 METODOLOGIA

Para a metodologia, adotaram-se as etapas descritas em Gill (2002). O método de pesquisa utilizado para foi a Pesquisa Bibliográfica, que é determinado pela busca de diversificadas fontes para obtenção de um conteúdo e contém as seguintes etapas: escolha do tema, levantamento bibliográfico preliminar, formulação do problema, elaboração do plano provisório de assunto, busca de fontes, leitura do material, organização lógica do assunto e redação do tema.

Para uma escolha efetiva do tema, o tema deve despertar o interesse do aluno, que deve prover das ferramentas e do conhecimento necessário para execução. Quanto ao levantamento bibliográfico preliminar, implica um estudo exploratório do tema a fim de gerar familiaridade com o tema. Para a formulação do problema, deve-se levar alguns aspectos em consideração: como a relevância do tema, a disponibilidade de materiais bibliográficos, dentre outros. A elaboração do plano provisório consiste na organização sistemática das frentes que compõem o assunto a ser tratado.

Ao iniciar a busca de fontes, Gill (2002) frisa a importância do orientador nesse momento e aponta as seguintes fontes bibliográficas para realização da pesquisa: livros de leitura corrente, obras de referência, periódicos científicos, teses e dissertações, anais de encontros científicos, dentre outros. No presente trabalho, as fontes foram localizadas por meio virtual em banco de periódicos, teses, monografias e dissertações, como o CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e o ScienceDirect., além de livros.

A leitura de o material objetiva identificar informações e dados do material, estabelecer conexões com o problema proposto e analisar a consistência das informações apresentadas pelos autores. A leitura foi segmentada em quatro tipos: exploratória, que é o reconhecimento dos materiais; seletiva, em que foram decididos os materiais relevantes para o tema; analítica, definida com a etapa de leitura integral das fontes; interpretativa, que é a leitura que relaciona as informações e busca os significados mais amplos.

Para este Trabalho, ainda, executou-se uma pesquisa de mercado que consistiu em visitar mercados regionais e colher dados de formulação, posicionamento e preços de marcas de leite de coco em pó e refinar a busca utilizando a ferramenta Google Shop para posteriormente, tabelar os dados encontrados e obter-se um panorama geral do

mercado do produto.

A etapa final deste Trabalho foi a elaboração de uma proposta de metodologia para obtenção do leite de coco em pó, bem como a análise de algumas propriedades do produto, a fim de reproduzir e estudar esse produto na Escola de Engenharia de Lorena. Para a realização dessa proposta, compararam-se diferentes artigos sobre a utilização de *spray dryer* para secagem de leite de coco e considerou-se as condições apresentadas no manual do equipamento que será utilizado: o *Mini-Spray-Dryer* LM MSD 0.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Pesquisa de mercado

Em maio de 2019, foi realizada uma pesquisa de marcas pelo Google Shop, visando conferir os rótulos para saber as composições e quais opções o mercado oferece e o processo de produção e de secagem utilizados atualmente nas empresas.

Foram contatadas as empresas Puravida, Copra, Monama e Qualicôco. As duas primeiras não retornaram o contato, já as outras duas informaram que a matéria prima é importada já seca para o Brasil. Além das indústrias citadas, o leite de coco em pó foi encontrado a granel no Empório Macadâmia de Lorena (que não apresenta a formulação em sua embalagem) e na Zona Cerealista de São Paulo.

Encontraram-se algumas marcas e poucas diferenças nas formulações. Em sua maioria, a composição é dada por leite de coco e maltodextrina. O Quadro 2 considera algumas marcas do mercado e seus ingredientes contidos nos rótulos.

Quadro 2 – Ingredientes nos Leites de Coco em Pó do Mercado

Marca	Ingredientes
Copra	Leite de Coco
	Maltodextrina
Monama	Leite de Coco Desidratado
	Maltodextrina
Mundo Verde	Leite de Coco Desidratado a baixa temperatura
	Maltodextrina
Oner	Goma arábica
	Leite de Coco em Pó
	Tapioca
Puravida	Leite de Coco em Pó
	Pó de Tapioca
QualiCôco	Caseinato de sódio
	Dióxido de Silício
	Leite de Coco
	Maltodextrina
Empório Macadâmia	-
Zona Cerealista de São Paulo	Maltodextrina
	Carne branca de coco
	Aroma natural de coco
	Emulsificante E 469
	Agente anti-aglomerante E 551
	Agente antioxidante INS 220

Fonte: Própria autora

Há uma variação na massa da embalagem, mas a maioria das marcas encontradas em mercado exibe em torno de 100 a 200 g.

Visto que o leite de coco não é de origem animal e é hipoalergênico, algumas empresas utilizam essas premissas para se colocarem no mercado. São os posicionamentos ou os *claims*. Em todas as marcas citadas no Quadro 2 apareceram os *claims* “Sem Glutén”, “Alergênicos (Baixo teor/Sem/Reduzido)” e na maioria “Sem Lactose”, “Sem Aditivos/Conservantes” e “Sem ingredientes de origem animal”.

Os preços variam de acordo com os pesos líquidos e com as marcas. O Quadro 3 apresenta os preços e as respectivas embalagens. Nota-se que os preços do produto a granel são menores do que a maioria das marcas comerciais.

Quadro 3 – Preços das marcas de leite de coco em pó

Marca	Embalagem	Preço
Copra	200 g	R\$ 29,00
Monama	180 g	R\$ 28,64
Mundo Verde	200 g	R\$ 41,90
Oner	150 g	R\$ 48,99
Puravida	250 g	R\$ 59,90
QualiCôco	100 g	R\$ 12,90 - R\$ 15,90
Empório Macadâmia	100 g	R\$ 12,00
Zona Cerealista de São Paulo	100 g	R\$ 8,99

Fonte: Própria autora

Considerando-se que a formulação proposta em itens subsequentes deste Trabalho (composta por polpa de coco seco, água e maltodextrina) é semelhante às formulações apresentadas no mercado, conclui-se pelas tabelas a vantagem financeira de se produzir o leite de coco em pó. O preço médio do coco seco, em mercados e feiras, variou entre R\$ 3,49 e R\$ 5,30. Como citado no item 2.1.1, segundo Patil e Benjakul (2018), a copra (utilizada para obtenção do leite de coco) compõe 28% do coco seco. O peso médio da variedade gigante é 1,4 kg, segundo a Tabela 1, ou seja, 392g de copra por coco. Assim, considerando um rendimento de 31%, segundo Lucas-Aguirre (2018a), obtém-se 121,5 g de leite de coco em pó. Ou seja, uma produção maior, por um valor cerca de 4 vezes menor do que o leite de coco em pó a granel, se considerar um resíduo para o valor de maltodextrina, que na Zona Cerealista de São Paulo apresenta o preço de R\$ 6,99 a quantidade de 500 g.

4.2 Escolha do coco

Para o presente trabalho, escolheu-se o coco proveniente de coqueiro, cuja espécie é *Cocos nucifera*, devido à alta produção nacional e a facilidade de adquiri-lo em relação ao coco de babaçu, observando os resultados obtidos por Brainer (2018) e por Porro (2019). Dentre os tipos de coco-da-baía, indica-se a utilização do tipo gigante que mesmo que apresente menor rendimento de copra, é indicado para a aplicação devido à maior quantidade de endosperma sólido, como pode ser observado na Tabela 1. Além disso, outra vantagem dos coqueiros gigantes é que podem ser encontrados em propriedades menores, já que não necessitam alto nível tecnológico se adaptam às condições de fertilidade do solo que apresentam, como citado por Martins e Júnior (2014).

É possível inferir, de acordo com Pinho e Souza (2018), que é possível a obtenção da espécie de coco no município de Cruzeiro-SP. Visto que inicialmente, o propósito é desenvolver as melhores condições de processo para o *spray dryer*, optou-se por um tipo de coco cuja disponibilidade é alta e cujo número de estudos é considerável. Dessa forma, indica-se utilizar o coco seco proveniente da palmeira *Cocos nucifera*, ou seja, o coco-da-baía, da variedade gigante.

4.3 Manuseio da matéria prima e preparação da solução a ser seca

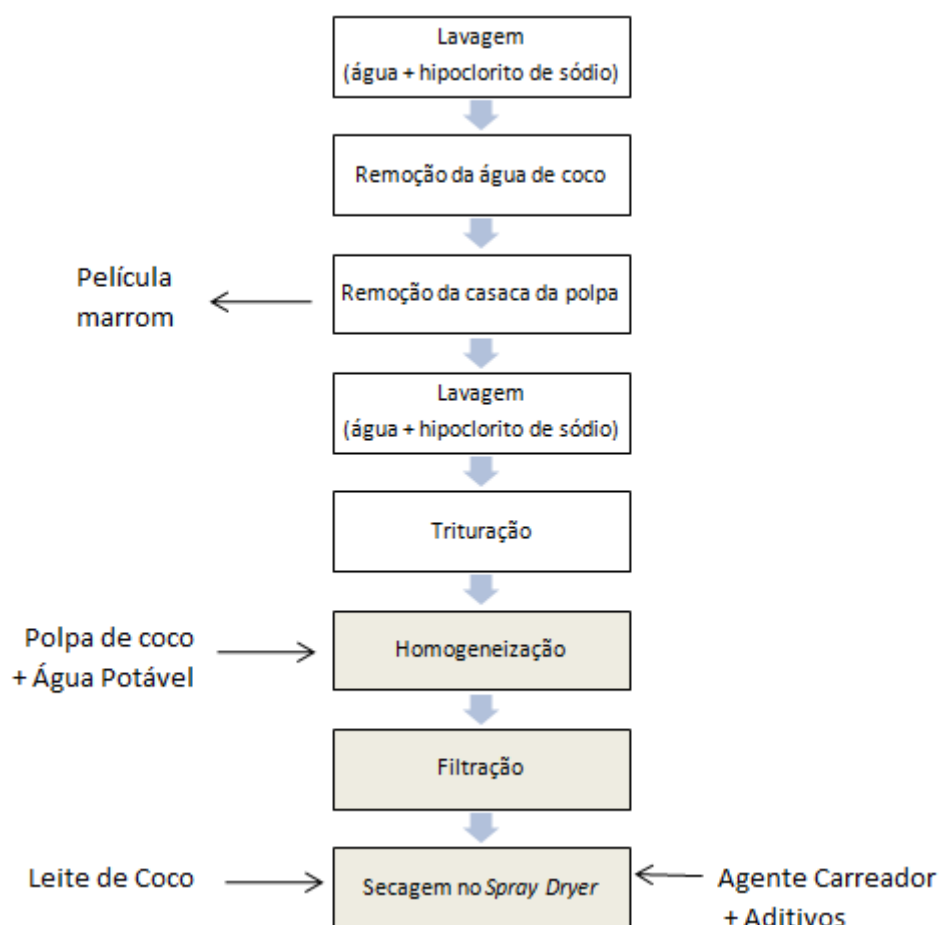
O coco-da-baía do coqueiro de espécie *Cocos nucifera* deve ser utilizado maduro, ou seja, colhido com aproximadamente 12 meses, em que a copra já está formada e, geralmente, quando seu tempo de pós-colheita se encontra entre 15 e 36 dias, devido à boa qualidade de matéria prima. O primeiro passo para extração da polpa é a lavagem com água e desinfecção com hipoclorito de sódio (indica-se uma concentração de 200 ppm para esse). Esse passo é importante para evitar a atividade microbiana e a oxidação lipídica que podem ocorrer (SEOW ET AL., 1997). Pode ser realizado em água corrente clorada. Em seguida, a água de coco é removida. Subsequentemente, a casca da polpa do coco é removida e a polpa de coco selecionada é novamente lavada com água e desinfetada com hipoclorito. O descascamento pode ser realizado manualmente com facas de aço inoxidáveis ou pode ser comprada a polpa já descascada. Posteriormente, a polpa é cortada e triturada, como explicado por Lucas-

Aguirre et al. (2018a). Quando não se detém uma prensa hidráulica, segundo Seow (1997), o procedimento pode ser realizado com uma gaze, comumente usada para fabricação de queijo, em que a polpa deve ser embrulhada e espremida com as mãos, a fim de tornar a homogeneização mais fácil.

Após a extração da polpa, a solução que alimentará o *spray dryer* é preparada. Inicialmente, uma mistura da polpa do coco, água de coco e água potável é homogeneizada. No estudo de Lucas-Aguirre (2018b), utilizou-se o homogeneizador Osterizer 600 Watts *blender* por 5 minutos para 3 kg de mistura, enquanto, em Santana et al. (2013) utilizou um liquidificador doméstico de 450 W de potência, o qual é proposto se utilizar para a presente monografia. Em seguida, como descrito por Lucas-Aguirre (2018b), a mistura pode ser filtrada em um tecido poroso (por exemplo um 500 μm *mesh screen*), separando as fibras do leite de coco. Na mistura então, adicionam-se os ingredientes a serem utilizados, incluindo agentes carreadores. Para esse trabalho recomenda-se o uso do conjunto de peneiras existente na Escola de Engenharia de Lorena.

Face aos estudos apresentados de manuseio e preparo da matéria prima, na Figura 9 estão propostas as etapas de manuseio da matéria prima e da preparação da emulsão de alimentação do *spray dryer*.

Figura 9 – Fluxograma do Processo



Fonte: Própria autora

Em todos os trabalhos estudados, os componentes inseridos no *spray* eram o leite de coco e na maior parte, o agente carreador, que era normalmente a maltodextrina. Em alguns deles, outros ingredientes foram adicionados, como é citado no artigo de Hee et al. (2015), em que lecitina de soja é utilizada como emulsificante para facilitar a mistura do leite de coco na água. Já nos estudos de Lucas-Aguirre (2018b), o leite de coco é beneficiado com vitaminas. Em outras formulações, utilizaram-se surfactantes, que de acordo com Santana (2013), auxiliam na estabilidade da emulsão, na produção da microcápsula e influenciam nas interações entre a microcápsula com o recheio e com meio dispersante.

Para o presente trabalho, propõe-se a utilização da mistura leite de coco e água e maltodextrina como o agente carreador, para que seja realizado o experimento das melhores condições para operação do *spray dryer* presente no Laboratório de Engenharia de Microalgas da Escola de Engenharia de Lorena. Dependendo do sucesso

do experimento, surgirão novas formulações.

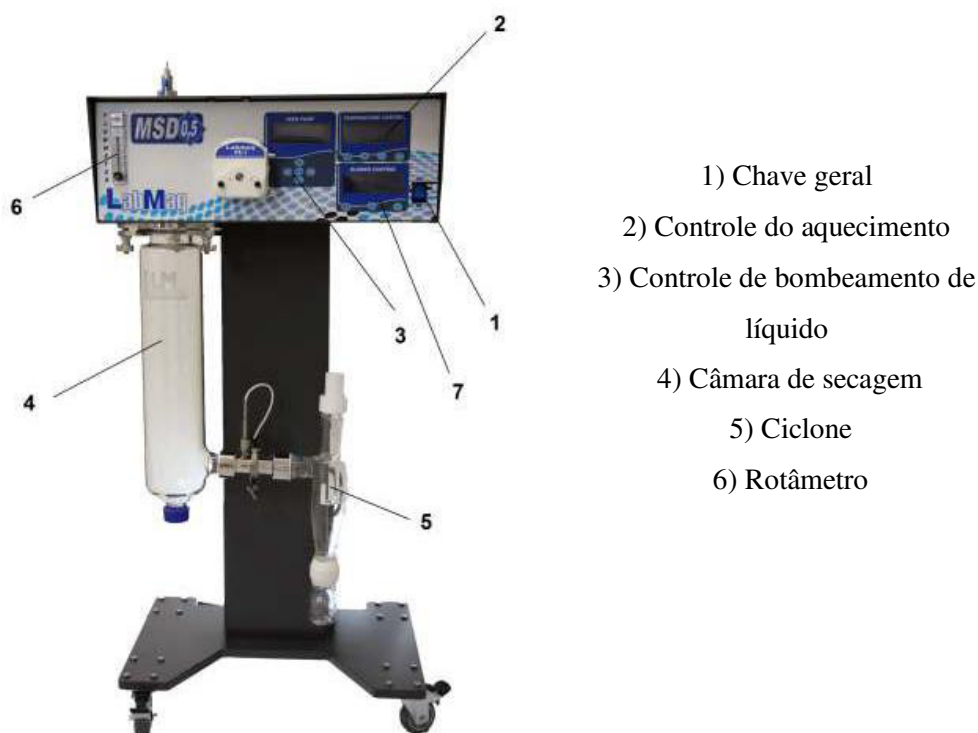
4.4 Funcionamento do *spray dryer* da Escola de Engenharia de Lorena

O *spray dryer* que pode ser encontrado na EEL-USP, no Laboratório de Engenharia de Microalgas é LM MSD 0.5 da empresa Labmaq.

O equipamento é utilizado para produção e fabricação em pequenas escalas ou desenvolvimento de produtos, que não necessariamente são alimentos.

O LM MSD 0.5 é composto por um bico atomizador tipo duplo fluido (ou pneumático), uma câmara de secagem, um controle de bombeamento de líquido (que utiliza uma bomba peristáltica), um controle de aquecimento e um controle de vazão do soprador. A Figura 10 mostra a foto do equipamento

Figura 10 - Imagem do MSD 0.5 com identificação de cada um de seus principais sistemas



Fonte: Labmaq (2003)

Há quatro sistemas responsáveis pelo funcionamento da operação de secagem no *spray dryer*, são eles: sistema de alimentação, sistema de atomização, sistema de

aquecimento e sistema de fornecimento de ar.

No sistema de alimentação, há uma bomba peristáltica (ou volumétrica) digital que acoplada a um controle digital microprocessado mede a vazão na qual a solução, pasta ou suspensão entra na câmara. Apesar de apresentar caráter levemente pulsante em curtos intervalos de tempo (1 segundo), mostra uma secagem contínua e reproduzível em períodos maiores (10 segundo). Já o sistema de fornecimento de ar é composto apenas por um soprador do tipo centrífugo de média pressão e média vazão.

O sistema de aquecimento do ar de secagem é constituído de aço inoxidável, incluindo as resistências elétricas. Possui um controle automático de temperatura do tipo PID ajustável para as condições desejadas, que apresenta vantagens, em relação ao controle ON/OFF, por estabilizar a temperatura do processo mais rapidamente e precisamente. Além disso, há também um controlador da temperatura de saída, o que permite escolher qual das duas temperaturas será controlada no processo.

O sistema de atomização é dado por um bico duplo fluido (ou pneumático). O formato do bico e suas condições de operação influenciam nas características das partículas, como diâmetro e distribuição de tamanho. No sistema com bico tipo duplo fluido, material líquido é rompido pelo cisalhamento gerado pela diferença de velocidades entre ele e um gás, normalmente o ar. Suas vantagens estão em sua grande versatilidade, alto controle de tamanho, uniformidade de gotículas (da faixa de 5 a 300 μm) e por permitirem ampla faixa de tamanhos de partícula para amplas faixas de vazão. A Figura 11 apresenta o bico tipo duplo fluido desmontado para posterior lavagem (LABMAQ, 2003).

Figura 11 – Bico atomizador



Fonte: Labmaq (2003)

Para utilização do equipamento, o primeiro passo é a montagem, que consiste em parafusar a câmara de vidro de secagem, fixam-se, então, os acoplamentos para que, através deles, seja colocado o ciclone. O bico atomizador é inserido pela tampa de aço do equipamento. São então conectadas as mangueiras de alimentação e de ar

comprimido no bico atomizador. No bico, há ainda a possibilidade de acoplar duas mangueiras, em que uma seria para resfriamento e a outra para aquecimento, caso haja a necessidade durante o processo (LABMAQ, 2003).

Antes do início da secagem, regula-se o ar comprimido na válvula reguladora de pressão ou filtro regulador de ar comprimido, em que segundo LabMaq (2003), uma variação de pressão adequada para uma boa nebulização seria entre 4 a 6 bar, que pode ser medida pelo manômetro. Ajusta-se também a vazão de ar comprimido pelo rotâmetro.

Após esses passos, inicia-se o processo de secagem acionando-se a chave geral, seguindo-se para o acionamento do soprador ou sistema de fornecimento de ar, que varia na vazão de 0,64 m³/min a 1,95 m³/min. Em seguida, liga-se o sistema de aquecimento, o que só é permitido após o acionamento do soprador (dispositivo de segurança). Seleciona-se, então, ou a temperatura de entrada ou a de saída, sendo que uma será resposta da outra, ou seja, uma das temperaturas será ajustada automaticamente. A temperatura máxima de entrada é 180° C e a de saída, 120° C. O bombeamento é o passo seguinte e a vazão varia entre 0,1 L/h e 0,5 L/h. Indica-se a estabilização do equipamento com água antes de inserir o material a ser seco para que o bico atomizador não aqueça em excesso e provoque entupimento (LABMAQ, 2003).

Para parar a operação, a ordem dos sistemas citada é a inversa. Logo após, é realizada a limpeza do equipamento utilizando água destilada para a bomba, solução de água e detergente para o bico atomizador, esponja não molhada para o secador e água e sabão para as vidrarias. É necessário salientar que se houver sistema de filtração e a utilização de materiais para microencapsulação, como maltodextrina, a limpeza deve ser feita diariamente para que não ocorra entupimento.

Durante o processo, é importante controlar a vazão de ar para que não haja superaquecimento da temperatura do ar de entrada, aguardar a estabilização do sistema para evitar instabilidade na temperatura e sempre controlar as variáveis independentes (vazões de alimentação e ar, temperatura ou de entrada ou de saída, concentração de aditivos) para que o processo seja eficaz e se obtenha um melhor rendimento.

A Tabela 4 resume as especificações técnicas do *spray dryer* (LABMAQ, 2003).

Tabela 4 – Especificações técnicas do *spray dryer* LM MSD 0.5

Parâmetro	Valor
Volume da câmara de secagem	5,6 L
Temperatura máxima de operação	180 °C
Vazão de ar de secagem (soprador)	0,64 a 1,95 m ³ /min
Vazão da bomba peristáltica	0,1 a 0,5 L/h
Consumo máximo de ar comprimido	50 L/min
Capacidade nominal de secagem	0,5 L/h
Consumo total de energia	3000 W

Fonte: Adaptado de Labmaq (2003)

4.5 Análises físico-químicas

Baseando-se nos estudos já desenvolvidos, algumas análises podem ser propostas para futura realização do procedimento dedicado ao *spray dryer* da Escola de Engenharia de Lorena. Essas análises são descritas no Quadro 4.

Quadro 4 – Análises físico-químicas para o pó de leite de coco

	Análises	Equipamentos	Método	Local
Químicas	Conteúdo de umidade	Estufa a vácuo	AOAC ISSS	EEL
	Atividade de água	Medidor de a_w	Leitura direta	POLI
Físicas	Densidade aparente	Proveta	Pesagem/ leitura direta	EEL
	Densidade absoluta	Picnômetro	Picnometria	EEL
	Tamanho de partícula	Malver 3000	Difração a laser (LALLS)	EEL
	Medição da cor	Colorímetro Hunterlab	Leitura direta	EEL

Fonte: Própria autora

A atividade de água (a_w) poderá ser medida com um medidor de atividade de água e o método é a leitura direta à temperatura ambiente (SANTANA, 2013), enquanto o conteúdo de umidade (X) pode ser determinado gravimetricamente utilizando-se uma estufa a vácuo. Leva-se a amostra de leite de coco em pó com maltodextrina a estufa com circulação forçada a 60 °C por 24 horas e em seguida, para a estufa a vácuo a 70 °C até atingir o peso constante por AOAC (2006). O conteúdo de umidade em base seca

ou base úmida, uma vez obtida a massa seca constante, pode ser calculado conforme as Equações 1 e 2.

A distribuição de tamanho das partículas formadas no pó poderá ser medida pela técnica de difração a laser (também conhecida como espalhamento de luz laser em baixo ângulo (LALLS)) no equipamento Mastersizer 3000 (Malvern Instrumentos), contido no Laboratório de Biocatálise e Bioprodutos da Escola de Engenharia de Lorena. O equipamento possui duas fontes de luz, uma vermelha e outra azul, que permitem medir partículas nos valores entre 10 nm a 3500 μm . Para circular a amostra dentro da célula de análise, pode-se acoplar uma unidade de dispersão com uma bomba centrífuga e um agitador, que evita sedimentação e agregação das partículas. Os parâmetros de entrada podem ser ajustados manualmente, com índice de refração entre 1,5 (segundo Hee et al. (2015)) e 1,52 (segundo Lucas-Aguirre (2018a)). As distribuições finais de tamanho de partícula foram relatadas como o número de densidade de tamanho de partícula (Dx_{10} , Dx_{50} e Dx_{90}). Assim, Dx_{50} é o valor que representa o tamanho médio das partículas, onde metade das partículas tem um tamanho abaixo do valor exibido (BERTO; ARANTES, 2019). É importante a determinação desse parâmetro, pois pode influenciar na aparência, escoabilidade e dispersibilidade do pó. Além disso, o tamanho de partícula é responsável pela variação da superfície de contato da partícula, afetando a afinidade do material com a água (SANTANA, 2013)

Para determinação da densidade aparente (ρ_{ap}) transfere-se uma pequena quantidade do pó para uma proveta graduada, compacta-se o pó, batendo-se a proveta na bancada inúmeras vezes e divide-se a massa do pó por seu volume (SANTANA, 2013).

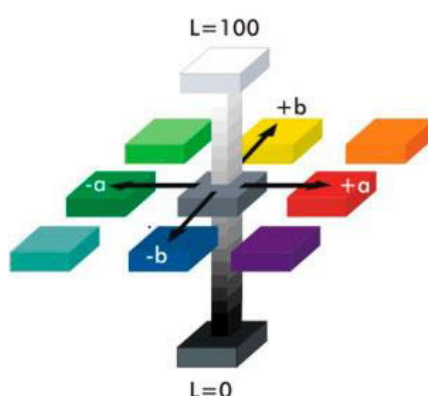
Para determinação da densidade absoluta (ρ_{abs}), podem-se utilizar densímetros digitais ou picnômetros, que consiste em um balão de vidro com fundo chato, com uma rolha pela qual há um capilar. O método consiste em calcular a diferença de massa de um picnômetro com um líquido e um picnômetro com a amostra em pó em um líquido (que não penetre na partícula). Posteriormente, divide-se pelo volume do picnômetro (SAMPAIO; SILVA, 2007).

A porosidade é facilmente determinada a partir das densidades absoluta e aparente. Necessita-se apenas subtrair de 100% a razão entre a densidade aparente e a absoluta, conforme a Equação 4 (SANTANA, 2013).

$$\varepsilon = 100\% - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad (4)$$

Para medir a coloração, indica-se a utilização de um colorímetro, que é capaz de medir a cor, em 3 parâmetros diferentes, segundo a escala CIELAB, representada na Figura 12: L* (luminosidade variando de 0 a 100), b* variando de amarelo (+) a azul (-) e a* variando de vermelho (+) a verde (-). Esse sistema foi determinado pela CIELAB (Comissão Internacional de Iluminantes) em 1976 (BARROS, 2014).

Figura 12 – Parâmetros da medição de cor



Fonte: BRASEQ (2019)

Nos trabalhos apresentados, a alimentação também foi caracterizada para se comparar com os resultados do produto final. Consideram-se assim, conforme o Quadro 5, de caracterização da alimentação (leite de coco, a ser processada)

Quadro 5 – Análises físico-químicas para a solução

	Análises	Equipamentos	Método	Local
Químicas	Sólidos totais	Mufla/ Prato de metal	Secagem e pesagem	EEL
	Sólidos solúveis	Refratômetro	Leitura direta	EEL
	pH	pHmetro	Leitura direta	EEL
Físicas	Densidade	Proveta	Picometria	EEL
	Viscosidade	Reômetro	Ensaio esforço controlado	EEL

Fonte: Própria autora

Para a medição dos sólidos totais, é pesada uma amostra em um prato de metal com fundo plano. Em seguida, o prato é submetido a um banho-termostático de água fervendo por 30 minutos. A amostra é então transferida a um forno ou à mufla e seca por 2 horas até que seja tampada, resfriada por 30 minutos em um dessecador e pesada. Repete-se o procedimento, até que a diferença entre a amostra inicial e final não exceda 1 mg. O valor da pesagem final é o valor total de sólidos (LAKSHANASOMYA, 2011).

O total de sólidos solúveis pode ser determinado utilizando-se um refratômetro digital e medido por leitura direta em °Brix. O pH também pode ser medido por leitura direta de pHmetro, que necessita somente ser aferido com tampões antes de sua utilização (SANTANA, 2013).

A densidade da solução pode ser obtida por picnometria, conforme descrito no item anterior.

A viscosidade pode ser medida por um reômetro, equipamento que é utilizado para medir propriedades reológicas (fluxo, a tensão de cisalhamento e a deformação da matéria e sua relação com o tempo) dos materiais em resposta a forças aplicadas, ou seja, esforços controlados.

4.6 Procedimento proposto

Considerando-se as condições do *Mini-Spray-Dryer*, o processo estudado e suas formulações, propõe-se um processo para o LM MSD 0.5 contido da Escola de Engenharia, em que as variáveis independentes a serem testadas são concentrações de agente carreador, tipos de agente carreadores, vazão de alimentação da solução no *spray dryer*, vazão de alimentação do ar comprimido e temperatura do ar de entrada. A Tabela 5 resume as variações dos parâmetros considerados para o procedimento proposto.

Tabela 5 – Condições de processo propostas para a secagem de leite de coco no *spray dryer* MSD 0.5

Parâmetro	Valor
Tipo de agente carreador	Maltodextrina 5DE/
	Maltodextrina 10DE
Vazão de alimentação da emulsão	0,1 a 0,5 L/h
Vazão de ar de secagem (soprador)	0,64 a 1,95 m ³ /min
Temperatura do ar de entrada	150 a 180 °C
Concentração de agente carreador	5-20%

Fonte: Própria autora

Para a formulação, será considerado o *spray dryer* de volume 5,6 L e determina-se a densidade da polpa do coco por picnometria para que as concentrações das matérias primas sejam definidas. Segundo Hee et al. (2015), 70% da mistura é de água e por volta de 12% da polpa de coco. Essas proporções serão variadas de acordo com a variação da maltodextrina, material de parede.

Dadas as condições a serem variadas, propõe-se que o planejamento do experimento seja feito em um *software* estatístico, como Minitab, que forneça as possíveis combinações das variáveis e o entendimento da influência delas na operação em questão e que permita atingir as condições ótimas do processo.

Futuramente, podem-se testar formulações com mais ingredientes ou diferentes tipos de agentes carreadores, além de novos produtos alimentícios/leites vegetais em pó. Outros parâmetros que podem ser variados são temperatura do ar de saída e pressão na câmara de secagem.

5 CONCLUSÃO

- O processo de secagem de leite de coco é atualmente pouco estudado. Apesar do produto já estar disponível no mercado, com grande apelo por ser hipoalergênico e saudável, sabe-se que a aplicação do processo de secagem pode interferir na qualidade nutricional do produto, sendo fundamental o estudo mais aprofundado de composição e das propriedades deste produto.
- Baseando-se na pesquisa bibliográfica, a utilização da maltodextrina como agente carreador, pode proporcionar um rendimento de até 40% e baixas atividade de água e umidade, por volta de 0,15 μm e 2,5 μm , respectivamente e uma densidade aparente por volta de 0,25 g/mL.
- Dado o levantamento bibliográfico realizado, a produção do leite de coco em pó no *Mini-Spray-Dryer* LM MSD 0.5 é factível, considerando que o equipamento possui as condições necessárias para que isso ocorra e a formulação da emulsão que alimenta o *spray dryer* pode ser simples, ou seja, com poucos ingredientes com fácil acesso.
- Para os primeiros ensaios a serem realizados, propõe-se fazer o leite de coco com 10 a 15 % de coco, 70 a 80% de água e com 5 a 20 % de maltodextrina. Para processar o leite de coco e obter o produto em pó, pode-se variar a temperatura de secagem de 150 a 180 °C, a vazão da alimentação de 0,1 a 0,5 L/h, a vazão de ar em 0,64 e 1,95 m³/min. Fazendo para isso um planejamento experimental.
- A alimentação, leite de coco poderá ser caracterizada enquanto a sólidos solúveis, total de sólidos, viscosidade, pH e densidade.
- Uma vez obtido o produto em pó, suas propriedades como umidade, atividade de água, distribuição do tamanho de partículas, densidades aparente e absoluta e coloração das partículas poderão ser determinadas.

Referências Bibliográficas

ABREU, Fernando Antônio Pinto de. Aproveitamento Industrial do Coco Seco. In: COCO PÓS-COLHEITA, 1., 2002, Aracaju. **Manual**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. v. 1, p. 58 - 65.

ALVES, Suêrda Bezerra. **Estudo teórico e experimental do processo de secagem do Abacate (*Persea americana* Mill)**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2006.

BARROS, Sâmia Valéria dos Santos; MUNIZ, Graciela Inês Bolzon de; MATOS, Jorge Luís Monteiro de. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da amazônia. **Cerne**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.337-342, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031421>.

BERTO, Gabriela L.; ARANTES, Valdeir. Kinetic changes in cellulose properties during defibrillation into microfibrillated cellulose and cellulose nanofibrils by ultra-refining. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 127, p.637-648, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.169>.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. PRODUÇÃO DE COCO: O NORDESTE É DESTAQUE NACIONAL. **Caderno Setorial Etene**. Fortaleza, dez. 2018. p. 1-25.

BRASEQ. **Medidor de cor**. Disponível em: <<https://www.braseq.com.br/medidor-cor>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CARVALHO, Fabiano de. **Construção e avaliação de desempenho de um spray dryer piloto**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CARVALHO, Milla Rúbia Alves Custódio Guimarães Paranhos; COELHO, Nástia Rosa Almeida. Leite de Coco: Aplicações Funcionais e Tecnológicas. **Estudos**, Goiânia, v. 36, n. 5/6, p.851-865, jun. 2009.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Embrapa Cerrados, Documentos 276, 51 p., 2010. Disponível em: <www.cpac.embrapa.br/download/1735/t>. Acesso em: 30 abril 2019.

DURIGON, Angelise et al. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food And Bioproducts Processing**, [s.l.], v. 100, p.145-155, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>.

ENGEL, Bruno et al. Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.31-44, 7 jun. 2016. APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul.

<http://dx.doi.org/10.17058/rjp.v6i1.7345>.

ENGEL, Bruno. Emprego de Spray Dryer na indústria de alimentos: uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.02-11, 6 jul. 2017. APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul. <http://dx.doi.org/10.17058/rjp.v7i2.9824>.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1258p.

GILL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUNN, Bee F.. THE PHYLOGENY OF THE COCOEAE (ARECACEAE) WITH EMPHASIS ON COCOS NUCIFERA. **Annals Of The Missouri Botanical Garden**, Missouri, v. 3, n. 91, p.505-522, jan. 2004.

HEE, Yen Yi et al. Influence of Different Wall Materials on the Microencapsulation of Virgin Coconut Oil by Spray Drying. **International Journal Of Food Engineering**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.61-69, 1 fev. 2015. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/ijfe-2014-0215>.

HEE, Y.Y. et al. Production of virgin coconut oil microcapsules from oil-in-water emulsion with supercritical carbon dioxide spray drying. **The Journal Of Supercritical Fluids**, [s.l.], v. 130, p.118-124, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.037>.

INCROPERA, F.P., BERGMAN, T.L., DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008. 643p.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, 1972.

Labmaq do Brasil Ltda. (2003) Manual de Operações do Mini-Spray Dryer MSD 0.5. Depto de Engenharia. 12

LAKSHANASOMYA, Niphaporn; DANUDOL, Arunee; NINGNOI, Tipawan. Method performance study for total solids and total fat in coconut milk and products. **Journal Of Food Composition And Analysis**, [s.l.], v. 24, n. 4-5, p.650-655, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2010.10.002>.

LAND, C. M. Van't. **Drying in the Process Industry**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 381 p.

LUCAS-AGUIRRE, J. C. et al. Optimization of the spray drying process for the obtaining of coconut powder (*Cocos nucifera* L.) fortified with functionally active compounds. **Proceedings Of 21th International Drying Symposium**, [s.l.], p.749-756, 11 set. 2018a. Universitat Politècnica València. <http://dx.doi.org/10.4995/ids2018.2018.7307>.

LUCAS-AGUIRRE, Juan Carlos; GIRALDO, German Antonio; CORTES, Rodriguez Misael. Effect of the Spray Drying Process on the Quality of Coconut Powder Fortified with Calcium and Vitamins C, D3 and E. **Advance Journal Of Food Science And**

Technology, [s.l.], v. 16, n. , p.102-124, 10 nov. 2018b. Maxwell Scientific Publication Corp.. <http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.16.5943>.

MARCINKOWSKI., Emanuelle de Almeida. **Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MARQUES, Gerson Reginaldo et al. Spray Drying of Green Corn Pulp. **Drying Technology**, [s.l.], v. 32, n. 7, p.861-868, 29 abr. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2013.873452>

MARTINS, Carlos Roberto; JESUS JÚNIOR, Luciano Alves de. **Produção e Comercialização de Coco no Brasil Frente ao Comércio Internacional: Panorama 2014**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. 51 p.

MASTERS, K. **Spray drying: an introduction to principles, operations and applications**. 2 ed. New York. John Wiley & Sons, 1976.719 p.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 4. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1985. 686 p.

MATSUURA, Tsutashi et al. Effect of dextrose equivalent of maltodextrin on the stability of emulsified coconut-oil in spray-dried powder. **Journal Of Food Engineering**, [s.l.], v. 163, p.54-59, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.018>.

MERCK. **α -D-Glucose**. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/158968?lang=pt®ion=BR>. Acesso em: 09 nov. 2019.

MUJUMDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying**. 3ed. Dekker, M. Nova York, E.U.A. 2006. 1312 p.

NAIK, Aduja et al. Dehydration of coconut skim milk and evaluation of functional properties. **Cyta - Journal Of Food**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.227-234, 21 nov. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2013.833296>.

PARK, K.J; ANTONIO et al. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. 121p. 2007. Disponível em: http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproc eqsec_07.pdf. Acesso em: 01 maio 2019.

PARK, Kil Jin et al. Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. In: XXXV CONGRESSOBRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais**. Campinas: Ibea, 2006. p. 1 - 11.

PATIL, Umesh; BENJAKUL, Soottawat. Coconut Milk and Coconut Oil: Their Manufacture Associated with Protein Functionality. **Journal Of Food Science**, [s.l.], v. 83, n. 8, p.2019-2027, 13 jul. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.14223>.

PEREIRA, Keyla Carvalho et al. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s.l.], v. 21, p.1-10, 14 jun. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.08317>

PIGNATA, Marcela Olaia Machado. **Obtenção de micropartículas contendo dispersões sólidas de praziquantel por secagem por nebulização e estudo de sua estabilidade**. 2016. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2016.

PINHO, Ana Paula Santos de; SOUZA, Aline Francisca. EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE COCO (Cocos nucifera L.). **Biológicas & Saúde**, [s.l.], v. 8, n. 26, p.9-18, 9 maio 2018. Institutos Superiores de Ensino do Censa. <http://dx.doi.org/10.25242/886882620181241>.

PORRO, Roberto. A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.169-188, 29 abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981.81222019000100011>.

ROSA, E.D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações. In: JORNADA CIENTÍFICA DA FAZU/FACULDADES ASSOCIADAS DE UBERABA, v.5, 2006, Uberaba, **Anais**.Uberaba: FAZU, 2006.

SAMPAIO, João Alves; SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da. DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES DE SÓLIDOS E DE POLPA. In: SAMPAIO, João Alves; SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**.Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2007. Cap. 2. p. 37-51.

SANTANA, Audirene Amorim et al. Microencapsulation of babassu coconut milk. **Food Science And Technology (campinas)**, [s.l.], v. 33, n. 4, p.737-744, dez. 2013a. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612013000400020>.

SANTANA, Audirene Amorim et al. Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. **Drying Technology**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.76-87, 30 mar. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2016.1160111>.

SANTANA, Audirene Amorim. **OBTENÇÃO DA POLPA DE PEQUI E DO LEITE DE COCO BABAÇU MICROENCAPSULADOS ATRAVÉS DA SECAGEM POR ASPERSÃO**. 2013. 310 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013b.

SEIXAS, Armando B. et al. **Obtenção do óleo de coco a partir da polpa fresca**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1972. 10 p.

SEOW, Chee C.; GWEE, Choon N.. Coconut milk: chemistry and technology. **International Journal Of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 32, n. 3,

p.189-201, maio 1997. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2621.1997.00400.x>.

SILVA, Edilene Santos da et al. Secagem de Grãos e Frutas: Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Garanhuns, v. 5, n. 1, p.19-23, ago. 2015

SILVA, Mariana Casagrande. **Aproveitamento do resíduo do despulpamento da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) para obtenção de pigmento com propriedades funcionais**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SILVEIRA, Arlan Caldas Pereira et al. Secagem por Spray: uma revisão. **Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 68, n. 391, p.51-58, abr. 2013.

STRUMILLO, C., KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. 3. ed. Switzerland: Gordon and Breach Science Publishers. 1986. 448p.

TEIJEIRO, Manuel et al. Suitability of kefir powder production using spray drying. **Food Research International**, [s.l.], v. 112, p.169-174, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.023>.

TORRES, Miguel Ângelo Peixoto. **Desempenho de diferentes métodos de secagem e seus efeitos sobre a qualidade fisiológica de sementes de sorgo granífero (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench)**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

TRIBOLI, Edison Paulo de Ros. **Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto**. 2014. 340 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014

ZOTARELLI, Marta Fernanda et al. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, [s.l.], v. 305, p.447-454, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>.