



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos



KASSIANA LUIZA PEDRALLI DALLARIVA

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA GRAMA DE TRIGO (*TRITICUM AESTIVUM*
L.) POR *CAST-TAPE DRYING* E LIOFILIZAÇÃO**

PATOS DE MINAS

Janeiro de 2021

KASSIANA LUIZA PEDRALLI DALLARIVA

Secagem e caracterização da grama de trigo (*Triticum aestivum L.*) por *cast-tape drying* e liofilização

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Marta Fernanda Zotarelli

Coorientador: Prof. Ricardo Corrêa de Santana

Coorientadora: Profa. Letícia Rocha Guidi

PATOS DE MINAS

Janeiro de 2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D144 2021	<p>Dallariva, Kassiana Luiza Pedralli, 1995- Secagem e caracterização da grama de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) por cast-tape drying e liofilização [recurso eletrônico] / Kassiana Luiza Pedralli Dallariva. - 2021.</p> <p>Orientadora: Marta Fernanda Zotarelli. Coorientador: Ricardo Corrêa de Santana. Coorientadora: Leticia Rocha Guidi. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.17 Inclui bibliografia.</p> <p>1. Alimentos - Indústria. I. Zotarelli, Marta Fernanda, 1985-, (Orient.). II. Santana, Ricardo Corrêa de, 1981-, (Coorient.). III. Guidi, Leticia Rocha, 1984-, (Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. V. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 664</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas
 Av. Getúlio Vargas, 230 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38700-103
 Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 01/2021 - PPGEA				
Data:	Vinte e oito de janeiro de dois mil e vinte e um	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	10:52
Matrícula do Discente:	41822EAL007				
Nome do Discente:	Kassiana Luiza Pedralli Dallariva				
Título do Trabalho:	Secagem e caracterização da grama de trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>) por <i>cast tape drying</i> e liofilização				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP - MConf) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Marta Fernanda Zotarelli (Orientadora - UFU), Fernando Dias da Silva (UNIPAM) e Marieli de Lima (UFU).

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Marta Fernanda Zotarelli, apresentou a Comissão Examinadora e a discente, agradeceu a participação do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da mesma se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão secreta, atribuiu o conceito final, considerando a discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zotarelli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/01/2021, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/01/2021, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº](#)



[8.539, de 8 de outubro de 2015.](#)



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Dias da Silva, Usuário Externo**, em 28/01/2021, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2524611** e o código CRC **E647851D**.

Referência: Processo nº 23117.004218/2021-64

SEI nº 2524611

Dedico esse trabalho a meu marido Gabriel, minha filha Eva e meus pais Marilucia e Celson, razões da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Sonhar alto, me desafiar e trabalhar muito sempre foram grandes pilares em minha vida, por isso a oportunidade de fazer parte do programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia foi sem dúvidas uma grande conquista para mim.

Tenho muito o que agradecer e mais ainda a quem agradecer. Primeiramente a Deus e a toda espiritualidade que me acompanha e me ampara.

A meus pais, meu marido, minha filha e todos os demais familiares que sempre entenderam minhas ausências e me deram suporte nesse período.

A minha orientadora, professora Dra. Marta Zotarelli, agradeço enormemente pela compreensão, instrução e mais ainda pela forma carinhosa e doce de me conduzir nesse período. Obrigada por ter sido luz nessa caminhada que por muitas vezes pensei não ter continuação.

Aos meus coorientadores, Dr. Ricardo Santana e Dra. Letícia Guidi, por dedicarem seu tempo e seus conhecimentos à minha orientação.

Aos professores, técnicos de laboratórios e aos meus colegas por contribuírem na realização desse trabalho.

Da mesma forma, aos professores que compõe a banca de avaliação, Dra. Marieli de Lima e Dr. Fernando Dias, por todas as contribuições à realização deste trabalho.

A minha amiga e companheira de laboratório, Lorrane Santos, muito obrigada por me ensinar, apoiar, incentivar e principalmente tornar mais felizes os longos dias de experimentos nos laboratórios.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Uberlândia, em especial a Faculdade de Engenharia de Alimentos campus Patos de Minas pelos recursos oferecidos e a CAPES pela bolsa de estudos que possibilitou minha dedicação exclusiva a esse trabalho.

RESUMO

A grama de trigo (*Triticum aestivum* L.) é um alimento derivado da germinação do grão de trigo comum, popularmente consumida como suco e conhecida por suas propriedades nutricionais, tais como elevadas concentrações de vitaminas, minerais, aminoácidos, enzimas e clorofila. Por ter um período de colheita restrito e ser bastante perecível, existe a necessidade do desenvolvimento de processos que possam aumentar sua vida útil para o consumidor, sendo a secagem um dos processos que podem ser utilizados. No entanto, a desidratação de alimentos pode trazer prejuízos nutricionais, sendo imprescindível a definição adequada dos métodos, processos e parâmetros de secagem. Tendo em vista o exposto, o objetivo desse trabalho foi estudar a secagem da grama de trigo por *cast-tape drying* (CTD) e por liofilização e caracterizar o material seco por esses processos quanto a características físico-químicas e biocompostos. Para isso, foram realizados diferentes métodos para redução de tamanho e obtenção da polpa da grama de trigo para a secagem, sendo que o considerado mais adequado para os processos de secagem foi o corte com faca a cada 1 cm, ultracongelamento da grama picada e processamento em liquidificador. Também foram avaliadas as condições operacionais (temperatura, espessura do material, tempo etc.) na secagem de por CTD. A grama de trigo provou ser um material que se adapta bem à secagem por CTD e, também, por liofilização. A condição de secagem por CTD que mostrou melhores resultados de preservação das características e dos componentes da grama de trigo foi com o emprego de temperatura de água circulante de 80°C e espessura de espalhamento do material de 2 mm. Nessa condição a umidade final do produto ficou próxima a 7%, com tempo de secagem em torno de 60 minutos, higroscopicidade de 16,73 ± 0,56%, variação global da cor em relação a polpa de grama de trigo foi de 5,242, teor de compostos fenólicos de 1551,209 ± 27,638 (mg EAG/100g de amostra (base seca - b.s.)). A liofilização por 48 h resultou em umidade inferior a 5%, higroscopicidade estatisticamente equivalente ao produto seco por CTD à 80°C, redução de 12% na concentração de compostos fenólicos em relação as amostras *in natura*. Entretanto, a cor foi o parâmetro mais afetado pela liofilização apresentando uma diferença global de cor de 8,763 em relação a polpa *in natura*. Dessa maneira, destaca-se que, por meio desse estudo, foi possível determinar a metodologia mais adequada para a secagem da grama de trigo por CTD e liofilização, além de identificar a condição de secagem por CTD que produzisse pós com boas propriedades físico-químicas e consideráveis concentrações de compostos fenólicos.

Palavras-chave: Propriedades funcionais da grama de trigo, alimentos germinados, secagem, alimentos em pó.

ABSTRACT

Wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) is a food derived from the common wheat grain's germination, popularly consumed as juice and known for its nutritional properties, such as high vitamins, minerals, amino acids, enzymes, and chlorophyll. Because it has a limited harvest period and is very perishable, there is a need to develop processes that can increase its useful life for the consumer, with drying being one of the processes that can be used. However, dehydration of foods can cause nutritional damage, and it is essential to define the drying methods, processes, and parameters. Given the above, this work's objective was to study the drying of wheatgrass by cast-tape drying (CTD) and freeze-drying and characterize the dry material by these processes in terms of physical-chemical and biocomposite characteristics. Different methods were used to reduce the size and obtain the pulp of the wheatgrass for drying. The one considered most suitable for the drying processes was cutting with a knife every 1 cm, deep freezing the chopped grass, and processing in a blender. The operational conditions (temperature, material thickness, time, etc.) in drying by CTD were also evaluated. Wheatgrass has proven to be a material that adapts well to drying by CTD and also by freeze-drying. The condition of drying by CTD that showed the best preservation results of the wheatgrass's characteristics and components was using circulating water temperature of 80 ° C and 2 mm of material thickness. In this condition, the final moisture of the product was close to 7%, with drying time around 60 minutes, the hygroscopicity of 16.73 ± 0.56%, the overall color variation concerning the wheatgrass pulp was 5.242, phenolic compounds content of 1551.209 ± 27.638 (mg EAG / 100g of sample (dry basis - bs). Freeze-drying for 48 h resulted in moisture below 5%, hygroscopicity statistically equivalent to the dry product by CTD at 80 °C, 12% reduction in the concentration of phenolic compounds concerning the fresh samples. However, color was the parameter most affected by freeze-drying, presenting an overall color difference of 8.763 concerning fresh pulp. Thus, it is noteworthy that it was possible to determine the most suitable methodology for drying wheatgrass by CTD and freeze-drying through this study. It was also possible to identify the condition of drying by CTD that produced powders with good physical and chemical properties and considerable concentrations of phenolic compounds.

Keywords: Functional properties of wheat grass, germinated food, drying, food powder.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
SUMÁRIO	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 GRAMA DE TRIGO	17
3.1.1 Definição	17
3.1.2 Composição nutricional	19
3.1.3 Potencial terapêutico e tecnológico	21
3.2 SECAGEM	22
3.2.1 Transferência de calor	24
3.2.1.1 Condução	24
3.2.1.2 Convecção	24
3.3.1.3 Radiação	25
3.2.2 Fundamentos da secagem	26
3.2.3 <i>Cast-tape drying</i> (CTD)	28
3.2.4 Liofilização	31
3.3 PRODUTOS EM PÓ	33
3.3.1 Atividade de água	34
3.3.2 Higroscopicidade	34
3.3.3 Cor	35
3.4 COMPOSTOS FENÓLICOS	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 MATÉRIA-PRIMA	37
4.1.1 Plantio e colheita	37
4.1.2 Preparo da polpa da grama de trigo	38
4.1.3 Armazenamento	39

4.2	CAST-TAPE DRYING (CTD)	39
4.2.1	Equipamento para <i>cast-tape drying</i> (CTD)	39
4.2.2	Controle da temperatura de secagem	41
4.2.3	Condições do processo de secagem	41
4.2.4	Determinação da cinética de secagem	42
4.3	LIOFILIZAÇÃO	43
4.4	OBTENÇÃO DO PÓ	44
4.5	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AMOSTRA <i>IN NATURA</i> E DO PÓ DE GRAMA DE TRIGO	44
4.5.1	Umidade	45
4.5.2	Higroscopicidade	45
4.5.3	Análise instrumental de cor	46
4.5.4	Compostos fenólicos	46
4.5.5	Morfologia das partículas - Microscopia Eletrônica de Varredura	47
4.5.6	Distribuição granulométrica	47
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	PREPARO DA POLPA DA GRAMA DE TRIGO	49
5.2	CAST-TAPE DRYING	51
5.2.1	Temperatura de secagem	51
5.2.2	Testes preliminares de secagem	52
5.2.3	Cinéticas de secagem	53
5.3	OBTENÇÃO DO PÓ	55
5.4	CARACTERIZAÇÕES	56
5.4.1	Umidade e higroscopicidade	56
5.4.2	Análise instrumental de cor	58
5.4.3	Morfologia das partículas	61
5.4.4	Compostos fenólicos	63
5.4.5	Distribuição granulométrica	65
6	CONCLUSÃO	67
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	68
	REFERÊNCIAS	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de vitaminas e minerais em 100 ml de suco de grama de trigo.....	20
Tabela 2 - Conteúdo de aminoácidos no suco de grama de trigo.	20
Tabela 3 - Temperaturas atingidas no filme de Mylar® na secagem por cast-tape drying.	52
Tabela 4 - Taxa de secagem, tempo mínimo de secagem e umidade final da amostra obtida pela secagem da grama de trigo por CTD.	55
Tabela 5 - Umidade e higroscopicidade dos pós de grama de trigo obtidos por diferentes processos de secagem.	57
Tabela 6 - Cor do pó da grama de trigo obtido por diferentes métodos.	59
Tabela 7 - Teor de compostos fenólicos encontrados na polpa de trigo in natura, seca por CTD e liofilizada.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios de desenvolvimento de cereais.	18
Figura 2 - Estrutura da folha do trigo.	18
Figura 3 - Foto da grama de trigo cultivada para realização do presente estudo.	19
Figura 4 - Dispersão da radiação incidente.	26
Figura 5 - Curva típica da taxa de secagem para condições constantes de processo.	27
Figura 6 - Transferência de calor por refractance window.	29
Figura 7 - Esquema da unidade experimental para secagem por <i>cast-tape drying</i> . ..	30
Figura 8 - Esquema de liofilizador de bancada sem aquecimento.	32
Figura 9 - Esquema de parâmetro de cores.	35
Figura 10 - a) Semeadura dos grãos de trigo; b) Brotos de trigo com 4 dias; c) Grama de trigo com 16 dias.	37
Figura 11 - Grama de trigo colhida após afilhamento da terceira folha.	38
Figura 12 - Fluxograma dos processos de tratamento pra obtenção da polpa da grama de trigo.	39
Figura 13 - Equipamento cast-tape dryer.	40
Figura 14 - Sistema de exaustão acoplado à unidade de cast-tape drying.	40
Figura 15 - Pontos de leitura de temperatura no filme de secagem CTD.	41
Figura 16 - Espalhamento da polpa de grama de trigo sobre o cast-tape dryer.	42
Figura 17 - Retirada de amostras para cinética.	43
Figura 18 - Amostras retiradas para realizar cinética de secagem.	43
Figura 19 - Equipamento de liofilização.	44
Figura 20 - Fotografia do moinho de facas após o tratamento 1 (submissão da grama de trigo diretamente a moagem).	49
Figura 21 - Polpa obtida pelo tratamento 3.	50
Figura 22 - Fotografia da grama de trigo no preparo 4: a) processamento em liquidificador após congelamento e b) polpa resultante do tratamento 4.	50
Figura 23 - Perfis de temperatura da superfície do Mylar® com: a) temperatura da água de circulação de 60 °C e b) temperatura da água de circulação de 95 °C durante a secagem de grama de trigo no cast-tape drying.	51
Figura 24 - Curvas de secagem da grama de trigo a: a) 65, b) 80 e c) 95 °C (temperatura da água circulante) e 2 e 4 mm de espessura da polpa.	53
Figura 25 - Curvas de cinética de secagem por CTD.	54
Figura 26 - Fotografias a) do filme de grama de trigo após a secagem por cast-tape drying, b) da grama de trigo seca por liofilização, e c) da grama de trigo após a moagem (condições de secagem utilizadas 80 °C e 2 mm de espessura).	55
Figura 27 - Pós obtidos pela secagem por cast-tape drying e por liofilização. a) CTD 65°C, b) CTD 80°C, c) CTD 95°C, d) LIO, f) fotografia de todos os pós obtidos por mesma luz e ângulo.	58
Figura 28 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para os pós obtido com ampliação de 100× vezes a) CTD 65 °C, b) CTD 80 °C, c) CTD 95 °C, d) LIO.	62

Figura 29 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para os pós obtido com ampliação de 2000× a) CTD 65°C, b) CTD 80°C, c) CTD 95°C, d) LIO.	62
Figura 30 - Distribuição granulométrica dos pós de grama de trigo obtidos por CTD e LIO.	65

1 INTRODUÇÃO

A grama de trigo (*Triticum aestivum* L.) é o produto obtido entre o sexto e o vigésimo dia de germinação das sementes do trigo, também definida como a grama jovem da planta de trigo comum. Consumida geralmente em forma de suco fresco, é uma rica fonte de vitaminas A, B, C, E e K, tem altas concentrações de clorofila, enzimas ativas, cálcio, potássio, ferro, magnésio, sódio, enxofre e 17 formas de aminoácidos (MUJORIYA E BODLA, 2011).

O suco de grama de trigo é o suco de broto mais popularmente consumido no mundo por ser uma boa fonte de clorofila (70% do total constituintes químicos) e possuir antioxidantes conhecidos por inúmeros benefícios comprovadamente estudados à saúde humana (GHUMMAN et al., 2017). Além disso, apresenta outras propriedades farmacêuticas como agentes construtores de sangue para talassemia, agentes desintoxicantes, substâncias antioxidantes e possível uso como substâncias anti-inflamatórias e anticancerígenas (CHOMCHAN et al., 2016).

O consumo da grama de trigo começou no mundo ocidental na década de 1930 e foi iniciado por Charles F. Schnabel, conhecido como o pai da grama de trigo. Posteriormente, Dra. Wigmore (1940) relatou os benefícios do uso de ervas no tratamento de várias doenças, iniciando estudos na modalidade de cura natural e em parceria com Dr. Earp Thomas. Desde então, há relatos de consumo desse alimento.

Em busca de uma alimentação saudável e visando beneficiar-se de suas propriedades de forma completa, o consumo do suco fresco é a alternativa que melhor cabe à maioria dos consumidores que buscam consumir o produto por suas propriedades. No entanto, a grama de trigo *in natura* não está comercialmente disponível, devido a sua elevada perecibilidade após a colheita das folhas, sendo o cultivo dos grãos de trigo a opção que permite um suco com frescor aos consumidores.

A germinação do trigo, apesar de rápida, requer ambiente, irrigação e colheita adequados. Após colhida, a grama pode ser armazenada em refrigeração por poucos dias, devido sua rápida deterioração, e por cerca de 2 a 3 semanas quando congelada; após esse período, pode haver a perda de suas propriedades funcionais (DEVI et al., 2019). Por isso, é importante o desenvolvimento de processos que auxiliem na extensão da vida de prateleira da grama de trigo e que também preservem grande parte das suas propriedades nutricionais.

Alguns estudos da literatura avaliaram o comportamento da grama de trigo quando submetida à secagem por método convectivo (estufa, forno ou sombra) e liofilização (SAGLIANO E SAGLIANO 1998; DEVI et al., 2019). Esses métodos de secagem foram considerados eficientes para conservação das propriedades nutricionais do alimento, mas foram destacados nesses estudos um melhor resultado quando foram utilizadas temperaturas menores. Pardeshi et al. (2013) avaliaram a secagem da grama e trigo, colhida entre o 8º e o 10º dia após o início da germinação, pelo método convectivo com temperatura entre 42 e 43 °C e por exposição ao sol, sendo o primeiro o de melhor desempenho, como menor tempo de secagem (270 min) e maior teor de clorofila.

Sharma et al. (2019) avaliaram a composição química, de minerais e de vitaminas do pó liofilizado de suco de grama de trigo. Os autores concluíram que a liofilização ajudou a preservar os constituintes sensíveis ao calor e aumentou a vida útil do produto. Os efeitos da liofilização e da secagem com ar quente (60°C) sobre os fenólicos totais, os flavonóides totais e as propriedades antioxidantes da grama de trigo fresco (*Triticum aestivum* L.) foram investigados e comparados por Chakraborty et al. (2012), revelando que o teor de fenólicos foi aumentando pelo processo de secagem em contraponto às demais caracterizações que tiveram seus valores reduzidos quando comparadas a polpa *in natura*.

Sagliano e Sagliano (1998) revelaram que, embora tenham sido feitas tentativas de preservar comercialmente a grama de trigo por meio de processos de secagem a vácuo, as temperaturas elevadas às quais o produto foi exposto durante esse processamento resultaram em um produto inconsistente na composição, com sabor desagradável.

Apesar dos estudos citados sobre secagem de grama de trigo apresentarem contribuições interessantes sobre as condições de processamento e caracterização do material seco, não foram encontrados na literatura estudos sobre a secagem da grama de trigo por *cast-tape drying* (CTD). Esse método de secagem tem sido reconhecido por alguns autores por produzir alimentos secos em tempos reduzidos de processos e com atributos físico-químicos e de biocompostos, em alguns casos, comparáveis à liofilização (NINDO E TANG, 2007; CAPARINO et al., 2012; BAEGHBALI et al., 2016; FRABETTI, DURIGON & LAURINDO, 2018).

Considerando os estudos anteriores de secagem por liofilização e seus resultados satisfatórios na preservação de compostos e características dos produtos

alimentícios, é vista a necessidade de avaliar o método de secagem da grama de trigo por *cast-tape drying* em comparação à secagem por liofilização. Como citado anteriormente o *cast-tape drying* é um método que tem sido utilizado com sucesso em produtos termossensíveis, o que gera expectativas positivas para a grama de trigo. Por outro lado, a liofilização ainda é um método reconhecido por produzir produtos com qualidade sensorial e nutricional diferenciadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho foi estudar o processo de secagem da grama de grama de trigo (*Triticum aestivum* L.) por *cast-tape drying* e liofilização e caracterizar físico-quimicamente o produto seco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver a metodologia adequada para obter a polpa de grama de trigo lisa e homogênea para a secagem;
- Avaliar a cinética de secagem da polpa de grama de trigo por *cast-tape drying* utilizando diferentes temperaturas da água de aquecimento e diferentes espessuras da polpa;
- Obter o pó de grama de trigo por liofilização;
- Caracterizar e avaliar os produtos secos por *cast-tape drying* e liofilização em relação à polpa *in natura* quanto à: cor, umidade, higroscopicidade, compostos fenólicos, tamanho e morfologia das partículas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 GRAMA DE TRIGO

3.1.1 Definição

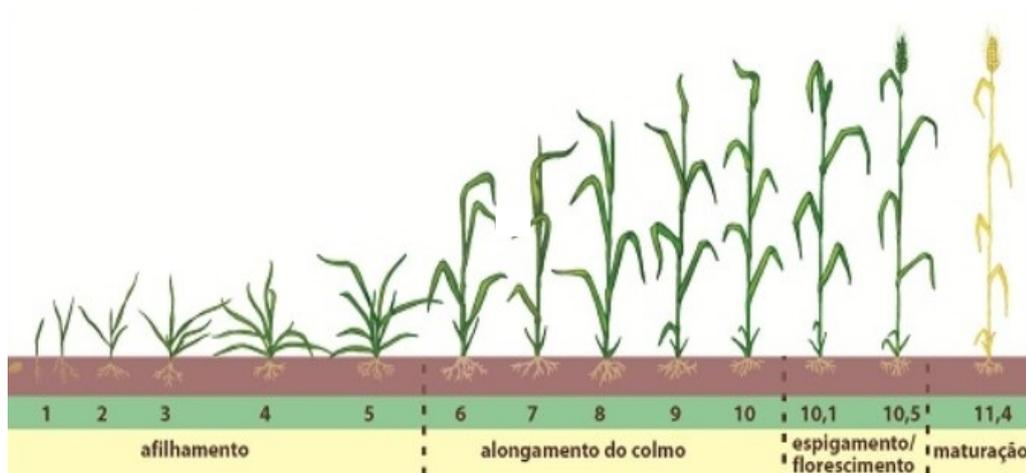
O trigo (*Triticum aestivum* L.) foi uma das primeiras espécies a ser cultivada no mundo, sendo uma planta originária do cruzamento de outras gramíneas silvestres que existiam próximas ao rio Tigre e Eufrates (SILVA et al., 2000). A espécie *Triticum aestivum* está entre as espécies vegetais de maior importância para a alimentação humana. A composição única de suas proteínas de reserva, que permite a obtenção de vários produtos por meio do processo de panificação, faz do trigo um cereal mundialmente consumido (JOSHI et al., 2007).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a estimativa da produção do trigo em 2020 foi de 7,4 milhões de toneladas, crescimento de 6% em relação ao mês de julho do mesmo ano. Em contraponto, se tem pouco conhecimento das formas de consumo e benefícios da grama de trigo, oriunda da germinação dos grãos de trigo a partir do sexto dia de plantio e até o vigésimo dia, aproximadamente.

O cultivo do trigo, assim como de outros cereais, pode ser apresentado em etapas sendo mais divulgada a escala de Feekes (1940), modificada por Large (1954). Usualmente, os estágios de desenvolvimento mais conhecidos do trigo são (por ordem cronológica): plântula, afilhamento, alongamento, emborrachamento, espigamento, florescimento, grão em estado leitoso, grão em massa, grão em maturação fisiológica e grão maduro (EMBRAPA, 2015). Na Figura 1, está ilustrada a escala Feekes-Large de crescimento e desenvolvimento de trigo e correspondente formação dos componentes do rendimento de grãos.

A grama de trigo está compreendida nas primeiras etapas do plantio, estando entre o desenvolvimento das folhas (iniciado com a emissão de uma pseudofolha, denominada coleóptilo) e o afilhamento (ou perfilhamento, aproximadamente 15 dias após a germinação, são emitidos novos colmos denominados de afilhos (ou perfilhos) envolvidos em estruturas foliares denominadas prófilos) (EMBRAPA, 2015).

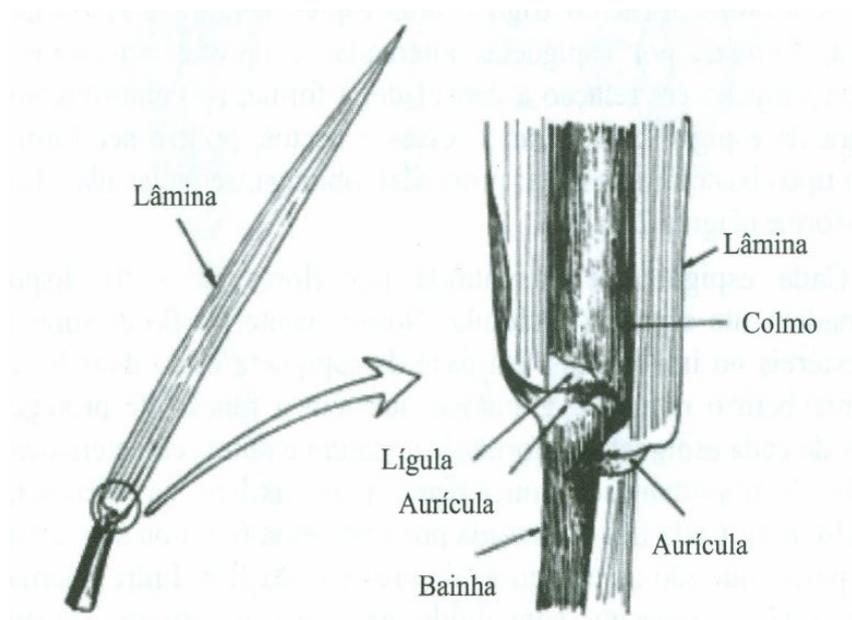
Figura 1- Estágios de desenvolvimento de cereais.



Fonte: Large (1954).

A grama de trigo *in natura* apresenta estrutura linear, sendo finas da base da lâmina até o ápice da folha e é composta por fibras longitudinais. Na Figura 2, está mostrada a estrutura da folha de trigo madura, a qual pode ser assemelhada à grama de trigo (EMBRAPA, 2015), e, na Figura 3, está apresentada uma imagem da grama de trigo.

Figura 2 - Estrutura da folha do trigo.



Fonte: EMBRAPA, 2015.

Figura 3 - Foto da grama de trigo cultivada para realização do presente estudo.



Fonte: A autora.

3.1.2 Composição nutricional

A grama de trigo tem em sua composição química cerca de 85% de umidade. A base seca está composta por 31% de proteínas, 15% de gorduras, 4% de cinzas, 50% de carboidratos, 22% de fibras, 15% de açúcares totais e 10% de açúcares redutores (CHOMCHAN et al., 2016). Nas Tabelas 1 e 2, estão apresentados, respectivamente, os níveis de vitaminas e minerais e os aminoácidos presentes no suco grama de trigo cultivada em Israel, conforme estudado por laboratórios israelenses (Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Alimentos, Instituto de Tecnologia Technion-Israel, Haifa e Aminolab, Instituto Weitzman, Rehovot).

Tabela 1 - Níveis de vitaminas e minerais em 100 ml de suco de grama de trigo.

Vitaminas e minerais	Quantidade (mg / 100 mL)
Ácido ascórbico	25,2
Ácido dehidroascórbico	7,6
Vitamina E	8,5
Caroteno	2,43
Potássio	57
Fósforo	8,2
Cálcio	2,4
Enxofre	2,37
Magnésio	1,7
Sódio	1,42
Alumínio	0,31
Zinco	0,02
Cobre	0,007

Fonte: Dr. Pnina Bar-Sella (1998).

Tabela 2 - Conteúdo de aminoácidos no suco de grama de trigo.

Aminoácido	Quantidade (µg / mL)
Ácido aspártico	510,3
Treonina	105,8
Serina	201,8
Asparagina	3039,6
Glutamina	200,6
Prolina	33,6
Glicina	20,6
Alanina	166,4
Valina	272,1
Metionina	14,0
Isoleucina	145,1
Leucina	101,0
Tirosina	121,8
Fenilalanina	200,9
Lisina	174,5
Histidina	232,2
Triptofano	160,1
Arginina	252,9

Fonte: Dr. Pnina Bar-Sella (1998).

3.1.3 Potencial terapêutico e tecnológico

Tradicionalmente, a grama de trigo tem sido usada como erva medicinal para tratar várias doenças e distúrbios e como tônico para a saúde na Índia. Ela é comercializada fresca por sistema de entrega em domicílio; no entanto, essa prática é dificultosa devido a sua alta perecibilidade. Nos países ocidentais, a ciência nutracêutica está ganhando força e a grama de trigo tem sido defendida como suplemento alimentar. A Dra. Ann Wigmore (1986), diretora fundadora nos EUA do *Hippocrates Health Institute*, Boston, EUA, foi uma das defensoras da *Wheatgrass Therapy*. Dra. Wigmore relatou que a grama de trigo e outras plantas ricas em clorofila são um tratamento seguro e eficaz para doenças como hipertensão, alguns tipos de câncer, obesidade, diabetes, gastrite, úlceras, pâncreas e problemas de fígado, fadiga, anemia, asma, eczema, hemorróidas, problemas de pele, halitose, odor corporal e constipação.

Sagliano e Sagliano (1998) definiram a grama de trigo como uma erva que tem demonstrado ser de particular uso para humanos como fonte nutricional de vitaminas, enzimas, minerais e oligoelementos.

O potencial terapêutico da grama de trigo tem sido atribuído ao seu conteúdo rico em nutrientes, incluindo vitaminas (A, B, C e E), minerais, como Fe, Ca, Mg, aminoácidos, enzimas e compostos bioativos como clorofilas, flavonóides e fenólicos (ferúlico, gálico, sinápico, singérico, p-cumárico) (ACHARYA et al., 2006; KULKARNI, 2006;; GHUMMAN, SINGH E KAUR, 2017; FORTUNĂ et al., 2018). Além disso, estudos evidenciaram que seus compostos removem toxinas do fígado e do sangue, bem como metais pesados e agentes causadores de câncer (BYERS et al., 2002; MACINTOSH, 2008). Resfriado comum, febre, bronquite, tosse, cistite, gota, dor reumática, desordens crônicas da pele e até constipação, e inflamação de boca e de garganta podem ser tratados com a grama de trigo (BYERS et al., 2002; MACINTOSH, 2008).

A clorofila, composto presente na grama de trigo, está estruturalmente relacionada à hemoglobina e à bilirrubina e foi proposta como um importante agente quimiopreventivo da dieta (VAŇKOVÁ et al., 2018). Os compostos fenólicos representam outros componentes interessante da grama de trigo, que invertem o efeito do estresse oxidativo e reduz a incidência de vários distúrbios e doenças degenerativas (CALZUOLA, MARSILI, E GIANFRANCESCHI, 2004).

Mujoriya e Bodla (2011), em estudo sobre os valores nutricionais da grama de trigo, abordaram resultados positivos alcançados na saúde, sendo utilizada para tratamento de pacientes com doenças crônicas como a asma, aterosclerose, doença de Parkinson, dores nas articulações, tuberculose, constipação, hipertensão, diabetes, bronquite, insônia, eczema, esterilidade, hemorragia, obesidade e flatulência. Khan et al. (2015) revelaram um potencial imunoprotetor e antileucêmico do extrato de grama de trigo, devido à presença de flavonóides e polifenóis.

O estudo de Parit et al. (2018) identificou um total de 297 proteínas na grama de trigo, revelando, ainda, que pode agir como um agente antioxidante devido à sua atividade de remoção de radicais livres e controlar ou tratar muitas complicações de saúde.

3.2 SECAGEM

A secagem é um dos processos de conservação mais antigos e um processo ainda muito utilizado para a preservação de diversos alimentos. A extensão da vida útil pode ser vista como a função mais benéfica da desidratação, no entanto, pode também trazer prejuízos nutricionais aos alimentos desidratados, em especial aos alimentos secos em pós, quando comparados aos alimentos *in natura*. De acordo com Hassan et al. (2007), a remoção de água pelo calor afeta o conteúdo de nutrientes dos alimentos de várias maneiras, geralmente reduzindo a concentração de alguns nutrientes importantes do alimento.

A retirada de água em alimentos pode influenciar em fatores sensoriais como cor, gosto, textura e aroma (FELLOWS, 2006). Dessa forma, a escolha de métodos que minimizem tais perdas é tão importante quanto a avaliação dos parâmetros e variáveis que possam influenciar na produção do alimento seco.

A secagem ou desidratação é uma técnica de processamento que permite aumentar a vida de prateleira, devido à redução da umidade e da atividade de água do produto e conservando boa parte das propriedades dos alimentos, além de reduzir o volume favorecendo o transporte e armazenamento dos mesmos. Muitos são os processos e equipamentos de secagem disponíveis no mercado e estudados na literatura, que podem ser mais ou menos adequados a depender das características do produto a ser seco (inteiro, em pedaços, pasta, suco etc.). Quando o produto da

secagem é o pó, este pode ser reidratado para a forma de suco ou consumido polvilhado em refeições prontas, usado como ingrediente para outros produtos, entre outras formas., visando incluir seus benefícios nos demais alimentos (CHEN e ÖZKAN, 2007; FORNY et al., 2011). Para que isso seja possível, é importante estabelecer processos e parâmetros adequados de secagem, evitando fenômenos indesejáveis, como colapso, *stickiness* (pegajosidade) e/ou *caking* (empedramento), durante a produção e o armazenamento do pó.

A qualidade nutricional dos alimentos é muito influenciada pelos métodos de secagem. A remoção de água pelo calor afeta o teor de nutrientes dos alimentos de várias maneiras. Ele pode aumentar a concentração de alguns nutrientes, tornando-os mais disponíveis ou diminuir a concentração de outros nutrientes (HASSAN et al., 2007).

A secagem é um processo complexo envolvendo fenômenos de transferência simultânea de calor e massa, requerendo um controle preciso da operação. Cada método de secagem atua de forma particular sob os princípios da transferência de calor.

Dentre as variáveis que podem impactar na velocidade de remoção da umidade, isto é, na taxa de secagem, pode-se citar a natureza física e química do material, o método de secagem e as condições de processamento. Um dos grandes desafios da secagem é conseguir um processo energeticamente eficiente e que gere, ao mesmo tempo, um produto final de qualidade para o mercado consumidor (FELLOWS, 2006; MUJUMDAR, 2007; CHEN, 2008; SABLANI E RAHMAN, 2008).

Os equipamentos de secagem podem empregar os três mecanismos de transferência de calor (condução, convecção e radiação) para transferir energia para o material. O calor pode ser transferido tanto diretamente de um gás aquecido, quanto indiretamente através de uma superfície aquecida. Fontes eletromagnéticas como micro-ondas e infravermelho também podem ser usadas como emissores de calor, assim como a radiofrequência. Ainda se tem a liofilização, em que baixas pressões promovem a sublimação da água, convertendo-a diretamente em vapor a partir do estado sólido (CHEN, 2008; SABLANI E RAHMAN, 2008). No caso da produção de alimentos em pó, que é o objetivo desse trabalho, os principais métodos que têm sido utilizados são a atomização (*spray drying*), *drum drying* e a liofilização. Nos tópicos a seguir, serão apresentados conceitos teóricos relevantes para o melhor entendimento

da secagem e os métodos utilizados nesse trabalho, *cast-tape drying* e liofilização, também serão descritos.

3.2.1 Transferência de calor

A transferência de calor pode ocorrer unicamente ou em combinação de três fenômenos: condução, convecção e radiação.

3.2.1.1 Condução

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto (KREITH & BOHN, 1977). Segundo Dare e Neme (2005), a condução depende das trocas de energia molecular no meio condutor, ocorrendo devido ao aumento de energia cinética proporcionado por uma excitação térmica em uma região de um corpo. A taxa de calor que flui através de um elemento opaco é função do material que o constitui, da espessura do elemento e do gradiente de temperatura. A grandeza física que caracteriza se um material é melhor ou pior condutor de calor chama-se condutividade térmica (RODRIGUES, 1988).

A expressão quantitativa que relaciona a gradiente de temperatura, a natureza do meio condutivo e a taxa de transferência de calor é atribuída a Fourier, o qual, em 1822, apresentou a Equação 1:

$$q'' = -k\nabla T \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

em que, q'' é o fluxo de calor (W/m^2), é o operador diferencial tridimensional e $T(x, y, z)$ é o campo escalar de temperatura, k é uma propriedade de transporte, conhecida como condutividade térmica (W/mK) e é característica do material (WELTY, 1974).

3.2.1.2 Convecção

Na convecção, a transferência de calor ocorre somente entre os fluidos e esses necessariamente deverão estar em movimento. A convecção pode ocorrer de

forma natural, em que pelas diferenças de pressão gera o movimento devido a uma variação de temperatura, e forçada, quando a massa de fluido está em movimento com variação de temperatura e são influenciadas por um agente que faz com que essa massa de fluido acelere ou desacelere variando assim a velocidade (ALENCASTRO, 2015).

A equação que descreve a taxa de transferência de calor por convecção pode ser expressa por meio da Equação 2:

$$q''_c = hA(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

em que q''_c é o fluxo de calor convectivo (W/m^2), sendo proporcional à diferença de temperaturas entre a superfície (T_s) e o fluido (T_∞) e h é o coeficiente de transferência de calor por convecção.

3.3.1.3 Radiação

A radiação é o fenômeno de transferência de calor que ocorre sem que haja necessariamente um contato entre os corpos, há somente transmissão de energia. Essa energia transmite-se em forma de ondas eletromagnéticas através de radiação térmica (DARÉ & NEME, 2005).

Ao contrário da condução e da convecção, a radiação não necessita de um meio material para ocorrer, sendo mais eficiente no vácuo. A radiação pode ser vista, a partir da mecânica quântica, como a propagação de um conjunto de partículas denominadas fótons ou quanta (INCROPERA et al., 2007).

A habilidade de um corpo emitir energia radiante é chamada de emissividade, que é uma característica de uma superfície e que depende não apenas do tipo de material, mas da condição da superfície e do comprimento de onda em que a radiação é emitida, o que por sua vez depende da temperatura do corpo (ALENCASTRO, 2015).

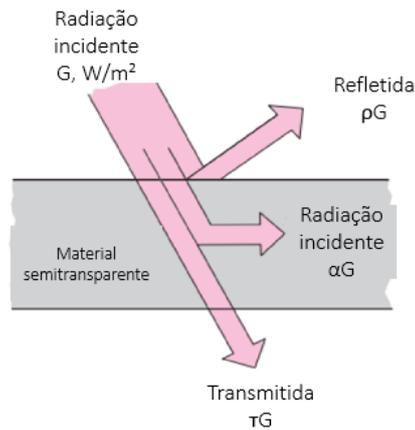
A radiação incidente G sobre um corpo pode ser absorvida, transmitida e/ou refletida, sendo essa relação expressa pela Equação 3:

$$G = \alpha G + \rho G + \tau G \quad (3)$$

em que, α é a absortividade, ρ é a refletividade e τ é a transmissividade.

Na Figura 4 está mostrado um esquema da reflexão, da absorção e da transmissão da radiação por um corpo.

Figura 4 - Dispersão da radiação incidente.



Fonte: Çengel (2012).

3.2.2 Fundamentos da secagem

Nos processos de secagem, os dados experimentais são obtidos como a variação da massa do produto durante o tempo de processo. Esses dados são normalmente apresentados em termos da variação da umidade do produto em função do tempo e da taxa de secagem em função do tempo e/ou da umidade. A umidade do produto (em base seca) é definida pela razão entre a massa de água e a massa de sólidos secos, conforme a Equação 4 (GEANKOPLIS, 2003).

$$X_T = \frac{M_s - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (4)$$

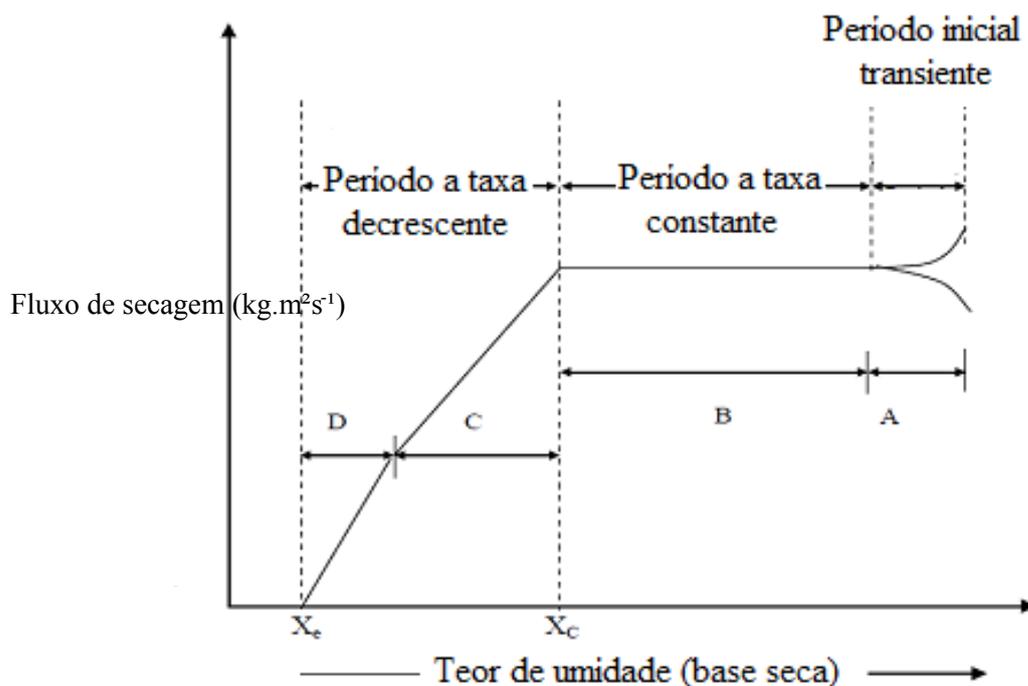
em que X_T é a umidade do produto em base seca (b.s.) (g de água/g de sólidos secos), M_s é a massa (g) de sólido úmido (sólidos e umidade) e M_{ss} é a massa (g) de sólidos secos.

As curvas de secagem são construídas utilizando a umidade em função do tempo t . A taxa de secagem pode ser obtida calculando-se a derivada dessa curva, fornecendo os valores de dX/dt , para determinados tempos de secagem, conforme a Equação 5:

$$R = \frac{M_{ss}}{A} \frac{dX}{dt} \quad (5)$$

em que R é o fluxo de secagem ($\text{kg de água/m}^2 \cdot \text{min}$), M_{ss} é a massa de sólidos secos e A é a área da superfície exposta ao ar de secagem (m^2). Na Figura 5, está apresentada uma curva típica de taxa de secagem.

Figura 5 - Curva típica da taxa de secagem para condições constantes de processo.



Fonte: Adaptado de Jangam e Mujumdar (2010).

De acordo com a figura, em um primeiro momento ocorre um ajustamento da temperatura do sólido, o qual geralmente está mais frio do que o meio de secagem. Esta etapa pode ser visualizada pelo período A, apresentado na Figura 5. Após esse período, inicia-se o período de secagem a taxa constante, representado na figura pelo período B, em que as temperaturas da superfície e do interior do sólido úmido tendem a ser iguais à temperatura de secagem, mas a concordância entre elas é parcial, em virtude das defasagens entre as transferências de calor e de massa. Neste período, toda a superfície exposta do sólido está saturada de água e um filme contínuo de água existe na superfície do produto. Esta água está completamente livre e age como se o sólido não estivesse presente (a secagem ocorre como se o sistema fosse água pura evaporando, sendo que as maiores resistências à transferência de calor e massa não se encontram no sólido). A partir da umidade crítica inicia-se o período de secagem a taxa decrescente, representado pelos períodos C e D da Figura 5. No período de

secagem à taxa decrescente, a temperatura da superfície do produto aumenta e a taxa de secagem decresce rapidamente, pois a umidade na superfície não é suficiente para manter a película de filme de água, ocorrendo migração de umidade a partir do interior do sólido. A quantidade de umidade removida neste período é menor que no período a taxa constante, implicando em maiores tempos de secagem para a mesma massa de água removida. Com o avanço do processo, a taxa de secagem aproxima-se de zero, quando se atinge a umidade de equilíbrio, que é a menor umidade atingível no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido (GEANKOPLIS, 2003).

3.2.3 *Cast-tape drying* (CTD)

Cronologicamente, antes de descrever o processo CTD, é importante conhecer a história e as características do *refractance window* (RW). O RW foi patenteado por Magoon (1986) e desenvolvido pela MCD Technologies, Inc. (Tacoma, Washington, E.U.A.) (ABONYI et al., 2002). Esse processo consiste em acondicionar ou espalhar o alimento a ser seco (geralmente líquido, pastoso ou semilíquidos) sob um filme de poliéster semitransparente a radiação infravermelha. Enquanto na face superior desse filme está o alimento a ser seco, a face inferior está em contato íntimo com água aquecida (ABONYI et al., 2002; NINDO et al., 2003). De acordo com Abony et al. (2003) e Nindo et al. (2003), como o alimento a ser seco tem elevada umidade, ao ser depositado sobre o filme de poliéster, este consegue transmitir a radiação infravermelha emitida pela água aquecida, por meio de uma abertura de uma janela de transmissão; por isso o nome *refractance window*. No fim da secagem, o alimento com baixa umidade impede a transmissão dessa energia, fechando, portanto, a janela e encerrando-se a secagem (ORTIZ-JEREZ et al., 2015).

Os primeiros trabalhos publicados na literatura sobre o RW relatavam que nesse método de secagem utilizavam-se baixas temperaturas e que as taxas de secagem eram elevadas, pois nele estariam presentes os três modos de transferência de calor (condução, convecção e radiação). Na Figura 6, está apresentado um esquema dos fenômenos de transferência de calor durante a secagem por RW. Conforme pode ser observado no esquema da Figura 6, na interface água quente-filme têm-se presente a condução, a convecção e a radiação; através do filme de

poliéster ocorre a condução e a radiação e na interface ar-filme tem-se a convecção (ORTIZ-JEREZ et al., 2015).

Figura 6 - Transferência de calor por *refractance window*.



Fonte: Ortiz-Jerez, adaptado (2015).

As aplicações do método se expandem também nas indústrias farmacêutica, nutracêutica, cosmética e de manipulação de pigmentos. Na indústria de alimentos, o método tem sido utilizado, principalmente, para a secagem de polpas de frutas e hortaliças.

Métodos de secagem por contato, como tambor ou cilindro combinado e a secagem por esteira (CBD), são provavelmente os que mais se aproximam da técnica de secagem por RW (NINDO & TANG, 2007). A operação do equipamento de RW foi descrita por Clarke (2004) para uma planta comercial de secagem. A planta de RW é composta de módulos. Cada módulo tem aproximadamente 6 m de comprimento e 2,4 m de largura. Existe uma seção de aplicação do produto líquido e uma seção de remoção de produto seco em cada extremidade da máquina. Módulos podem ser adicionados para aumentar a produtividade. O processo RW usa água quente para fornecer a fonte de calor para a desidratação. A água para cada módulo é continuamente recirculada e mantida a uma temperatura definida à medida que a energia térmica é transferida para o produto.

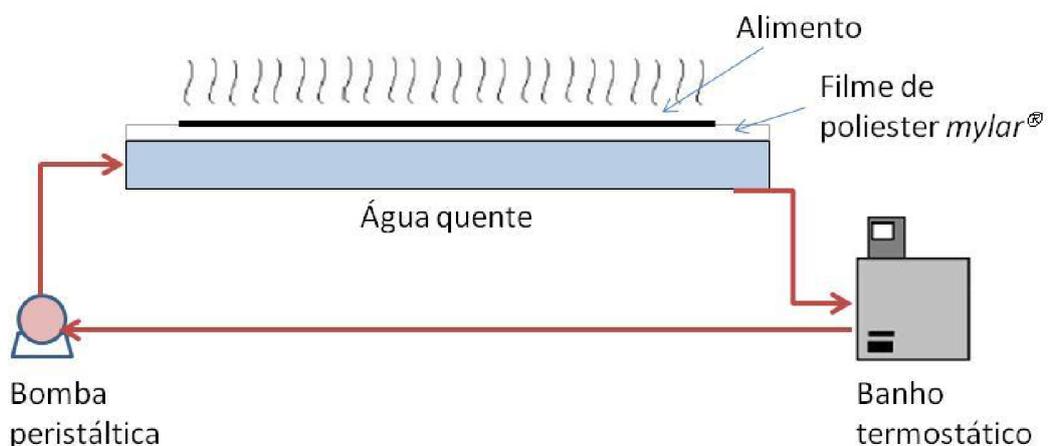
Esse método permite a secagem de polpas e alimentos semilíquidos por radiação infravermelha e condução, permitindo assim que as temperaturas de processamento sejam moderadas (60-80 °C), os tempos de secagem sejam relativamente curtos (alguns minutos) e com custos razoáveis (ABONYI et al., 2002;

NINDO et al., 2003a; NINDO E TANG, 2007; CAPARINO et al., 2012; PAVAN et al., 2012; CASTOLDI et al., 2015; ZOTARELLI et al., 2015; DURIGON et al., 2016; FRABETTI, 2017). O *refractance window* foi aplicado na secagem de cenoura, morango (ABONYI et al., 2002), abóbora (NINDO et al., 2003), tomate (DURIGON et al., 2016), manga (CAPARINO et al., 2012) e romã (BAEGHBALI et al., 2016).

Em 2015, Zotarelli et al. (2015) publicaram um trabalho em que foi realizado um balanço energético no processo de secagem por RW para elucidar a contribuição da radiação nesse processo de secagem. De acordo com os autores, a radiação contribui com aproximadamente 3% do total de calor para a secagem nesse processo. Dessa maneira, o principal mecanismo envolvido nesse processo é condução de calor da água quente para o filme (ZOTARELLI et al., 2015; ORTIZ-JEREZ et al., 2015). Com isso, foi sugerido que o mais adequado seria nomear esse processo de *cast-tape drying* (CTD). Estudos posteriores demonstraram ser possível alterar o filme de poliéster por outros materiais, como o Teflon®, mantendo-se as mesmas taxas de secagem e capacidades evaporativas, reforçando ser um método com maior contribuição da condução (FRABETTI, DURIGON & LAURINDO, 2018).

Essa alteração não diminui a eficiência que esse processo tem para a secagem de diversos produtos. Na Figura 7, está apresentado um esquema de um CTD em batelada.

Figura 7 - Esquema da unidade experimental para secagem por *cast-tape drying*.



Fonte: Zotarelli et al. (2015) (adaptado).

A quantidade de energia presente na secagem por *CTD* depende da temperatura da fonte de aquecimento, espessura da folha de plástico sendo utilizada, espessura da pasta de alimento a ser seca e sua umidade (RATTI & MUJUMDAR, 1995).

O RW/*CTD* tem sido estudado como alternativa a outros métodos de secagem por apresentar potencial de diminuir os efeitos prejudiciais causados pela secagem dos alimentos no que diz respeito à cor, sabor e nutrientes. O RW foi comparado com secagem em bandejas (NINDO et al., 2003; ABUL-FADL et al., 2011; OCHOA et al., 2012), secagem em tambor (ABONYI et al., 2002; CAPARINO et al., 2012), secagem em *spray dryer* (CAPARINO et al., 2012; BAEGHBALI et al., 2016), secagem em estufa (JAFARI et al., 2016), liofilização (ABONYI et al., 2002; NINDO et al., 2003; CAPARINO et al., 2012).

3.2.4 Liofilização

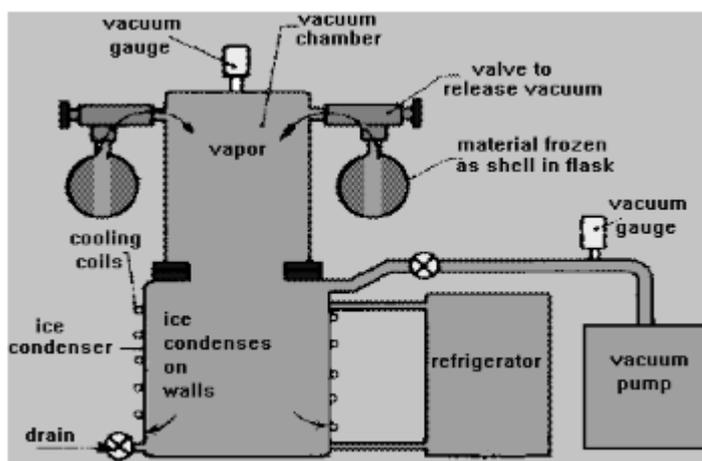
O processo de liofilização consiste em um processo de secagem do material por meio da sublimação da parte congelada a temperaturas baixas e sob vácuo. Essa tecnologia foi desenvolvida para superar as perdas de compostos responsáveis pelos aromas nos alimentos, os quais são muito suscetíveis às modalidades de processamento que empregam temperaturas elevadas, como a secagem convencional (BARBOSA-CÁNOVAS & VEGA-MERCADO, 1996). Em várias plantas aromáticas e medicinais, o método de liofilização é o mais recomendado na retenção de componentes da planta (ABASCAL et al., 2005).

De forma geral, os produtos liofilizados apresentam qualidade superior à dos produtos obtidos utilizando os outros métodos de secagem. Um fator importante é a rigidez estrutural proporcionada pela substância congelada quando a sublimação ocorre. Esta rigidez previne o colapso da matriz porosa remanescente após a secagem. Quando a água é adicionada posteriormente, o produto reidratado mantém muito de sua estrutura original. Outra vantagem dos materiais biológicos e alimentos liofilizados é a pequena perda de sabor e aroma. A ausência de ar e o uso de baixas temperaturas minimizam as reações de degradação e modificações no produto, as quais normalmente ocorrem em outros processos de secagem (GEANKOPLIS, 2003; LIAPIS & BRUTTINI, 2006).

Na liofilização primeiramente, a amostra é congelada, formando cristais de gelo. Em uma segunda etapa, o material que foi congelado é submetido a um ambiente de vácuo. Isso diminui a pressão de vapor da água congelada contida no material. O calor é aplicado ao meio ambiente, removendo a água do material por meio do processo de sublimação. Para evitar que a fase líquida da água seja congelada, é absolutamente imprescindível baixar a pressão parcial da água abaixo da pressão do ponto triplo. O ponto triplo é o ponto onde três fases - líquida, sólida e vapor - coexistem em uma determinada temperatura e pressão. O vapor de água da amostra passa pelo condensador, evitando a reabsorção pelo produto ou saturação do ambiente da câmara.

Os liofilizadores constituem-se basicamente pelos elementos: câmara de vácuo, fonte de calor, condensador e bomba de vácuo. A câmara de vácuo (onde o alimento fica contido) tem por objetivo diminuir a pressão, para que não ocorra fusão do gelo. A fonte de calor tem a finalidade de suprir calor latente de sublimação; alguns liofilizadores, como os de bancada, não apresentam essa função. O condensador é formado por serpentinas de refrigeração que transformam os vapores diretamente em gelo (executando a chamada sublimação inversa), sendo que este é adaptado com dispositivos automáticos de descongelamento, a fim de manter área máxima de serpentina livre para que haja uma maior eficiência do processo; tendo em vista que a maior parte do consumo de energia ocorre na refrigeração dos condensadores, estes dispositivos proporcionam economia na liofilização. A bomba de vácuo tem a finalidade de remover os vapores não condensáveis (IBARZ e BARBOSA-CANOVAS, 2003). Na Figura 8, está apresentado um esquema de um liofilizador de bancada.

Figura 8 - Esquema de liofilizador de bancada sem aquecimento.



Fonte: Cross (2020).

Alimentos liofilizados são produtos com alto valor agregado por reter grande parte de seus nutrientes originais, uma vez que empregam baixas temperaturas em seu processamento. Entretanto, os produtos liofilizados tendem a ser mais porosos, podendo reidratar mais rapidamente quando expostos a um ambiente úmido, o que nem sempre é uma característica desejável (OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2012). O custo operacional é expressivamente maior quando comparado aos produtos secos por outros métodos, devido às baixas taxas de secagem e ao uso do vácuo (GEANKOPLIS, 2003). Desse modo, necessitando-se, assim, de pesquisas que minimizem os custos operacionais, ofertando, dessa maneira, produtos liofilizados a um preço competitivo. Além disso, a qualidade final do produto, considerando-se os aspectos nutritivos e sensoriais, também deve ser investigada para garantir alimentos seguros e nutritivos aos consumidores (GEANKOPLIS, 2003).

Sharma et al. (2019) estudaram a degradação de compostos bioativos da grama de trigo seca por liofilização e, de acordo com os autores, o método ajudou a proteger os constituintes sensíveis ao calor, que desempenharam um papel significativo no bloqueio de distúrbios metabólicos degenerativos. Em várias plantas aromáticas e medicinais, a liofilização é o método mais recomendado para a retenção de componentes da planta (ABASCAL et al., 2005). Devi et al. (2019), realizou um estudo comparativo de diferentes métodos de secagem de grama de trigo e, segundo os autores, a liofilização preservou melhor os compostos bioativos e a atividade antioxidante da grama de trigo.

3.3 PRODUTOS EM PÓ

Os produtos em pó se adaptam de forma positiva aos novos hábitos de consumo da população, por sua estabilidade física, química e microbiológica, praticidade de preparação e vida útil prolongada. Estas razões têm motivado pesquisadores a desenvolverem processos para a produção de frutas e hortaliças em pó. Esses produtos devem apresentar características desejáveis pelo consumidor, como boa capacidade de reidratação, cor e aroma atrativos e serem nutricionalmente mais próximos possível dos produtos *in natura* (ZOTARELLI, 2014). Mas, para se atingir a estabilidade esperada dos pós, algumas características físicas e químicas devem ser observadas antes, durante e após o processo de secagem desses produtos. Essas características serão abordadas nos próximos itens.

3.3.1 Atividade de água

A atividade de água é um fator importante a ser observado em alimentos e representa a água mais fracamente ligada aos constituintes do alimento, estando mais disponível para crescimento microbiano e para as reações químicas e enzimáticas no alimento. Esta é a água livre de ligação do alimento e é uma medida vital para determinação da qualidade e segurança dos alimentos, podendo afetar sua vida útil, textura, sabor e aroma (JANGAM e MUJUMDAR, 2010). A medição da atividade de água em produtos desidratados permite explicar e/ou avaliar o desenvolvimento de microrganismos e a velocidade de reações enzimáticas, oxidações de lipídeos, hidrólises e escurecimento não-enzimático.

A atividade de água em alimentos é uma propriedade termodinâmica, que pode ser definida, em baixas pressões, como a razão entre a pressão de vapor d'água em equilíbrio no alimento e a pressão de vapor da água pura, medidas à mesma temperatura, conforme apresentado na Equação 6.

$$a_w = \frac{P_v}{P_v^0} |_{T_{cte}} \quad (6)$$

em que a_w é atividade de água, P_v é a pressão de vapor da água no alimento e P_v^0 é a pressão de vapor da água pura (FENNEMA, 1996).

3.3.2 Higroscopicidade

A higroscopicidade pode ser definida como a capacidade de adsorver/dessorver umidade do ambiente, quando não controlada pode provocar aglomeração, granulação, revestimento, dissolução, dispersão, secagem ou ressecamento (nos dois últimos, quando o alimento perde umidade para o ambiente). Essa característica é marcante essencialmente para os alimentos em pó, sendo influenciada pela concentração de umidade do próprio produto (PEREIRA, 2000).

De acordo com Alves (2007) essa propriedade deve ser considerada, tanto do ponto de vista industrial quanto comercial, pois influencia em setores de embalagem (auto-aglomeração e perda de fluidez) e, também, está intimamente ligada à estabilidade físico-química e microbiológica dos produtos.

A higroscopicidade é a relação entre a água e os outros componentes de um produto, deve ser considerada no processamento de alimentos porque influencia na estabilidade dos produtos desidratados, nas operações de manuseio, estocagem e consumo (LABUZA, 1983).

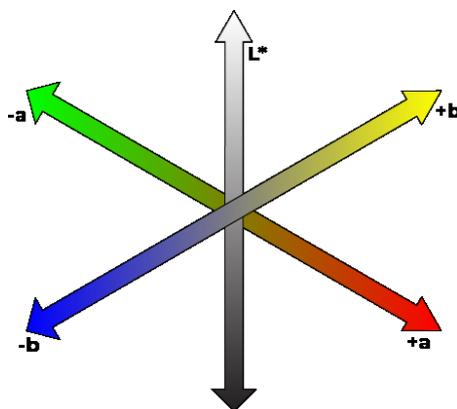
3.3.3 Cor

Alterações na cor do produto após desidratado podem estar ligadas à perda de nutrientes, aplicação de elevadas temperaturas e alterações nos compostos. Do ponto de vista comercial, é um dos principais e primeiros fatores observados pelo consumidor, dada a sua importância de caracterização do alimento.

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), os produtos vegetais apresentam três tipos principais de pigmentos: clorofilas, carotenoides e antocianinas. As clorofilas são responsáveis pela coloração verde, sendo encontradas em frutos novos e nas folhas; os carotenoides, geralmente, indicam tons de cor amarela ao laranja, predominante em frutos cítricos; e, por último, as antocianinas são os pigmentos com coloração vermelha, púrpura ou violeta da maioria das frutas.

As medidas de coloração podem ser expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e da cromaticidade definida por a^* ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e b^* ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul). A variação das medidas em comparação com o alimento fresco ou em pó pode atuar de maneira correlacionada a outras propriedades dos componentes. Na Figura 9, está ilustrada essas variações de cor.

Figura 9 - Esquema de parâmetro de cores.



Fonte: Ferreira e Spricigo (2017).

3.4 COMPOSTOS FENÓLICOS

As substâncias antioxidantes ajudam a proteger o organismo contra o estresse oxidativo, o qual gera excesso de radicais livres que podem causar alterações no DNA, doenças cardiovasculares, degenerativas e neurológicas. Um antioxidante pode ser definido, então, como qualquer substância que, quando presente em baixas concentrações comparadas à do substrato oxidável, retarda significativamente ou inibe a oxidação do mesmo. Recentemente, tem surgido um grande interesse no uso de compostos antioxidantes em suplementos nutricionais. Profissionais recomendam uma alta ingestão de alimentos ricos em antioxidantes, dos quais frutas e vegetais são as principais fontes. Chá, café e vinho são outras fontes interessantes (DIPLOCK et al., 1988; SHAHIDI et al., 1992).

Os compostos fenólicos são substâncias consideradas metabólitos secundários das plantas, com diferentes estruturas químicas e atividades, gerados naturalmente durante a maceração e germinação. Estes são posteriormente sintetizados durante o crescimento e o desenvolvimento normais, bem como em resposta a condições de estresse moderado, como radiação sub ou supra-ótima, salinidade, potencial hídrico, minerais e metais pesados (WANGCHAROEN E PHIMPHILAI, 2016). Os compostos fenólicos têm propriedades antioxidantes, como eliminação e inibição de espécies reativas de oxigênio, eliminação de eletrófilos e quelação de metais (PEREIRA et al., 2009).

Os grupos hidroxila fenólicos são bons doadores de hidrogênio e podem reagir com espécies de oxigênio e nitrogênio de radicais orgânicos. A reação forma radicais estáveis atrasando ou interrompendo a oxidação de radicais (PEREIRA et al., 2009). Devido às suas propriedades antioxidantes, os compostos fenólicos são benéficos contra o diabetes, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, mutagênese e carcinogênese (BOUDET, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em sua grande maioria no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas.

4.1 MATÉRIA-PRIMA

4.1.1 Plantio e colheita

Para a obtenção do material, foi necessário o cultivo dos grãos de trigo. Os grãos de trigo foram semeados em horta doméstica (área aberta e vasilhame de plástico) no município de Patos de Minas-MG. A semeadura dos grãos foi realizada sobre a terra e uma camada de terra extra foi acrescentada sobre os grãos. As sementes plantadas receberam irrigação automática por 15 minutos duas vezes ao dia. Na Figura 10, estão mostradas as etapas de plantio e o crescimento dos grãos de trigo.

Figura 10 - a) Semeadura dos grãos de trigo; b) Brotos de trigo com 4 dias; c) Grama de trigo com 16 dias.



Fonte: A autora (2020).

Na Figura 10, (a) está mostrada a semeadura dos grãos, na (b) após 4 dias da semeadura, em que os grãos de trigo começaram a brotar e em (c) com 16 dias, período em que já pode ser realizada a colheita. A colheita ocorreu entre o décimo sexto e o vigésimo dia, estando correspondida na etapa de afilamento com a abertura de uma terceira folha, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Grama de trigo colhida após afilhamento da terceira folha.



Fonte: A autora (2020).

4.1.2 Preparo da polpa da grama de trigo

Após colheita, a grama foi lavada em água corrente, cortada com faca em pedaços de, aproximadamente, 1 centímetro e foram testados 4 tipos de preparos para redução do tamanho e formação da polpa. O *tratamento 1* consistiu em triturar a grama em moinho de facas (FORTINOX, STAR FT 50, BRASIL); no *tratamento 2* a grama foi triturada em liquidificador sem adição de água; no *tratamento 3* adicionou-se água à grama e ela foi triturada no liquidificador; no *tratamento 4* a amostra foi submetida a congelamento e armazenamento a aproximadamente -65°C (*ultra freezer* Indrel, IULT CRP 335D) e, posteriormente, foi triturada no liquidificador, imediatamente antes de realizar os experimentos de secagem. No fluxograma apresentado na Figura 12, é sintetizada a metodologia empregada para o preparo da polpa de grama de trigo.

Figura 12 - Fluxograma dos processos de tratamento pra obtenção da polpa da grama de trigo.



Fonte: A autora (2020).

4.1.3 Armazenamento

Após definir o tratamento 4 como o procedimento de preparação da amostra a ser seca (conforme é discutido no item 5), a polpa obtida foi acondicionada em embalagens plásticas de polipropileno, com conteúdo de 500 mL e armazenada a -64°C em ultra freezer (Indrel, IULT CRP 335D), onde permaneceu até a realização do processo de secagem. Antes da secagem, para cada experimento, a amostra foi acondicionada em refrigerador doméstico para descongelamento.

4.2 CAST-TAPE DRYING (CTD)

4.2.1 Equipamento para *cast-tape drying* (CTD)

Para a realização dos experimentos de secagem por *cast-tape drying*, foi utilizado um equipamento que opera em batelada disponível no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias do curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia Química, no *Campus* Patos de Minas, da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando o mesmo princípio do equipamento industrial.

O dispositivo consiste em um reservatório (bandeja de dimensões 0,8 m × 0,4 m × 0,05 m) com água quente circulando, proveniente de um banho ultra termostaticado (SOLAB, modelo SL152/18, Brasil). Na Figura 13, está apresentada

uma fotografia da unidade de secagem por CTD. O filme *mylar*, de espessura 0,25 mm, foi fixado no reservatório, em que a face inferior estava em contato com a água quente e sua superfície superior suportou a polpa de grama de trigo a ser seca. Um sistema de exaustão foi utilizado a fim de diminuir as trocas de calor da superfície com o ambiente e favorecer a secagem convectiva, este exaustor pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 13 - Equipamento *cast-tape dryer*.



Fonte: A autora (2020).

Figura 14 - Sistema de exaustão acoplado à unidade de *cast-tape drying*.



Fonte: A autora (2020).

4.2.2 Controle da temperatura de secagem

A temperatura da água circulante no equipamento, apesar de ser regulada pelo banho, não pode ser considerada a temperatura de secagem das amostras, tendo em vista que há perdas de calor para o ambiente. Dessa forma, considerou-se como a temperatura de secagem a temperatura atingida no filme de poliéster (Mylar®), a qual foi aferida com um termômetro de infravermelho (CAUTION, IR THERMOMETER MT-320, BRASIL), com o auxílio de uma tira de fita isolante aderida na face superior do filme e na região central do equipamento (servindo como referência, uma vez que sua emissividade é de 0,95) (DURIGON, 2016).

A fim de definir as temperaturas médias atingidas pelo filme foram realizados três experimentos com medições em triplicata considerando 5 pontos: entrada (E), fluxo inicial (1), fluxo médio (2), fluxo final (3) e saída (S). Na Figura 15, está mostrado o posicionamento dos pontos de leitura.

Figura 15 - Pontos de leitura de temperatura no filme de secagem CTD.



Fonte: A autora (2020).

4.2.3 Condições do processo de secagem

Para obtenção do produto seco, foram investigados os efeitos de três diferentes temperaturas da água circulante (65, 80 e 95 °C) e duas espessuras de amostras (2 e 4 mm). A camada de polpa com as espessuras determinadas foi

alcançada utilizando-se moldes de acrílico com as espessuras definidas. Na Figura 16, está apresentado o espalhamento da polpa sobre o *cast-tape dryer*.

Figura 16 - Espalhamento da polpa de grama de trigo sobre o *cast-tape dryer*.

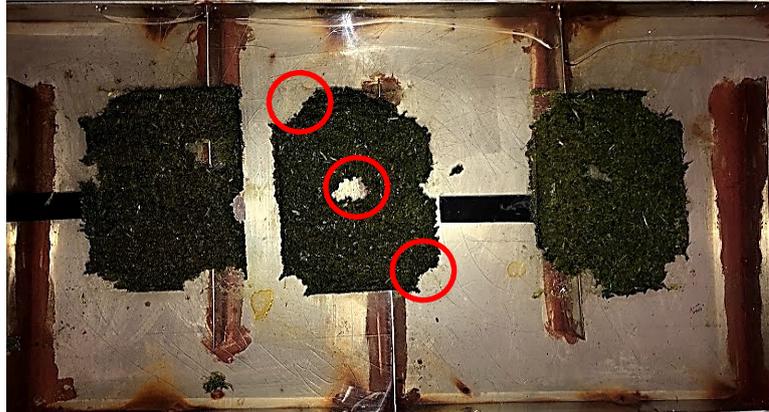


Fonte: A autora (2020).

4.2.4 Determinação da cinética de secagem

A cinética de secagem da pasta de grama de trigo foi realizada em intervalos de dez minutos. Três amostras foram retiradas em posições aleatórias da camada formada pela pasta e de preferência da parte central, evitando-se o efeito de borda, como é mostrado na Figura 17. Para todos os intervalos de tempo, as amostras foram colocadas em cadinhos de metal (com massa conhecida) (Figura 18), em seguida realizou a pesagem (da massa do cadinho mais a massa da amostra) e, posteriormente, esses cadinhos foram encaminhadas para a estufa para sua determinação da umidade, conforme será descrito no item 4.3.1. Dessa forma, o comportamento da variação da umidade em função do tempo pode ser avaliado para as diferentes condições de secagem (temperatura e espessura).

Figura 17 - Retirada de amostras para cinética.



Fonte: A autora (2020).

Figura 18 - Amostras retiradas para realizar cinética de secagem.



Fonte: A autora (2020).

As medidas de temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram realizadas com o termo-higrômetro digital (Incoterm, modelo 7663.02.0.00, Brasil) com precisão da temperatura de 1% e com precisão da umidade relativa de 5%.

4.3 LIOFILIZAÇÃO

O equipamento utilizado foi um liofilizador de bancada (modelo L-101, marca Liotop, Brasil) que consiste em uma câmara de secagem acrílica cilíndrica e transparente, conforme apresentado na Figura 19. Na parte superior da câmara, há uma tampa em aço inox que acopla oito torneiras de silicone para o encaixe dos frascos (cones) de vidro com o sistema de alívio de vácuo e, no interior da câmara de

secagem, há um suporte em aço inoxidável para quatro bandejas de inox. A polpa de grama de trigo obtida foi espalhada em bandejas de alumínio, com espessura aproximada de 2 mm, e congeladas (*ultra freezer* Indrel, IULT CRP 335D) a -65°C por 24 h. Após este período, as bandejas foram acomodadas nas prateleiras do interior da câmara de secagem do liofilizador e iniciou-se a etapa de sublimação, na qual a bomba de vácuo foi acionada e a pressão mantida em 0,15 mmHg por um período de 48 h.

Figura 19 - Equipamento de liofilização.



Fonte: A autora (2020).

4.4 OBTENÇÃO DO PÓ

Ao fim da secagem, o filme seco obtido foi submetido à moagem no moinho de facas (FORTINOX, STAR FT 50, BRASIL), contendo peneira *mesh* 10 (abertura 2,00 mm) por, aproximadamente, 15 s visando apenas à desagregação das partículas.

4.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA AMOSTRA *IN NATURA* E DO PÓ DE GRAMA DE TRIGO

A grama de trigo *in natura*, seca por CTD e liofilização foi caracterizada em relação à umidade, higroscopicidade (*exceto in natura*), cor, morfologia das partículas

(exceto *in natura*), concentração de compostos fenólicos e distribuição granulométrica. Todas as análises foram realizadas em triplicata de amostra e experimento.

4.5.1 Umidade

A umidade das amostras foi determinada segundo a metodologia descrita pela A.O.A.C. (1997). Aproximadamente 1,0 g do material, tanto *in natura* quanto das amostras secas de pós, foi levado à estufa convectiva (Nova Ética modelo 402-3D) por 24 h na temperatura de 105 °C. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e acondicionadas em dessecadores para o resfriamento; posteriormente a massa foi medida. A umidade, em base úmida, foi calculada por meio da relação mássica antes e após a secagem das amostras, conforme apresentado na Equação 7:

$$X = \frac{m - m_{ss}}{m} \times 100 \quad (7)$$

em que, X é umidade da amostra em base úmida (%), m é a massa da amostra úmida (massa de água + massa de sólido seco) (g), m_{ss} é a massa de sólido seco (g).

4.5.2 Higroscopicidade

A higroscopicidade dos pós foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. Aproximadamente 0,5 g de cada amostra foi colocada em um recipiente hermético (dessecador) contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29 %) a 25 °C e, após 7 dias, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g) e calculada conforme apresentado na Equação 8:

$$H = \frac{m_i}{x} \cdot 100 \quad (8)$$

em que, H representa a higroscopicidade (g de água adsorvida/100 g de sólidos); m_i é a massa inicial da amostra (g); x é a massa de umidade adsorvida (g).

4.5.3 Análise instrumental de cor

A cor das amostras de grama de trigo antes e após a secagem foram analisadas por reflectância por meio de um colorímetro (Konica Minolita CR-400/410), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As amostras foram analisadas a 25 °C e as medidas de coloração expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e da cromaticidade definida por a^* ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e b^* ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul). A diferença de cor (ΔE^*) foi obtida através da Equação 9.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (9)$$

em que ΔE^* é a mudança total na cor das polpas reconstituídas a partir dos pós de grama de trigo com relação à polpa inicial, no qual o subscrito “0” representa o valor do parâmetro de cor original da polpa.

4.5.4 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram extraídos da polpa *in natura* e do pó da grama de trigo, segundo a metodologia descrita por Savic e Gajic (2020) com adaptações. Foram adicionados 10 mL de metanol em um tubo Falcon contendo aproximadamente 0,5 g de amostra. O sistema foi colocado em um banho ultrassônico (Sanders Medical, modelo SoniClean 6) com aquecimento máximo de 60°C por 15 min. Em seguida os extratos foram centrifugados (High Speed Refrigerated Centrifuge, modelo Neofuge RF, China) a 12000 rpm durante 15 min e filtrados com filtro de papel.

A determinação da quantidade de compostos fenólicos foi realizada pelo método de *Folin-Ciocalteu*, método que envolve a redução do reagente pelos compostos fenólicos das amostras com formação de complexo azul, cuja intensidade aumenta linearmente a 765 nm. A metodologia foi proposta por Shahidi e Naczki (1995). Para a determinação, 0,5 mL do extrato fenólico foram diluídos em 0,5 mL de água e adicionados a 1 mL do reagente *Folin-Ciocalteu* diluído (1:10) (v/v). A mistura foi agitada COMO, ONDE, POR QUANTO TEMPO?? e, em seguida, permaneceu em repouso durante 3 min em local escuro. A seguir, foram adicionados sequencialmente 3,75 mL de uma solução de carbonato de cálcio 0,2 % e 1,5 mL de água destilada. A solução permaneceu em ambiente escuro durante 1 hora. O branco foi preparado com a mesma composição das demais amostras, substituindo o extrato fenólico por água

destilada nas mesmas proporções. Ao final do período de repouso, a absorvância das amostras foi lida em espectrofotômetro (Kasuki, modelo IL-592-LC-BI, China). A quantidade de compostos fenólicos totais foi expressa em mg equivalente de ácido gálico (EAG) / 100 g amostra em base seca.

4.5.5 Morfologia das partículas - Microscopia Eletrônica de Varredura

As microscopias das amostras secas de grama de trigo foram realizadas utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura (Modelo EVO MA 10, ZEISS) disponível na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQUI - UFU).

4.5.6 Distribuição granulométrica

Para as amostras do produto seco, foi determinada a distribuição granulométrica e calculado o diâmetro médio de Sauter após a desfragmentação das mesmas em moinho de facas (FORTINOX, STAR FT 50, BRASIL). Desta forma, amostras de aproximadamente 15 g foram pesadas em balança analítica e colocadas sobre um jogo de peneiras também previamente pesadas, de malhas mesh Tyler 9, 10, 12, 14, 16, 20, 28, 32, 42, 48, 60, 65, 80, 100, 115, 150, 170, com fundo e tampa. As peneiras foram colocadas sobre agitador vibratório (Haver E Boecker, modelo Haver EML Digital Plus, Alemanha), durante 10 minutos sob amplitude de vibração de 1,5 mm. Ao final do tempo, as peneiras e o fundo foram cuidadosamente pesados para verificar a quantidade de pó retido em cada um deles. O diâmetro médio de Sauter foi calculado a partir das massas de pó retidas em cada peneira por meio da Equação 10.

$$\underline{D} = 1 / \sum_i \frac{\Delta x_i}{D_i} \quad (10)$$

em que \underline{D} é o diâmetro médio de Sauter, Δx_i é a fração em massa retida e D_i é o diâmetro médio em cada faixa da distribuição (CREMASCO, 2012; PEÇANHA, 2014).

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O tratamento estatístico dos resultados obtidos foi realizado com o auxílio do software STATISTICA® 7.0. A fim de verificar a existência de diferenças significativas entre os parâmetros avaliados nos diferentes processos de secagem da polpa de grama de trigo e nas diferentes condições de secagem empregadas foi realizada análise de variância simples (ANOVA). A comparação de médias para os fatores que apresentaram diferença significativa a um nível de significância de 10% ($p < 0,10$) foi realizada através do teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PREPARO DA POLPA DA GRAMA DE TRIGO

Para o tratamento 1, em que a amostra foi submetida ao moinho de facas, observou-se que, devido à estrutura da folha de grama de trigo, que apresenta uma lâmina fina, as facas do moinho não conseguiram reduzir seu tamanho, além de apresentar uma aderência às paredes do mesmo, como é mostrado na Figura 20. O mesmo foi observado no processamento com liquidificador (tratamento 2). Dessa forma, os tratamentos 1 e 2, nos quais não houve a adição de água e nenhum outro agente facilitador, não apresentaram resultados eficientes para a redução do tamanho e não houve a formação da polpa/pasta.

Figura 20 - Fotografia do moinho de facas após o tratamento 1 (submissão da grama de trigo diretamente a moagem).



Fonte: A autora (2020).

No tratamento 3, foi adicionada água como agente facilitador do processamento em liquidificador. Foram adicionados 30% de água na amostra, o que melhorou a quebra das fibras da grama de trigo, porém não resultou em uma polpa homogênea, verificando segregação de sólido e líquido. Essa separação pode ser visualizada na Figura 21.

Figura 21 - Polpa obtida pelo tratamento 3.



Fonte: A autora (2020).

Observou-se com os tratamentos 1, 2 e 3 que a redução do tamanho da grama foi dificultada pela sua maleabilidade, dessa forma, uma etapa de congelamento foi acrescentada após a redução de tamanho prévio (corte com faca), e anteriormente ao processamento em liquidificador (tratamento 4). Dessa forma, a grama se torna rígida e mais facilmente quebrada. Na Figura 22, está mostrado o tratamento 4 no liquidificador e o resultado da polpa de grama de trigo.

Figura 22 - Fotografia da grama de trigo no preparo 4: a) processamento em liquidificador após congelamento e b) polpa resultante do tratamento 4.

a)



b)



Conforme pode ser observado na Figura 22, a polpa preparada utilizando o tratamento 4 apresentou característica mais homogênea e propícia ao espalhamento

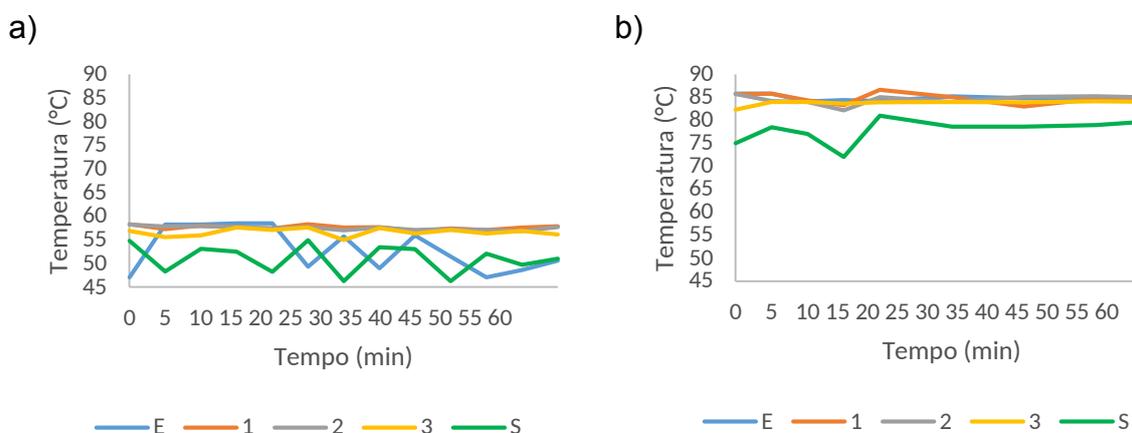
e secagem tanto pelo CTD quanto por liofilização. Por isso, esse tratamento foi utilizado para os experimentos de secagem e posteriores caracterizações.

5.2 CAST-TAPE DRYING

5.2.1 Temperatura de secagem

As temperaturas médias atingidas no filme de poliéster foram aferidas considerando 5 pontos: entrada (E), fluxo inicial (1), fluxo médio (2), fluxo final (3) e saída (S) – conforme apresentado na Figura 15. Na Figura 23, está apresentado os perfis de temperatura da superfície do filme *mylar* quando a temperatura da água do banho esteve fixada em 60 °C e 95 °C.

Figura 23 - Perfis de temperatura da superfície do Mylar® com: a) temperatura da água de circulação de 60 °C e b) temperatura da água de circulação de 95 °C durante a secagem de grama de trigo no *cast-tape drying*.



Fonte: A autora (2020).

Observou-se que quando a temperatura da água do banho estava a 60 °C houve maiores oscilações na temperatura do ponto de entrada (E), desvio de $\pm 4,62$ °C, e no ponto de saída, desvio de $\pm 3,00$ °C, e que as temperaturas se mantiveram mais estáveis nos pontos centrais (1, 2 e 3). A temperatura máxima obtida foi de 58,5 °C, a temperatura média foi de 55,3 °C e a mínima de 46,3 °C, sendo que o ponto com temperatura média mais elevada foi o de fluxo inicial (1). No experimento com a temperatura do banho a 95 °C a temperatura máxima obtida foi de 86,6 °C, a temperatura média foi de 83,1 °C e a mínima de 72 °C. Houve maiores oscilações no

ponto de saída, desvio de $\pm 2,73$ °C. Em ambos os experimentos o ponto com temperatura média mais baixa foi o de saída (S) e com temperatura média mais elevada foi o ponto de fluxo inicial (1) (banho a 60°C) de entrada (E) (banho a 95 °C).

Na Tabela 3, são retratadas as variações de temperatura do filme Mylar® e das amostras durante os experimentos realizados com amostras do tratamento 4. Observa-se que, nos experimentos cujas temperaturas do banho foram mais elevadas, houve uma maior perda de calor. A temperatura da amostra foi mínima logo após o seu espalhamento e máxima ao final da secagem, quando provavelmente se atingiu a umidade de equilíbrio e final do período de secagem à taxa decrescente. O mesmo comportamento na temperatura da amostra foi observado por Durigon (2016) na secagem de polpa de tomate a temperatura de 90 °C e espessura de espalhamento sobre o filme Mylar® de 2 mm.

Tabela 3 - Temperaturas atingidas no filme de Mylar® na secagem por *cast-tape drying*.

Temp. água circulante (°C)	Temp. ambiente (°C) Média \pm DV	Temp. mínima do Mylar® (°C)	Temp. média do Mylar® (°C) Média \pm DV	Temp. máx do mylar (°C)
65	28,9 \pm 0,5	54,0	59,4 \pm 2,2	61,7
80	28,2 \pm 0,2	67,4	68,9 \pm 0,9	71,7
95	25,3 \pm 0,2	83,0	85,2 \pm 0,9	87,3

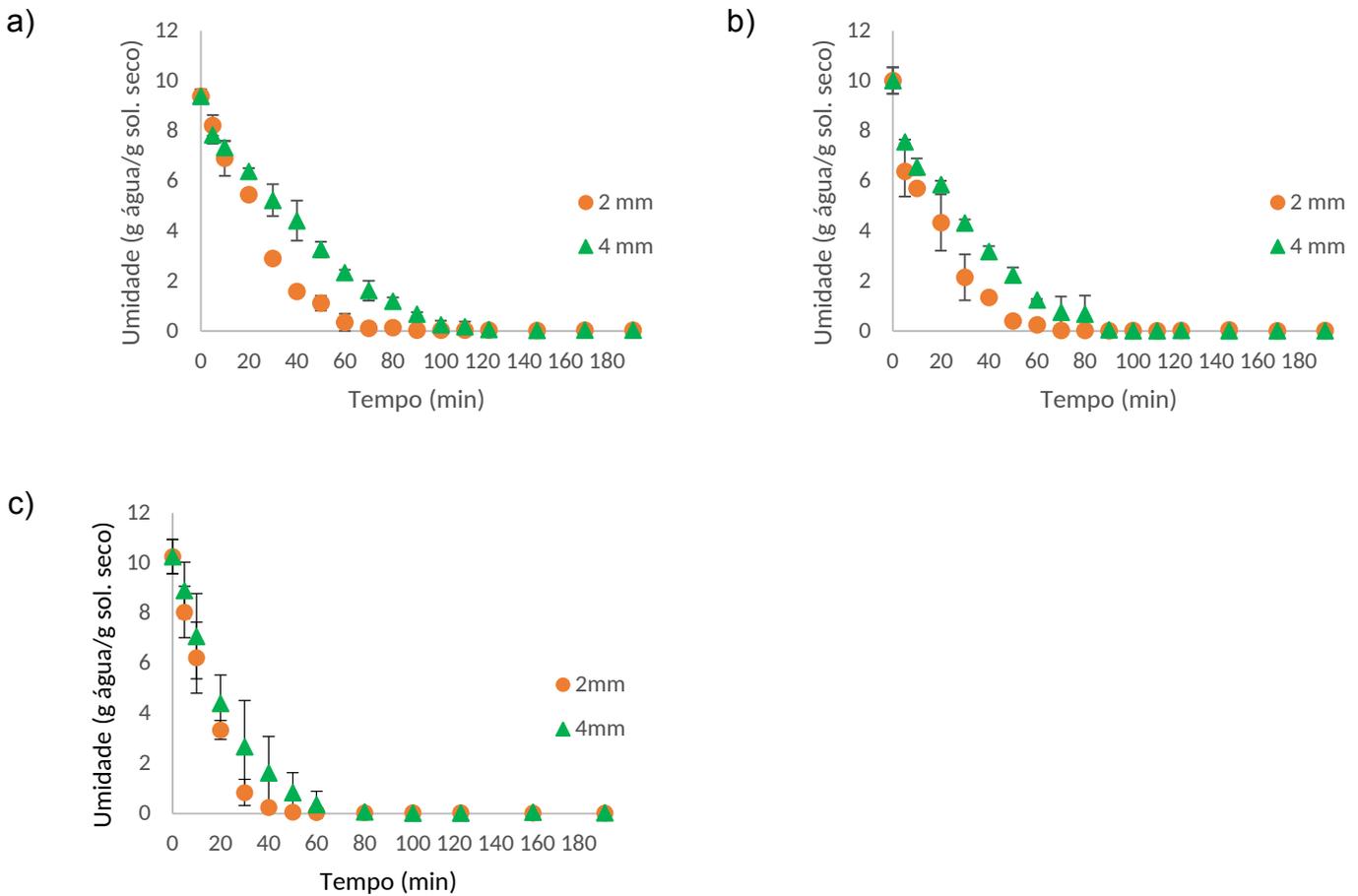
5.2.2 Testes preliminares de secagem

Na Figura 24, estão apresentadas as curvas de secagem da polpa da grama de trigo, obtidas após a definição do tratamento de redução de tamanho aplicado para obtenção da polpa. Foram testadas duas espessuras de espalhamento, 2 e 4 mm, para temperaturas da água circulante de 65, 80 e 95 °C.

O aumento da temperatura da água circulante contribuiu para a redução do tempo de secagem, assim como a espessura inferior de espalhamento da polpa da grama de trigo também contribuiu para menores tempos de processo. Em termos percentuais, houve uma redução de 33% no tempo de secagem se comparadas às amostras com espalhamento de 2 mm a 60 °C e 95 °C. Resultado semelhante obteve-se na secagem da polpa com espalhamento superior (4 mm) para as mesmas temperaturas. Em todas as condições experimentais avaliadas observou-se uma

queda linear da umidade com o tempo de secagem, até que se atingisse umidades próximas a 0,1 g água/g sól. secos. Dessa forma, para a sequência do trabalho, caracterizações e comparação efetiva dos métodos de secagem, foi utilizada a espessura de espalhamento da polpa de 2 mm e foram mantidas as temperaturas de 65, 80 e 95 °C.

Figura 24 - Curvas de secagem da grama de trigo a: a) 65, b) 80 e c) 95 °C (temperatura da água circulante) e 2 e 4 mm de espessura da polpa.



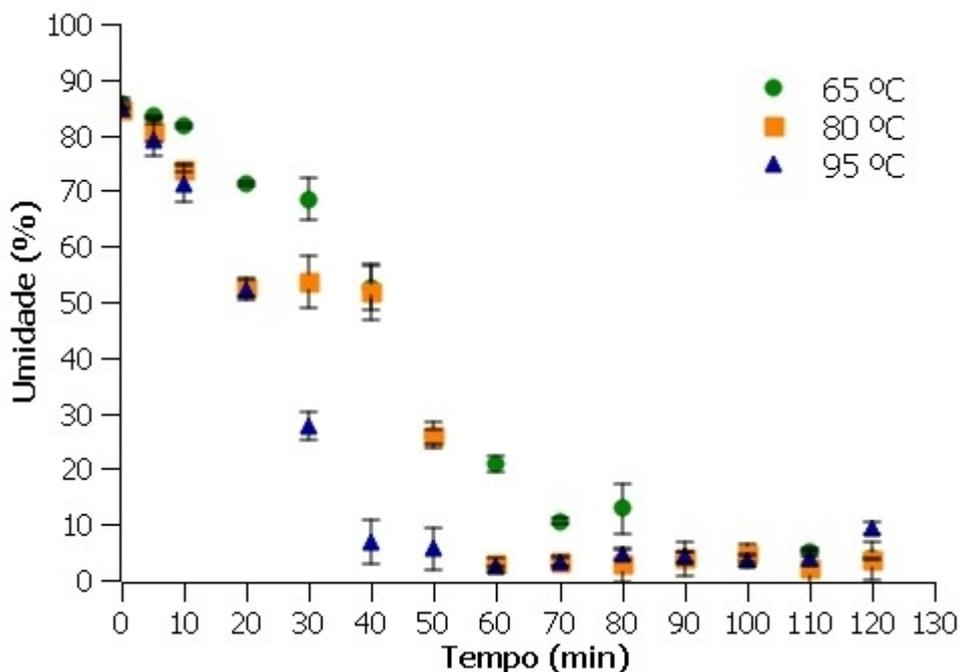
5.2.3 Cinéticas de secagem

Muitos autores têm discutido sobre qual é a umidade adequada ao armazenamento de alimentos desidratados, sendo que a maioria concorda em valores de umidade próximas a 10 % para garantir uma vida útil satisfatória (REY, 1964; ANGEL et al., 2009; COSTA, 2012).

A cinética de secagem foi realizada a fim de determinar o período de secagem a taxa constante, o tempo mínimo para se obter pós com umidade próximas a 10 % e

as taxas de secagem de acordo com a temperatura da água circulante, bem como sua influência. As curvas de cinética de secagem estão apresentadas na Figura 25.

Figura 25 - Curvas de cinética de secagem por CTD.



A partir dos resultados apresentados nas curvas de secagem, verificou-se que o aumento da temperatura da água circulante contribuiu de forma significativa para a redução do tempo de secagem. Nesta condição, ao final do período de taxa de secagem constante, umidades inferiores a 13 % foram alcançadas com 90, 60 e 40 minutos para as amostras secas à temperatura da água circulante de 65 °C, 80 °C e 95°C, respectivamente.

Estes resultados também podem ser verificados pelas taxas de secagem, as quais foram encontradas a partir da equação da reta no período de taxa de secagem constante conforme apresentado na Tabela 4. Nota-se que, com a temperatura mais elevada, a taxa de secagem obtida foi maior. As umidades finais dos pós obtidos nas diferentes temperaturas de secagem também são apresentadas e serão melhor discutidas posteriormente.

Tabela 4 - Taxa de secagem, tempo mínimo de secagem e umidade final da amostra obtida pela secagem da grama de trigo por CTD.

Amostra	Temperatura (°C)	Umidade final (g/g b.u.)	Tempo (min)	Taxa de secagem (g água/ g sól. seco.min)	R ²
CTD	65	0,130 ± 0,031	90	0,010 ± 0,001	0,952
	80	0,068 ± 0,023	60	0,012 ± 0,001	0,923
	95	0,083 ± 0,035	40	0,015 ± 0,001	0,945

5.3 OBTENÇÃO DO PÓ

Na Figura 26, estão apresentadas as fotos da moagem do filme de grama de trigo seco após a secagem no *cast-tape dryer* e o pó após a etapa de moagem.

Figura 26 - Fotografias a) do filme de grama de trigo após a secagem por *cast-tape drying*, b) da grama de trigo seca por liofilização, e c) da grama de trigo após a moagem (condições de secagem utilizadas 80 °C e 2 mm de espessura).

a)



b)



c)



É possível observar por meio das imagens que, após a secagem da grama de trigo por CTD, o material apresentou aspecto de uma placa/filme, que pode ser desfragmentado facilmente. A grama de trigo seca obtida ao final da liofilização não apresentou estrutura de filme, preservando a estrutura inicial da grama de trigo processada em polpa.

Para padronização (visual) dos materiais, ambos os pós obtidos pelos diferentes métodos e temperatura foram submetidos a moagem por 15 segundos em moinho.

5.4 CARACTERIZAÇÕES

A grama de trigo *in natura* e seca por CTD e liofilização foi caracterizada em relação à umidade, higroscopicidade (exceto *in natura*), cor, morfologia das partículas (exceto *in natura*), concentração de compostos fenólicos e distribuição granulométrica. Todas as análises foram realizadas em triplicata de amostra e experimento.

5.4.1 Umidade e higroscopicidade

Na Tabela 5, estão apresentados os valores de umidade em base seca e úmida e higroscopicidade dos pós de grama de trigo produzidos por *cast-tape drying* nas temperaturas 65, 80 e 95 °C (água circulante) e liofilização.

Tabela 5 - Umidade e higroscopicidade dos pós de grama de trigo obtidos por diferentes processos de secagem.

Amostra	Temperatura (°C)	Umidade (g/100 g b.u.)	Higroscopicidade (%)
<i>In natura</i>		0,853 ± 0,005 ^a	-
CTD	65	0,130 ± 0,031 ^b	14,40 ± 2,04 ^a
	80	0,068 ± 0,023 ^{c,d}	16,73 ± 0,56 ^a
	95	0,083 ± 0,035 ^c	20,75 ± 4,85 ^b
LIO	-	0,043 ± 0,011 ^d	16,98 ± 4,35 ^{a,b}

* Legenda: CTD: *cast-tape drying*; LIO: liofilização; b.u.: base úmida; b.s.: base seca.

** Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatisticamente significativa entre as amostras produzidas a partir de diferentes processos de secagem ($p \leq 0,10$).

O valor de umidade encontrado na polpa de grama de trigo *in natura* foi de 85,3% (b.u.) e de 5,85 g água/g sol. seco pouco superior ao relatado por Pardeshi (2013) que foi de 5,3 (g água/g sol. seco). Variações nas características de produção como índice pluviométrico, temperatura, solo, altitude, época da colheita, entre outros, podem interferir na quantidade e qualidade dos compostos presentes, bem como a forma de tratamento para redução de tamanho.

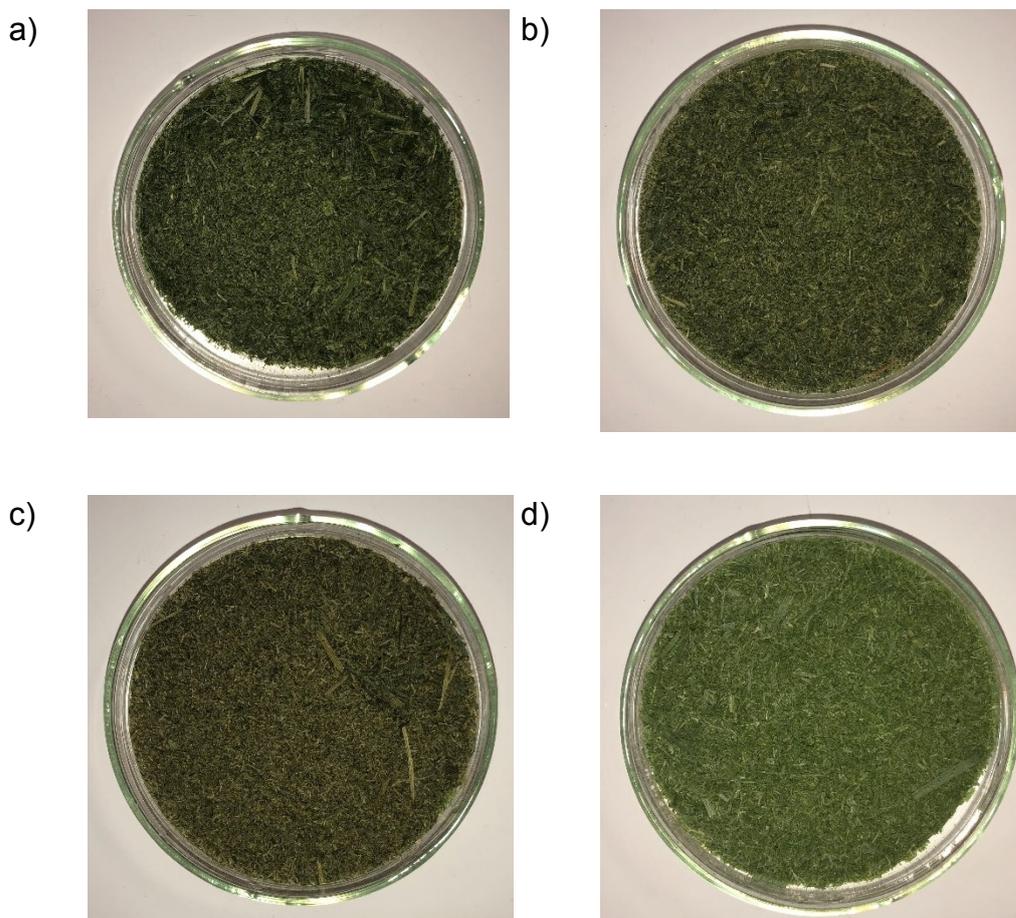
Valores de umidade dos produtos em pó na faixa de 3–10% têm sido aceitos pelas indústrias de alimentos (LI et al., 2014). O valor de umidade mais baixo entre as amostras foi obtido nas amostras liofilizadas, seguido pelo CTD a 80 °C. Devi (2018) relatou valores de umidade inferiores para a grama de trigo seca por liofilização, sendo de 1,55%. Valor mais próximo de umidade ao que foi obtido no presente trabalho foi encontrado por Sharma (2019) para a grama de trigo liofilizada, sendo de 3,50%.

A higroscopicidade é uma medida da capacidade de adsorção de água das partículas quando expostas ao ambiente e se relaciona à retenção desta umidade. A maior higroscopicidade encontrada (20,75 ± 4,85%) foi nas amostras secas com a temperatura mais elevada (95 °C). De acordo com Gea (2010), são considerados não-higroscópicos os produtos que apresentam valores de higroscopicidade inferiores a 10 %. Dessa forma, o pó obtido pela secagem da grama de trigo pode ser considerado higroscópico. Uma vez que a higroscopicidade está relacionada com a presença de compostos amorfos, como açúcares, os resultados encontrados estão dentro do esperado pois a grama de trigo é composta por 15,34% de açúcares totais e 9,67% de açúcares redutores (CHOMCHAN et al., 2016).

5.4.2 Análise instrumental de cor

A cor é tida como uma característica determinante da qualidade de produtos alimentícios, sendo um parâmetro de aceitação ou não para o consumidor final. Considera-se importante que a cor do alimento seja mantida após a secagem; nesse sentido, foi feito um comparativo entre os parâmetros de cor encontrados na polpa da grama de trigo *in natura* e nas amostras desidratadas. Na Figura 27, estão apresentados os pós obtidos pela secagem por *cast-tape drying* e por liofilização. Na Tabela 6, são apresentados os valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* dos pós de grama de trigo produzidos no *cast-tape drying* (CTD) e por liofilização (LIO).

Figura 27 - Pós obtidos pela secagem por *cast-tape drying* e por liofilização. a) CTD 65°C, b) CTD 80°C, c) CTD 95°C, d) LIO, f) fotografia de todos os pós obtidos por mesma luz e ângulo.



f)

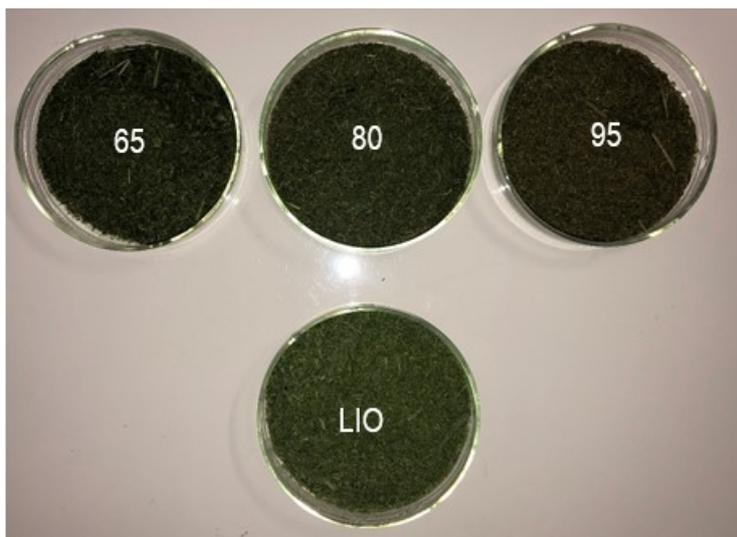


Tabela 6 - Cor do pó da grama de trigo obtido por diferentes métodos.

Amostra	Temperatura (°C)	L*	a*	b*	ΔE
Polpa <i>in natura</i>		9,904 ± 0,607 ^a	-6,913 ± 0,921 ^a	9,861 ± 1,036 ^a	-
CTD	65	13,033 ± 0,207 ^b	-5,400 ± 0,225 ^b	10,861 ± 0,316 ^{a, b}	3,634 ± 0,204^a
	80	14,800 ± 0,696 ^c	-5,448 ± 0,514 ^b	11,033 ± 0,491 ^{a, b}	5,289 ± 0,659^b
	95	15,962 ± 0,796 ^c	-5,302 ± 1,178 ^b	11,555 ± 1,101 ^b	6,661 ± 0,868^c
LIO	-	18,301 ± 2,499 ^d	-7,325 ± 1,413 ^a	12,334 ± 2,398 ^b	8,994 ± 3,062^d

* Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatisticamente significativa entre as amostras produzidas a partir de diferentes processos de secagem ($p \leq 0,10$).

A maior variação encontrada nos parâmetros da cor entre as amostras secas e a *in natura* foi no parâmetro L*, o qual representa a luminosidade da amostra, sendo que quanto mais próximo de zero for esse parâmetro mais escura é amostra, e, por outro lado, quanto mais próximo de 100 mais clara ela é, ou próxima ao branco. Como pode ser observado através dos resultados, tanto as amostras dos pós obtidos por CTD quanto as liofilizadas apresentaram-se mais claras do que as amostras de grama de trigo *in natura*, sendo a maior variação encontrada nas amostras liofilizadas. Essa diferença entre a luminosidade da amostra *in natura* e as secas pode ser devido a vários fatores, mas, um deles pode ser a considerável diferença de umidade entre os produtos antes e após a secagem. No caso, a elevada umidade da amostra *in natura*

pode ter contribuído para um menor valor de luminosidade. Nota-se, também, que na secagem por CTD esse clareamento foi intensificado pelo aumento de temperatura. Nesse caso, pode haver a perda de compostos que modificam a cor do produto final.

O parâmetro a^* indica uma tendência às cores verdes (quanto mais negativo o valor) ou vermelhas (quanto mais positivo). Sua análise é importante, pois deseja-se que os pós tenham a coloração esverdeada, sendo similar ao produto *in natura*. Os valores encontrados para esse parâmetro revelaram que o aumento da temperatura na secagem por CTD não causou variações significativas estatisticamente na coloração esverdeada. Os pós obtidos por liofilização não sofreram alteração quando comparados com a polpa *in natura*.

O parâmetro b^* expressa a diferença em amarelo (quanto mais positivo o valor) e azul (quanto mais negativo). Observou-se que, com operação em temperaturas mais brandas (65 e 80 °C), não houve variação significativa comparada à polpa da grama de trigo *in natura*. Assim como entre os métodos de secagem CTD (todas as condições) e LIO também não apresentou diferença significativa. Porém, nota-se que, com o aumento da temperatura de secagem por CTD, o pó tendeu a um aumento da coloração amarelada. De acordo com Rudra et. al. (2008), altas temperaturas podem levar a substituição do magnésio da estrutura da clorofila pelo hidrogênio, convertendo a clorofila em feofitinas e empregando um aspecto mais amarelado à amostra.

A análise individual dos parâmetros de cor é uma tarefa complicada e que pode levar a alguns equívocos. Por isso, foi realizada também a análise global de diferença de cor (ΔE) entre os pós obtidos por LIO e CTD (nas três temperaturas de secagem) e a polpa de grama de trigo *in natura*. O maior valor de ΔE foi observado para os pós obtidos por liofilização. Observa-se, ainda, que o aumento da temperatura de CTD influenciou na diferença global de cor, sendo CTD com temperatura de 65°C a amostra com mais proximidade da polpa *in natura*.

É importante observar a variação de cor dos materiais foliares secos, pois indica a degradação de pigmentos como a clorofila (KUMAR et al., 2014). Em seu estudo, Kumar et al. (2014) relataram que na desidratação de folhas de hibisco por liofilização, houve uma retenção da cor verde natural das folhas, enquanto na secagem por micro-ondas observou-se um efeito amarelado na cor, indicando extensa degradação da clorofila, segundo os autores. Foi notando, ainda, que as mudanças

químicas nos pigmentos podem ser devido aos efeitos da temperatura e a oxidação durante a secagem (KUMAR et al., 2014).

Chang, Shiau e Wu (2011) investigaram os efeitos das temperaturas de secagem convectiva (30 – 90 °C) da folha de *Angelica Sinensis* (AS) e encontraram que os pós de folhas secos a 50 °C apresentaram valores dos parâmetros a^* e b^* mais intensos para as cores verdes e amarelas, mas quando os autores secaram as folhas a 90 °C, foram relatados decréscimos nesses parâmetros. O estudo mostrou que a clorofila e a xantofila nas folhas de AS podem ser destruídas em alta temperatura de secagem (90 °C). Os pós de folhas de AS secos a 30 e a 50 °C tiveram aparência visual significativamente melhor do que aqueles secos a 90 °C.

Outros estudos também relacionaram o aumento da luminosidade e a intensificação da coloração amarelada com a degradação da clorofila. A alta temperatura pode levar à substituição do magnésio na clorofila por hidrogênio, convertendo as clorofilas em feofitinas (RUDRA, SINGH, BASU & SHIVHARE, 2008; ANUAR & SEJALI, 2011). Naidu et al. (2015) mostrou que a secagem produziu valores do parâmetro a^* negativos, indicando certa retenção da cor verde. Além disso, as diferenças de cor total (valores de ΔE) das amostras secas foram maiores quando aplicadas temperaturas de secagem mais elevadas.

5.4.3 Morfologia das partículas

Mudanças físicas ao longo da secagem podem alterar de diferentes formas a qualidade final dos produtos obtidos. Formação de poros, endurecimento, enrugamento, colapso ou fraturas podem ser avaliados por meio do uso da microscopia, auxiliando na análise dos impactos de uma técnica de secagem sobre um material específico (CHEN, 2008; SABLANI & RAHMAN, 2008). Devido a isso, os pós obtidos por meio dos processos de liofilização e *cast-tape drying* foram submetidos à microscopia eletrônica de varredura (MEV) com o intuito de verificar se alguma alteração estrutural havia ocorrido nas amostras, as quais podem complementar as observações feitas nas análises anteriores. As imagens das microscopias estão apresentadas nas Figuras 28 e 29.

Figura 28 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para os pós obtido com ampliação de 100× vezes a) CTD 65 °C, b) CTD 80 °C, c) CTD 95 °C, d) LIO.

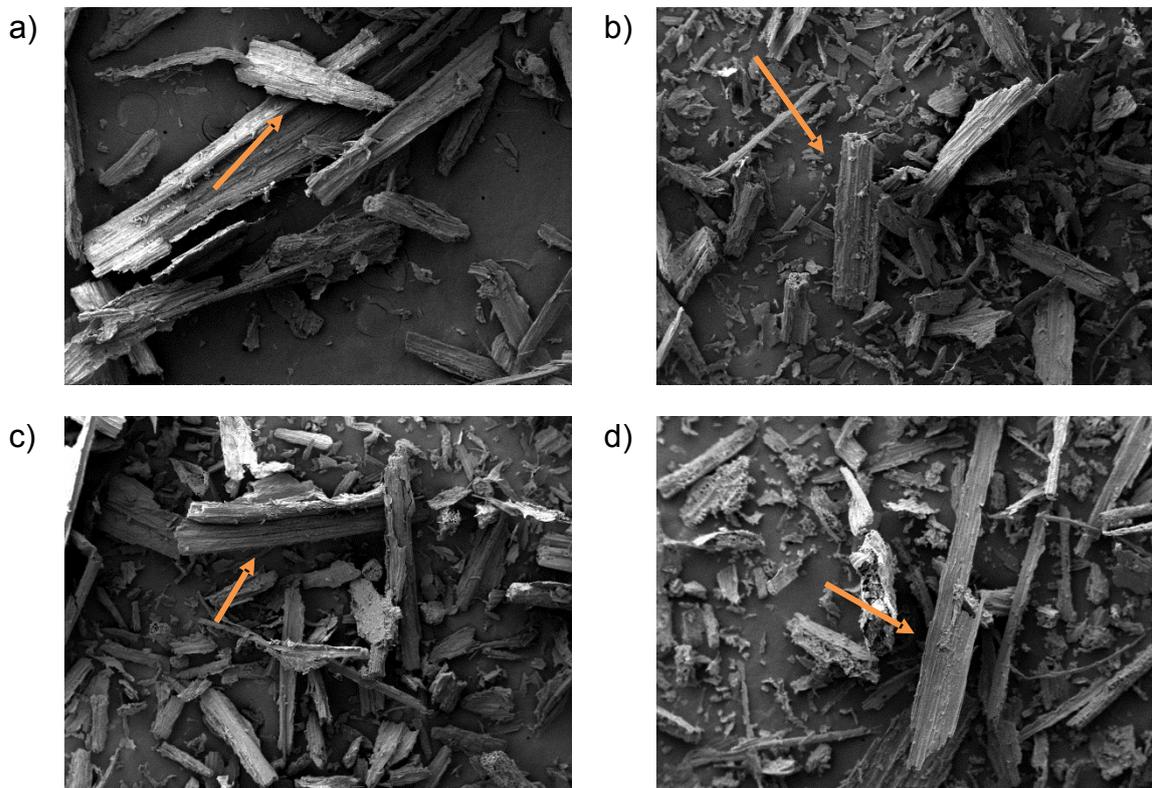
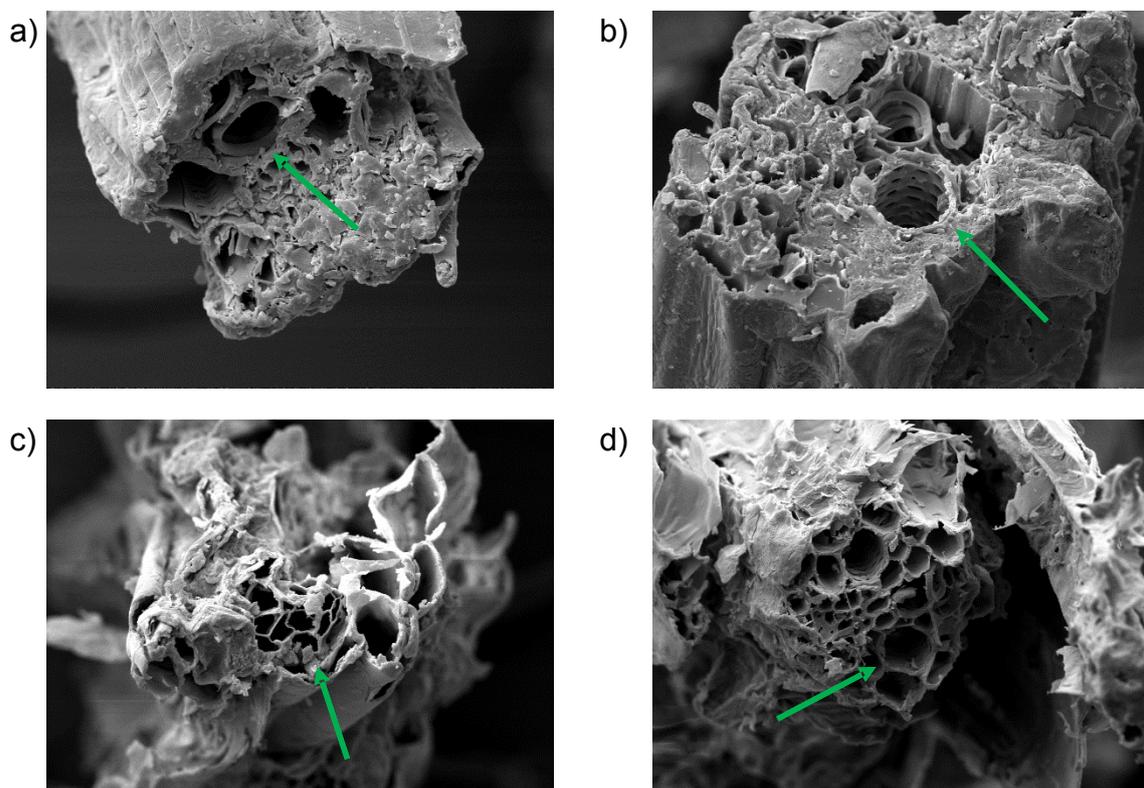


Figura 29 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para os pós obtido com ampliação de 2000× a) CTD 65°C, b) CTD 80°C, c) CTD 95°C, d) LIO.



Devido à elevada umidade da polpa de grama de trigo, não foi possível submetê-la a essa análise. Antes de obter as microscopias das amostras, elas são recobertas com ouro e neste processo é necessário fazer vácuo numa câmara onde são deixadas as amostras. Quando as amostras estão úmidas, a pressão necessária para que o recobrimento seja realizado não é atingida. Sendo assim, será traçado um comparativo entres os métodos e temperaturas com a fisiologia da grama de trigo apresentada no referencial teórico deste trabalho.

Na Figura 29, são apresentados os impactos dos métodos de secagem na lâmina foliar em corte transversal. Pode-se observar feixes vasculares (identificados pelas setas verdes) circulares com melhor definição para a amostra LIO, CTD 65 °C e 80°C, nessa ordem. Na amostra de pós obtidos por CTD a 95 °C nota-se uma ruptura e enrugamento das paredes dos feixes vasculares. Quanto à lâmina foliar (identificadas na figura pelas setas laranjas na Figura 28), cuja estrutura da grama de trigo *in natura* é longilínea e fusiforme, não foram observadas alterações quanto aos métodos empregados.

5.4.4 Compostos fenólicos

O teor de compostos fenólicos (TCF) encontrados na polpa de trigo *in natura* (tratamento 4 de redução de tamanho) e nos pós obtidos pela secagem em CTD e liofilizador estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teor de compostos fenólicos encontrados na polpa de trigo *in natura*, seca por CTD e liofilizada.

Amostra	Temperatura (°C)	Compostos fenólicos totais mg equivalente ácido gálico (EAG) / 100 g de amostra (b.s.) Média ± DP
<i>In natura</i>		2409,155 ± 117,232 ^a
CTD	65	1387,616 ± 4,823 ^b
	80	1551,209 ± 27,638 ^c
	95	1047,325 ± 18,612 ^d
LIO	-	2116,727 ± 31,005 ^e

Pelos resultados apresentados, pode-se identificar que houve redução nos TCF encontrados nos pós obtido pelos métodos de secagem empregados. A menor redução foi observada para os pós liofilizados, de apenas 12% comparada as amostras *in natura*. Também se observa que o emprego de temperatura mais elevada (95 °C) apresentou o menor TCF, podendo estar associado a uma degradação dos compostos fenólicos pela alta temperatura de secagem. A secagem por CTD à 65 °C também apresentou redução acentuada do TCF, podendo ser relacionada ao tempo estendido de secagem (próximo a 90 min) e à degradação dos fenólicos pela exposição prolongada à temperatura (mesmo não sendo tão alta).

Estudos anteriores avaliaram a influência dos métodos de extração (reagente extrator, tempo, temperatura, auxílio de banho ultrassônico) nos resultados para concentração de compostos fenólicos (TANDON et al., 2011; ZENDEHBAD et al., 2014; NIROULA et al., 2019; SAVIC & GAJIC, 2020) e do tempo de cultivo da grama de trigo (KULKARNI et al., 2006).

Niroula et al. (2019) extraiu os compostos fenólicos da grama de trigo usando metanol por maceração e encontrou valor de TCF de 1290,51 mg GAE /100 g b.s. No trabalho de Savic & Gajic (2020), o conteúdo fenólico total variou no intervalo de 10500 - 15500 miligramas de equivalentes ácido gálico por 100 g de peso seco de material vegetal (g EAG /100 g b.s.). Segundo os autores, as condições ideais para extração por ultrassom foram com a utilização de etanol (56% (v / v)), temperatura do banho ultrassônico de 59 °C e tempo de extração de 28 min.

Tandon et al. (2011) determinaram o TCF na faixa de 2,44 - 6,48 mg GAE /g de extrato seco obtido usando água, 70% (v/v) de etanol, tampão de acetato de sódio com pH 5 e tampão de fosfato de potássio com pH 7,4. Os autores relataram que obtiveram que o extrato etanólico apresentou o maior TCF (6,48 mg GAE/g de extrato seco) em comparação aos demais extratos obtidos. O TCF do extrato aquoso (3,08 mg EAG/g de extrato seco) foi quase duas vezes menor em relação ao extrato etanólico.

Kulkarni et al. (2006) prepararam extratos etanólico e aquoso de grama de trigo cultivado em diferentes condições por 6, 7, 8, 10 e 15 dias. O TCF aumentou proporcionalmente com o tempo de cultivo de grama de trigo e foi o maior em 15 dias. O TCF de 0,699 mmol EAG /100 g de grama de trigo fresca foi obtido usando etanol, enquanto o TCF de 0,331 mmol EAG/100 g de grama de trigo fresca foi obtido usando água.

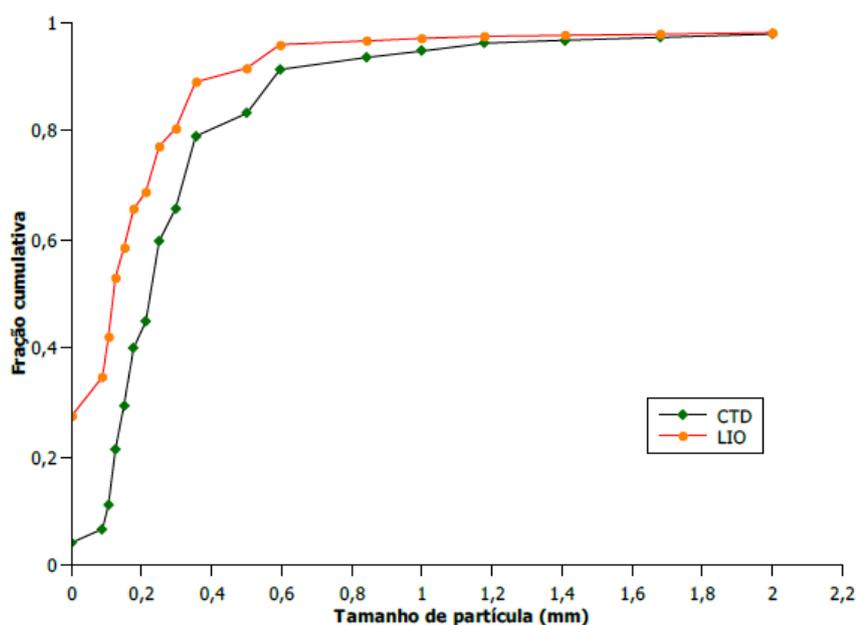
Pode-se concluir que o TCF no presente estudo é próximo aos encontrados por Niroula et al. (2019), porém muito maior comparado aos resultados obtidos por Tandon et al. (2011) e muito inferior aos obtidos por Sacic e Gojic (2020). Estes dados da literatura indicam que o TCF da grama de trigo pode modificar dependendo das condições de cultivo, tratamento de redução de tamanho das partículas, método de secagem e técnicas e solventes de extração aplicados.

5.4.5 Distribuição granulométrica

A granulometria foi realizada a fim caracterizar o pó da grama de trigo obtido pela secagem por *cast-tape drying* e liofilização, porém sem a intenção de estabelecer um comparativo entre os métodos e temperaturas aplicados.

O diâmetro de Sauter encontrado para as amostras obtidas por CTD foi de 0,254 mm e para as liofilizadas foi de 0,265 mm. A proximidade dos valores indica que a granulometria do material seco é determinada pela redução de tamanho na preparação da polpa e não o processo de secagem. Na Figura 30, está apresentada a distribuição granulométrica destas amostras.

Figura 30 - Distribuição granulométrica dos pós de grama de trigo obtidos por CTD e LIO.



A distribuição cumulativa apresentada na Figura 30 mostra que os pós obtidos, tanto para a secagem em CTD como para a liofilização da grama de trigo, apresentaram mais de 90 % das partículas com tamanho de partícula menor que 0,8 mm.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse estudo permitem concluir que o preparo da grama de trigo para a secagem é uma etapa importante, principalmente com relação à obtenção de um material homogêneo. Uma vez que o material é bastante maleável, o método mais adequado para formação da polpa foi por meio do congelamento da amostra, seguido do processamento com adição de água no liquidificador.

A polpa de grama de trigo adaptou-se bem à secagem por *cast-tape drying* e, também, por liofilização. Para o primeiro processo, foram obtidos pós de grama de trigo com tempos de 90, 60 e 40 min, para temperaturas da superfície de secagem de 65, 80 e 95 °C, respectivamente. Conforme esperado, a condição que alcançou a maior taxa de secagem foi observada quando se utilizou a temperatura da água circulante de 95 °C e espessura de espalhamento da polpa de grama de trigo de 2 mm. Porém, considerando os resultados de cor, higroscopicidade, compostos fenólicos e morfologia das partículas obtidas para essa temperatura, pode-se concluir que essa condição de secagem por CTD foi que a mais causou impactos negativos quando comparado o pó obtido com o material *in natura*. Em contraponto, quando analisado os impactos da secagem com temperatura mais branda (65 °C), concluiu-se que as características de cor, higroscopicidade e morfologia foram mais preservadas, exceto pela degradação dos compostos fenólicos, que pode ser justificada pela taxa de secagem menor, o que levou a um tempo de secagem estendido (maior exposição do material, mesmo que em temperatura mais branda). Dessa forma, a temperatura mediana de 80 °C foi considerada a melhor alternativa, por apresentar um tempo de secagem relativamente curto, em torno de 60 minutos, e melhor preservação das características morfológicas, físicas e bioativas. As amostras obtidas por liofilização foram as que apresentaram maiores concentrações de compostos fenólicos, muito provavelmente devido ao uso de menores temperaturas.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Caracterização dos pós obtidos por *cast-tape drying* e liofilização quanto a suas isothermas de sorção de umidade, atividade de água, teor de clorofila, DPPH, fenólicos por HPLC, vitamina C e proteína.
- Produção da polpa da grama de trigo com agentes emulsificantes e secagem pelos métodos já estudados, bem como suas caracterizações.
- Secagem da grama de trigo por outras metodologias de desidratação, como infravermelho, estufa e *spray drying*.
- Aplicação dos pós obtidos no preparo de outros alimentos buscando aproveitamento de seu potencial terapêutico.
- Estudo da reidratação dos pós obtidos para comercialização como suco em pó.

REFERÊNCIAS

- ABASCAL K, GANORA L, YARNELL E. The effect of freeze drying and its implications for botanical medicine: a review. **Phytother**, 18:655–660, 2005. <https://doi.org/10.1002/ptr.1651>
- ABONYI, B. I., FENG, H., TANG, C. G., EDWARDS, B. P., MATTINSON, D. S., E FELLMAN, J. K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. **Journal of Food Science**, 67, 1051–1056, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>
- ABUL-FADL, M. M. AND GHANEM, T.H., Effect of refractance window (RW) drying method on quality criteria of produced tomato powder as compared to the convection drying method. **World Appl Sci**, 15, 953–965, 2011.
- ALENCASTRO, J. T. D. **Metodologia para análise do coeficiente de transferência de calor em superfícies corrugadas sob jatos incidentes**. 2015. 156p. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.
- ALVES, C. C. O. **Pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) liofilizada: higroscopicidade e microestrutura**. Lavras: UFLA, 2007; 182p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- ANUAR, M.S., SEJA, S. N. F. Effect of Drying Methods on Phenolic Contents of Neem (*Azadirachta indica*) Leaf Powder. **Journal of Herbs Spices E Medicinal Plants Spices E Medicinal Plants**, 2:119-131, 2013. <https://doi.org/10.1080/10496475.2011.584293>
- BAEGHBALI, V., NIAKOUSARI, M., AND FARAHNAKY, A., Refractance Window drying of pomegranate juice: quality retention and energy efficiency. **Food Sci Technol**, 66, 34–40, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.017>
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., E VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of Foods**. Chapman E Hall's, 1996. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2456-1>

BAR-SELLA P.: Rejuvenation -Health According to Dr. Ann Wigmore's Teachings. Kiryat Ono, Israel: Shachar Ltd., 142–152, 1998 (in Hebrew).

BOUDET, A.-M. Evolution and Current Status of Research in Phenolic Compounds. **Phytochemistry**, 68, 2722–2735, 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.012>

BYERS, T., NESTLE, M., MCTIERNAN, A., DOYLE, C., CURRIE-WILLIAMS, A., E GANSLER, T. American Cancer Society guidelines on nutrition and physical activity for cancer prevention: Reducing the risk of cancer with healthy food choices and physical activity. **CA: A Cancer Journal for Clinician**, 52, 92–119, 2002.

<https://doi.org/10.3322/canjclin.52.2.92>

CALZUOLA, I., MARSILI, V., E GIANFRANCESCHI, G. L. Synthesis of antioxidants in wheat sprouts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52(16), 5201–5206, 2004. <https://doi.org/10.1021/jf0307752>

CAPARINO, O. A., TANG, J., NINDO, C. I., SABLANI, S. S., POWERS, J. R., E FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, 111, 135–148, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>

CHAKRABORTY, R., ARPITA DAS, E RAYCHAUDHURI, U. Effect of freeze drying and oven drying on antioxidant properties of fresh wheatgrass. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. 63(6), 718–721, 2012.

<https://doi.org/10.3109/09637486.2011.644769>

CHANG, R.C., SHIAU, S. Y., WU, T.T. Effects of drying temperature and extraction solvent on the antioxidant, color and sensory properties of angelica sinensis leaves. **Journal of Food Processing and Preservation**, 37 (4). 371-379, 2013.

<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00657.x>

CHEN, X. D. Food Drying Fundamentals. Em: CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S., **Drying Technologies in Food Processing**, Cap 1, p. 1-54, Blackwell Publishing Ltd, John Wiley E Sons, Inglaterra, 2008.

CHEN, X. D., E ÖZKAN, N. Stickiness, Functionality, and Microstructure of Food Powders. **Drying Technology**, 25, 969-979, 2007.

<https://doi.org/10.1080/07373930701397400>

CHOMCHAN, R., SIRIPONGVUTIKORN, S., PUTTARAK, P., RATTANAPON, R. Investigation of phytochemical constituents, phenolic profiles and antioxidant activities of ricegrass juice compared to wheatgrass juice. **Functional Foods in Health and Disease**, v. 6(12), 822-835, 2016. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v6i12.290>

CLARKE, P., August. Refractance window TM- “Down under”. In: Drying proceedings of the **14th International Drying Symposium** (IDS 2004), p. 22-25, Sao Paulo, Brazil, 2004.

CROOS. **Capacitance Manometers for Use in Lyophilization Processes**.

Disponível em: < <https://www.crossco.com/resources/articles/capacitance-manometers-for-use-in-lyophilization-processes/>>. Acesso em: 30 dezembro 2020.

DARÉ, C. A. N. et al. Avaliação da eficiência de isolantes térmicos por reflexão, utilizados como subcoberturas. **Energ. Agric, Botucatu**, v. 20, n. 2, p. 14-29, 2005.

DEVI, C.B., BAINS, K., KAUR, H. Effect of drying procedures on nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum ghaestivum* L). **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, 491- 496, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3473-7>

DIPLOCK, A. T.; CHARLEUX, J. L.; CROZIER-WILLI, G.; KOK, F. J.; RICE-EVANS, C.; ROBERFROID, M.; STAHL, W.; VINÃ-RIBES, J. Functional food science and defense against reactive oxidative species. **British Journal of Nutrition**, v. 80, p. 77-112, 1988. <https://doi.org/10.1079/BJN19980106>

DURIGON, A. et al. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 145–155, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>

EMBRAPA.. Trigo, Capítulo: **Botânica, Morfologia e Descrição Fenotípica**.

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. de; CAIERAO, E. 2015.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O. R. (1996). **Food Chemistry**. (3th ed). Marcel Dekker, Inc. New York.

FERREIRA, M.D., SPRICIGO, P.C. Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura, parte 4 - Análises não destrutivas. **Instrumentação Pós-colheita em Frutas e Hortaliças**. 2017.

FORNY, L., MARABI, A., E PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**(206), 72-78, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.07.022>

FORTUNĂ, M. E., VASILACHE, V., IGNAT, M., SILION, M., VICOL, T., PATRAȘ, X., MIRON, I., E LOBIUC, A. Elemental and macromolecular modifications in *Triticum aestivum* L. plantlets under different cultivation conditions. **PLoS ONE**, 13(8), 2018.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202441>

FRABETTI, A.C.C., DURIGON, A., LAURINDO, J.B., Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying. **LWT**, 96, 2018, 620-626.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.021>

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **GEA Niro Analytical Methods**. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em: 12 dezembro. 2019.

GEANKOPLIS, C. J. (2003). **Transport Processes and Separation Processes Principles**.

GHUMMAN, A., SINGH, N., E KAUR, A. Chemical, nutritional and phenolic composition of wheatgrass and pulse shoots. **International Journal of Food Science E Technology**, 52(10), 2191–2200, 2017. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13498>

HASSAN SW, UMAR RA, MATAZU IK, MAISHANU HM, ABBAS AY, SANI AA. The effect of drying method on the nutrients and non-nutrients composition of leaves of

Leptadenia hastata (Asclipiadaceae). **Asian J Biochem.** 2:188–192, 2007.
<https://doi.org/10.3923/ajb.2007.188.192>

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit Operations in Food Engineering.** Boca Raton: CRC Press, 2003. <https://doi.org/10.1201/9781420012620>

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P., BERGMAN, T. L., E LAVINE, A. S. (2007). **Fundamentals of Heat and Mass Transfer** (6th ed., Chapter 12). John Wiley E Sons, Inc. Jangam, S. V.; Mujumdar, A. S. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1.* Ed. Jangam, S. V.; Law, C. L.; Mujumdar, A. S. Singapura, 2010.

JAFARI, S. M., AZIZI, D., MIRZAEI, H. AND DEHNAD, D., Comparing quality characteristics of oven-dried and Refractance window-dried Kiwifruits. **J Food Process Preserv**, 40, 362–372, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12613>

JOSHI, A. K. et al. Stay green trait: variation, inheritance and its association with spot blotch resistance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica**, v. 153, n. 1, p. 59-71, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9235-z>

KAUR G., SAHA S., KUMARI K., AND DATTA A.K., Mango pulp drying by Refractance Window method. **Agric Eng Int.** 19,145–151, 2017.

KHAN, N., GANESHPURKAR, A., DUBEY, N., BANSAL, D. Immunoprophylactic potential of wheat grass extract on benzene-induced leukemia: An *in vivo* study on murine model. **Indian Journal of Pharmacology.** v 47, pp 394-397, 2015.
<https://doi.org/10.4103/0253-7613.161261>

KREITH, F.; BOHN. **Princípios de transferência de calor.** São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

KULKARNI, S. D., ACHARYA, R., NAIR, A. G. C., RAJURKAR, N. S., E REDDY, A. V. R. Determination of elemental concentration profiles in tender wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) using instrumental neutron activation analysis. **Food Chemistry**, 95(4), 699–707, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.006>

KUMAR, S. S., MANOI, P.; SHETTY, N. P., GIRIDHAR, P. Effect of different drying methods on chlorophyll, ascorbic acid and antioxidant compounds retention of leaves

of Hibiscus sabdariffa L. **J Sci Food Agric**, 95(9):1812-20, 2015.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.6879>

LABUSA, T.P. Standard procedure for isotherm determination. **Cereal Foods World**, v. 28, p. 258, 1983.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes Scale. **Plant Pathology**, London, v. 3, p. 128-129, 1954. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x>

LAURINDO, J. B, DURIGON, A., SOUZA, P. G., BRUNO AUGUSTO MATTAR CARCIOFI, B. A. M., Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, 100, 145–155, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>

LI, C., WANG, J., SHI, J., HUANG, X., PENG, Q., E XUE, F. Encapsulation of tomato oleoresin using soy protein isolate-gum arabic conjugates as emulsifier and coating materials. **Food Hydrocolloids**, 45, 301-308, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.022>

MACINTOSH, C. J. **Wheatgrass and mold**, 2008. Disponível em <<https://www.cityfarmer.org/wheatgrass.html>> Acesso em: 30 jan. 2019.

MAGOON, R. E. **Patent No. 4,631,837**. U. S. A., 1986.

MAIA, A. B. R.; GOLGHER, M. **Parâmetros para Avaliação da Qualidade de Reconstituição do Leite em pó Desidratado em Secador de Aspersão ("Spray-Drier")**. Boletim SBCTA, Campinas, v. 17, n. 3, p. 235-254. julho/setembro, 1983.

MUJORIYA, R., BODLA, R.B. A study on wheat grass and its Nutritional value. **Food Science and Quality Management**, v.2, 2011.

MUJUMDAR, A. S. Principles, Classification and Selection of Dryers. Em: MUJUMDAR, A. S., **Handbook of Industrial Drying**, Cap 1, p. 1-32, 3a Edição, CRC Press - Taylor E Francis Group, Boca Raton-EUA, 2007.

<https://doi.org/10.1201/9781420017618.pt1>

NAIDU, M.M., VEDASHREE, M., SARAPATHY, P., KHANUM, H., RAMSAMY, R., HEBBAR, H.U. Effect of drying methods on the quality characteristics of dill (*Anethum graveolens*) greens. **Food Chemistry**, 192, 849-856, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.076>

NINDO, C. I., E TANG, J. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, 25, pp. 37-48, 2007.

<https://doi.org/10.1080/07373930601152673>

NINDO, C.I.; SUN, T.; WANG, S. W.; TANG, J.; POWERS, J. R. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 507–516, 2003.

[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)

NIROULA, A., KHATRI, S., TIMILSINA, R., KHADKA, D., KHADKA, A., E OJHA, P. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens. **Journal of Food Science and Technology**,

56(5), 2758–2763, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03768-9>

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I., QUINTERO P. T., AYALA, A. A. AND ORTIZ, M. J., Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window. **J Food Eng**,

109, 69–75, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032>

ORTIZ-JEREZ, M. J., GULATI, T., DATTA, A. K. AND OCHOA-MARTÍNEZ, C. I., Quantitative understanding of Refractance Window drying. **Food Bioprod Process**

95, 237–253, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010>

PARDESHI, I.L., BURBADE, R.G., KHOD, R.N. Cost effective drying for high quality tender wheatgrass powder. **Journal of Food Research and Technology**. v 1, p1-10, 2013.

PARIT, S. B., DAWKAR, V. V., TANPURE, R. S., PAI, S. R., E CHOUGALE, A. D. Nutritional quality and antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum*) un-wrap by proteome profiling and DPPH and FRAP assays. **Journal of Food Science**,

83(8), 2127–2139, 2018. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14224>

PEREIRA, A. **Avaliação microestrutural de pós de suco de maracujá obtidos por spray drying**. Lavras: UFLA, 2000; 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

PERIERA, D. M.; VALENTAO, P.; PERIERA, J. A.; ANDRADE, P. B. Phenolics: From **Chemistry to Biology**. *Molecules*. 2202–2211, 2009.
<https://doi.org/10.3390/molecules14062202>

RATTI C. e MUJUMDAR A.S. **Handbook of Industrial Drying**. Marcel Dekker, New York, NY (1995).

RODRIGUES, E. V. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por asperção intermitente na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcida**. 1988. 178p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1988.

RUDRA, S.G. et.al. Enthalpy entropy compensation during thermal degradation of chlorophyll in mint and coriander puree. **Journal of Food Engineering**, v.86, n.3, p 379-387, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.020>

SABLANI, S. S.; RAHMAN, M. S. Fundamentals of Food Dehydration. Em: HUI, Y. H.; CLARY, C.; FARID, M. M.; FASINA, O. O.; NOOMHORM, A.; WELTI-CHANES, **J. Food Drying Science and Technology**, Cap. 1, p. 1-42, DEStech Publication, Inc, Lancaster-EUA, 2008.

SAGLIANO, F.S., SAGLIANO, A.S. Method of growing and preserving wheatgrass nutrients and products thereof. **United States Patent, nº 5820916**, 1998.

SAVIC, I. M., GAJIC, I.M. Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from wheatgrass (*Triticum aestivum* L.). **Food Sci Technol**, 57(8):2809–2818, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04312-w>

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WHANASUNDARA, P. D. Phenolic Antioxidants CRC. **Critical Reviews and Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 32(1), p. 67-103, 1992. <https://doi.org/10.1080/10408399209527581>

- SHAHIDI, F.; NACZK, M. Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications. Lancaster: **Technomic**. 1995.
- SHARMA, V., THAKUR, N., DHALIWAL H.S. Chemical Composition, Minerals and Vitamins Analysis of Lyophilized Wheatgrass Juice Powder. **International Journal on Emerging Technologies**, 10(4), 137-144, 2019.
- SILVA, S. A. et al. Genetic basis of stay-green trait in bread wheat. **Journal of New Seeds**, v. 2, n. 1, p. 55-68, 2000. https://doi.org/10.1300/J153v02n02_05
- TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C.; LORINI, I.; SCHEEREN, P. L.; MIRANDA, M. Z. de. **Produção integrada de trigo – safra 2007**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 10 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online, 26). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci26.htm>. Acesso em: 30 jan. 2019.
- VAŇKOVÁ, K., MARKOVÁ, I., JAŠPROVÁ, J., DVOŘÁK, A., SUBHANOVA, I., ZELENKA, J., NOVOSÁDOVÁ, I., RASL, J., VOMASTEK, T., SOBOTKA, R., E MUCHOVÁ, L. (2018). Chlorophyll-mediated changes in the redox status of Pancreatic cancer cells are associated with its anticancer effects. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4069167>
- WANGCHAROEN, W.; PHIMPHILAI, S. Chlorophyll and Total Phenolic Contents, Antioxidant Activities and Consumer Acceptance Test of Processed Grass Drinks. **J. Food Sci. Technol**, 53, 4135–4140, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2380-z>
- WELTY, J. R. (1974). **Engineering Heat Transfer**. John Wiley E Sons, Inc.
- WIGMORE A: **The Wheatgrass Book**. New York: Avery Publishing Group, 1986.
- ZENDEHBAD SH, MEHRAN MJ, SUDHAKAR M. Flavonoids and phenolic content in wheat grass plant (*Triticum aestivum*). **Asian J Pharm Clin Res** 7(4):184–187, 2014.
- ZOTARELLI, M. F. **Produção e Caracterização de Manga Desidratada em Pó por Diferentes Processos de Secagem**. 2012. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

ZOTARELLI, M. F., CARCIOFI, B.A.M., LAURINDO, J.B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, 69, pp. 410–417, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>