

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JOYCE KELLY DOS SANTOS ALVES

**CINÉTICA DE SECAGEM DA BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) OBTIDA POR
REFRACTANCE WINDOWS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA**

JOÃO PESSOA – PB

2024

JOYCE KELLY DOS SANTOS ALVES

**CINÉTICA DE SECAGEM DA BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) OBTIDA POR
REFRACTANCE WINDOWS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do
Centro De Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento aos requisitos
para Obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Veruscka Araújo Silva

JOÃO PESSOA – PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

Alvesc Alves, Joyce Kelly dos Santos.

CINÉTICA DE SECAGEM DA BETERRABA (Beta vulgaris L.)
OBTIDA POR REFRACTANCE WINDOWS E CARACTERIZAÇÃO
FÍSICO-QUÍMICA / Joyce Kelly dos Santos Alves. - João
Pessoa, 2024.

69 f. : il.

Orientação: Prof^a Dr^a Veruscka Araújo Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Beterraba. 2. Secagem. 3. Refractance window. I.
Silva, Prof^a Dr^a Veruscka Araújo. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

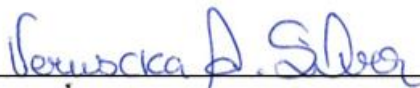
JOYCE KELLY DOS SANTOS ALVES

**CINÉTICA DE SECAGEM DA BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) OBTIDA POR
REFRACTANCE WINDOWS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do
Centro De Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba, em cumprimento aos requisitos
para Obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

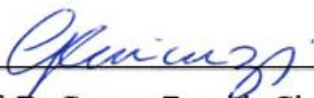
Aprovado em 09 de outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA



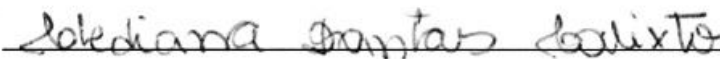
Prof.^a Dr.^a Veruscka Araújo Silva (UFPB/CT/DEQ)

Orientadora



Prof. Dr Genaro Zenaide Clericuzi

Examinador



Dr.^a Clediana Dantas Calixto

Examinadora

Aos meus pais e irmãs,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por iluminar meus passos e me guiar para chegar aonde estou hoje. Aos meus pais Josélia Pereira dos Santos Alves e Waldir Alves da Silva, por todo o apoio, amor e compreensão, me incentivando a persistir nos meus sonhos e por nunca desistir de mim. As minhas irmãs Amanda Cristina dos Santos Alves e Wlliany dos Santos Alves que são minha motivação e tenho muito carinho por elas.

Aos meus familiares (padrinhos e tios) por todo o apoio, me dizendo palavras de encorajamento e sempre acreditando nas minhas capacidades. Em especial as minhas avós que estão com Deus, foram minhas guias nesta jornada e sempre queriam o melhor para mim de todo o coração.

Aos professores do departamento, ao corpo de técnicos de laboratório que auxiliaram no meu crescimento. A minha orientadora e professora, Dr^a. Veruscka Araújo Silva, que foi paciente e amiga, me ajudando e ensinando em cada etapa desde estudo.

Agradeço pela disponibilização aos membros que compuseram a banca examinadora: Dr. Genaro Zenaide Clericuzi e Dr^a. Clediana Dantas Calixto.

O ser humano é o mesmo em qualquer lugar, em qualquer tempo, em qualquer que seja a sua condição. Você pode ser rico ou pobre, mas os problemas que afetam verdadeiramente o ser humano são os mesmos.

Ariano Suassuna

RESUMO

O uso de corantes naturais está crescendo devido à adesão dos consumidores em dietas saudáveis e equilibradas. A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma raiz vegetal com pigmentos de betalaína solúveis em água, se dividindo em betacianinas, que possuem coloração vermelho-violeta e betaxantinas de cor amarelo-laranja. Por terem compostos bioativos sensíveis ao oxigênio, luz, calor e água, a microencapsulação por meio da secagem é adequada. A escolha do método de desidratação também é importante para qualidade final do produto. O objetivo do trabalho foi estudar a cinética de secagem do extrato de beterraba usando diferentes carreadores por *refractance window* (RW), o perfil da temperatura, rendimento e as caracterizações físico-químicas da polpa *in natura*, polpa com agentes carreadores e do pó obtido. Após extração do suco de beterraba, foi adicionado 14% (p/p) de bagaço para posterior adição de agentes carreadores: amido modificado e a maltodextrina DE 20. Durante a secagem foi realizada a análise de cinética e leitura por termografia infravermelho. As análises de pH e °Brix foram feitas para a beterraba *in natura*, adicionada de agente carreador e o pó reidratado; para o pó seco obtido foram analisados o rendimento do processo, teor de umidade, atividade de água, granulometria, cinzas, colorimetria, solubilidade, molhabilidade e espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX). Os resultados mostraram que a secagem de beterraba com agente carreador se mostrou viável, a cinética apresentou coeficientes de difusão variando de $1,17 \times 10^{-3}$ a $1,87 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{min}$. A análise de termografia mostrou que as amostras durante o processo de desidratação seguiram o mesmo perfil de comportamento de temperatura. Os pós de beterraba mostraram baixos valores de umidade, na faixa de 6,05 a 9,12%, e atividade de água entre 0,31 a 0,34. A solubilidade mostrou ótimos valores de reconstituição das amostras. Além disso, a análise de °Brix do pó reidratado foi próximo ao da beterraba *in natura*, e os resultados de pH estão dentro do range de estabilidade da betalaína. A granulometria utilizando a maltodextrina apresentaram uma morfologia mais fina que o amido modificado. A molhabilidade exibiu menores tempos para as amostras com maltodextrina, além disso, foi mais elevada para concentrações maiores de agente carreador. A colorimetria mostrou que a cor vermelha estava presente nas amostras, sem ocorrer sua desnaturação elevada. Os percentuais de minerais mais encontrados usando os dois tipos de agentes carreadores foram Óxido de potássio (K_2O) e Cloro (Cl). O melhor pó para o armazenamento foi o de 30% amido modificado, devido aos seus baixos resultados de atividade de água e umidade. Conclui-se assim que a secagem por este método é viável, com pós apresentando ótimas características físico-químicas e adequadas para o armazenamento.

Palavras-chave: Beterraba. Secagem. *Refractance window*.

ABSTRACT

The use of natural dyes is growing due to consumers' adoption of healthy and balanced diets. Beetroot (*Beta vulgaris* L.) is a root vegetable with water-soluble betalain pigments, divided into betacyanins, which have a red-violet coloration, and betaxanthins, which have a yellow-orange coloration. Since they have bioactive compounds that are sensitive to oxygen, light, heat, and water, microencapsulation through drying is suitable. The choice of dehydration method is also important for the final quality of the product. The objective of this work was to study the drying kinetics of beetroot extract using different carriers by refractance window (RW), the temperature profile, yield, and the physicochemical characterizations of the raw pulp, pulp with carrier agents, and the powder obtained. After extracting the beet juice, 14% (w/w) of bagasse was added for subsequent addition of carrier agents: modified starch and maltodextrin DE 20. During drying, kinetic analysis and infrared thermography reading were performed. The pH and °Brix analyses were performed for the raw beet, added with carrier agent and the rehydrated powder; for the dry powder obtained, the process yield, moisture content, water activity, particle size, ash, colorimetry, solubility, wettability and X-Ray fluorescence spectroscopy (FRX) were analyzed. The results showed that drying beet with carrier agent was viable, the kinetics presented diffusion coefficients ranging from $1,17 \times 10^{-3}$ to $1,87 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{min}$. The thermography analysis showed that the samples followed the same temperature behavior profile during the dehydration process. The beetroot powders showed low moisture values, ranging from 6,05 to 9,12%, and water activity between 0,31 and 0,34. The solubility showed excellent reconstitution values of the samples. Furthermore, the °Brix analysis of the rehydrated powder was close to that of the in natura beetroot, and the pH results are within the stability range of betalain. The granulometry using maltodextrin presented a finer morphology than the modified starch. The wettability exhibited shorter times for the samples with maltodextrin, in addition, it was higher for higher concentrations of carrier agent. The colorimetry showed that the red color was present in the samples, without high denaturation. The percentages of minerals most found using the two types of carrier agents were potassium oxide (K_2O) and chlorine (Cl). The best powder for storage was the one with 30% modified starch, due to its low results of water activity and moisture. It is therefore concluded that drying by this method is viable, with powders presenting excellent physicochemical characteristics and suitable for storage.

Keywords: Beetroot Drying. Refractance window.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.).....	18
Figura 2. Beterraba em ótimas condições de comercialização	20
Figura 3. Esquema de um secador por <i>refractance window</i>	25
Figura 4. Sistema com os três modos de transferência de calor	26
Figura 5. Transferência de energia ao material úmido pela água quente	27
Figura 6. Curvas de secagem.....	28
Figura 7. Banho ultratermostatizado adaptado	35
Figura 8. Amostras do extrato de beterraba com adição de agentes carreadores em bandejas no processo de secagem.....	36
Figura 9. Remoção do extrato de beterraba desidratado das bandejas	37
Figura 10. Almofariz com pistilo com o pó de beterraba macerado	40
Figura 11. Esquematização do dispositivo de agitação	41
Figura 12. Gráficos do conteúdo adimensional de umidade pelo tempo de secagem da beterraba por RW, com diferentes agentes carreadores. a) Amido modificado 20, 25 e 30 e b) Maltodextrina 20, 25 e 30.....	44
Figura 13. Imagens termográfica para secagem a 90°C de extrato de beterraba adicionada de 20% Amido modificado	45
Figura 14. Imagens termográfica para secagem a 90°C de extrato de beterraba adicionada de 20% Maltodextrina	45
Figura 15. Gráfico de perfil de temperatura da secagem de beterraba adicionada de diferentes agentes carreadores.....	46
Figura 16. Gráfico de distribuição da beterraba desidratada por RW	53
Figura 17. Gráfico de acúmulo da beterraba desidratada por RW	53
Figura 18. Fotografia para colorimetria do pó de beterraba.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição nutricional da beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) <i>in natura</i>	19
Tabela 2. Materiais de cobertura utilizados para encapsulação.....	22
Tabela 3. Proporção de agentes carreadores adicionados no extrato de beterraba	35
Tabela 4. Termos do ajuste do modelo difusional de Fick	43
Tabela 5. Rendimento dos pós de beterraba	47
Tabela 6. Percentual de sólidos totais.....	48
Tabela 7. Análises de pH da beterraba com agente carreador e pó reidratado	48
Tabela 8. Análises de °Brix da beterraba com agente carreador e pó reidratado	49
Tabela 9. Resultados de teor de umidade do pó de beterraba.....	50
Tabela 10. Resultados da atividade de água no pó de beterraba	52
Tabela 11. Diâmetros do pó de beterraba para 10, 50 e 90% de acúmulo e diâmetros médios	54
Tabela 12. Resultados de cinzas dos pós de beterraba	54
Tabela 13. Análise da colorimetria dos pós de beterraba	56
Tabela 14. Solubilidade dos pós de beterraba	57
Tabela 15. Resultados de molhabilidade dos pós de beterraba	58
Tabela 16. Resultados de minerais dos pós de 30% amido e 30% de maltodextrina	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. CORANTES NATURAIS	17
3.2. BETERRABA (<i>Beta vulgaris</i> L.)	17
3.2.1. Betalaínas	20
3.3. MICROENCAPSULAÇÃO	21
3.3.1. Agentes encapsulantes.....	22
3.4. SECAGEM	24
3.4.1. Secagem por <i>refractance window</i>	25
3.4.2. Cinética de secagem	27
3.4.2. Modelo difusional	29
3.5. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO	29
3.6. RENDIMENTO.....	30
3.7. CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS.....	30
3.7.1. Sólidos totais	30
3.7.2. Potencial hidrogeniônico (pH)	31
3.7.3. Sólidos solúveis totais (°Brix).....	31
3.7.4. Teor de umidade	31
3.7.5. Atividade de água	31
3.7.6. Granulometria.....	32
3.7.7. Cinzas	32
3.7.8. Colorimetria.....	32
3.7.9. Solubilidade.....	33

3.7.10. Molhabilidade.....	33
3.7.11. FRX	33
4. METODOLOGIA.....	34
4.1. OBTENÇÃO DO EXTRATO	34
4.2. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AGENTE CARREADOR.....	34
4.3. SECAGEM POR <i>REFRACTANCE WINDOW</i>	35
4.4. CINÉTICA DE SECAGEM.....	36
4.5. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO	36
4.6. ARMAZENAMENTO APÓS A SECAGEM	37
4.7. RENDIMENTO.....	37
4.8. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	38
4.8.1. Teor de Sólidos totais	38
4.8.2. pH para beterraba <i>in natura</i> , adicionada de agente carreador e o pó reidratado	38
4.8.3. °Brix para beterraba <i>in natura</i> , adicionada de agente carreador e o pó reidratado	39
4.8.4. Teor de umidade	39
4.8.5. Atividade de água (aw).....	39
4.8.6. Granulometria.....	39
4.8.7. Cinzas	40
4.8.8. Colorimetria.....	40
4.8.9. Solubilidade.....	41
4.8.10. Molhabilidade.....	42
4.8.11. FRX	42
4.8. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. CINÉTICA DE SECAGEM.....	43
5.1. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO	44

5.1. RENDIMENTO.....	47
5.1. TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS.....	47
5.1. pH PARA BETERRABA <i>IN NATURA</i> . ADICIONADA DE AGENTE CARREADOR E O PÓ REIDRATADO.....	48
5.1. °BRIX PARA BETERRABA <i>IN NATURA</i> , ADICIONADA DE AGENTE CARREADOR E PÓ O REIDRATADO.....	49
5.1. TEOR DE UMIDADE	50
5.1. ATIVIDADE DE ÁGUA (aw).....	51
5.1. GRANULOMETRIA.....	52
5.1. CINZAS	54
5.1. COLORIMETRIA.....	55
5.1. SOLUBILIDADE	57
5.1. MOLHABILIDADE	57
5.1. FRX	58
6. CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A	67

1. INTRODUÇÃO

A cor é uma característica importante nos alimentos, ou seja, um aditivo que não pode faltar. A coloração se torna um determinante vital para aceitação, por aumentar o apelo da comida. O uso de corantes naturais em alimentos está crescendo devido à cautela de consumidores e por adesão de dietas saudáveis e equilibradas (Roy *et al.*, 2004). Este tipo de corante possui vantagens como a não toxicidade e por não prejudicar o meio ambiente. São antioxidantes naturais e auxiliam na redução do risco de doenças cardiovasculares, cânceres e envelhecimento (Zuanon, Telis, 2015; Kushwaha *et al.*, 2018).

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma raiz vegetal com pigmentos de betalaína solúveis em água, dividida em betacianinas, que possuem coloração vermelho-violeta e betaxantinas de cor amarelo-laranja. Por causa desses pigmentos, a beterraba é um dos vegetais com maior atividade antioxidante (Silva, 2016; Kushwaha *et al.*, 2018). Por terem compostos bioativos sensíveis ao oxigênio, luz, calor e água, um método de conservação é a microencapsulação destes (García-Segovia, Igual, Martínez-Monzó, 2021).

A microencapsulação tem sido amplamente usada na indústria de alimentos. Esta técnica forma pequenas “embalagens”, chamada de microcápsulas, onde o material é envolvido ou imobilizado por um ou mais materiais (casca, suporte ou material de parede). Ao reduzir a reatividade do material que está sendo encapsulado, protege este contra a evaporação ou perda por outros meios, preservando assim o núcleo de condições ambientais adversas, melhorando a vida útil do produto (Comunian e Favaro-Trindade, 2016; García-Segovia, Igual, Martínez-Monzó, 2021).

O presente trabalho utilizou dois agentes carreadores para realizar a encapsulação da betalaína: amido modificado e maltodextrina DE 20. O primeiro possui vantagens como o aumento de estabilidade, retenção e brilho (Food Ingredients Brasil, 2015; Nascimento, 2023). A maltodextrina é muito utilizada como material de parede eficaz, protegendo contra a oxidação, tem baixas viscosidade e teor de açúcar (Ananingsih, Pratiwi e Margono, 2014; Laokuldilok e Kanha, 2015).

A técnica mais utilizada para conservação da qualidade de produtos agrícolas é a secagem, que remove grande quantidade de água do produto até ficar em um nível de umidade adequado para seu armazenamento por longos períodos de tempos. Isso é possível ao criar condições desfavoráveis ao desenvolvimento de microrganismos (Celestino, 2010; Silva, 2016).

A escolha do método de secagem também é importante para qualidade final do produto. A técnica escolhida para o estudo foi por *refractance window* (RW). Os sistemas RW são relativamente mais baratos quando comparados a outros métodos de desidratação (Nindo e Tang, 2007).

O objetivo deste trabalho é estudar a cinética de secagem da beterraba adicionada de 14% de bagaço (p/p) e agentes carreadores por *refractance window*, acompanhar o perfil de temperatura durante a secagem, além de realizar análises físico-químicas, como: sólidos totais para beterraba *in natura*, de pH e °Brix para o extrato de beterraba *in natura*, adicionado de agentes carreador e do pó reidratado. Analisar o rendimento do processo, teor de umidade, atividade de água, granulometria, cinzas, colorimetria, solubilidade, molhabilidade e espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) dos pós obtidos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar a cinética de secagem do extrato de beterraba por *refractance window*, e as caracterizações físico-químicas da polpa *in natura* e do pó obtido.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar diferentes agentes carreadores, com concentrações distintas;
- Realizar estudo de termografia da secagem por *refractance window*;
- Avaliar a cinética de secagem e determinar o coeficiente de difusão utilizando a equação de Fick;
- Realizar a caracterização físico-química do extrato de beterraba *in natura* e com agente carreador;
- Realizar a caracterização físico-química do pó obtido de beterraba seca e reidratada;
- Analisar resultados da configuração escolhida para cada amostra.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CORANTES NATURAIS

Para os alimentos, a cor é uma característica essencial, sendo assim, os corantes alimentares são um importante aditivo. A coloração se torna um determinante vital de aceitação, aumentando o apelo da comida. O uso de corantes naturais em alimentos é uma prática antiga, mas atualmente está crescendo devido à cautela de consumidores (Roy *et al.*, 2004). Além da indústria de alimentos, também é aplicado em áreas como medicina e cosméticos. Tem como vantagem a pouca toxicidade, além de não prejudicar o meio ambiente. Os corantes naturais são antioxidantes naturais e auxiliam na redução do risco de doenças cardiovasculares, cânceres e envelhecimento (Zuanon e Telis, 2015; Kushwaha *et al.*, 2018).

Em muitos sistemas alimentares, a cor atua como indicador de qualidade, como a condição microbiológica, ajudando a compensar a perda de cor de exposição à luz e ar, assim como aos gradientes de temperaturas e extremos de umidade. Essas mudanças podem ocorrer durante o processamento ou armazenamento. Cada vez mais os consumidores optam pela utilização de produtos de origem natural, a fim de uma dieta saudável e equilibrada. Eles desenvolveram um interesse crescente em corantes naturais. Mesmo que seu custo seja relativamente mais elevado que os sintéticos, isso não limitou seu uso ainda que em doses relativamente baixas. A natureza produz uma variedade de pigmentos e vários são de valor comercial, como corantes hidrossolúveis como antocianinas e betalaínas (Roy *et al.*, 2004).

3.2. BETERRABA (*Beta vulgaris* L.)

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma raiz vegetal com carotenóides, fenóis, vitaminas, minerais e pigmentos de betalaína solúveis em água, dividida em suas subclasses: betacianinas, que possuem coloração vermelho-violeta e betaxantinas de cor amarelo-laranja. De origem europeia e pertencente à família *Chenopodiaceae*, possui uma variedade de cores de bulbos, do amarelo ao vermelho. Aquelas avermelhadas são mais populares no consumo humano, seja cru em saladas ou cozida, até em forma de sucos. Apresentando muitos benefícios nutricionais e de saúde (Lana e Tavares, 2010; García-Segovia, Igual e Martínez-Monzó, 2021).

Existem três tipos de beterraba: a de coloração branca, que é usada na produção de açúcar (açucareira), a utilizada na alimentação de animais (beterraba forrageira), e a que apresenta uma parte tuberosa comestível (hortícola), ela é cultivada e consumida no Brasil (Silva, 2016). Seu sistema radicular tipo pivotante consegue atingir uma profundidade de até 60 centímetros, com poucas ramificações laterais. Desenvolve também raiz do tipo tuberosa púrpura, com o intumescimento do hipocótilo, que é o caule localizado abaixo dos cotilédones (Tivelli *et al.*, 2011).

A beterraba (Figura 1) traz muitos benefícios para a saúde, porém sua utilização é limitada devido a vários fatores como o seu odor característico de terra graças a geosmina e pirazinas, além de sua baixa estabilidade com relação ao pH, atividade de água, temperatura, a ausência ou presença de oxigênio e luz, entre outros (Santos *et al.*, 2018).

Figura 1 - Beterraba (*Beta vulgaris* L.)



Fonte: Embrapa (2022)

Pode ser considerada um alimento funcional devido ao seu alto valor nutricional (Clifford *et al.*, 2015). Quando consumidos como parte da dieta, os alimentos funcionais fornecem nutrientes básicos, apresentando ótimos benefícios para saúde, como o funcionamento metabólico e fisiológico, beneficiando a mente e corpo. Dessa forma, previne contra o desenvolvimento de doenças crônicas degenerativas. A beterraba é proposta como um alimento que promove a saúde, por estimular o sistema imunológico, reduzindo o risco de desenvolver doença cardiovascular (Sousa, 2019). Possui teor significativo de proteínas, lipídeos, carboidratos e minerais como potássio, ferro, zinco e mais, conforme mostra Tabela 1.

Tabela 1 - Composição nutricional da beterraba (*Beta vulgaris* L.) *in natura*

Componente	Unidade	Teor (em 100g)
Valor energético	cal	43
Água	%	87,3
Proteínas	g	1,6
Lipídios	g	0,1
Carboidratos totais	g	9,9
Fibras	g	0,8
Cinzas	g	1,1
Cálcio	mg	16
Fósforo	mg	33
Ferro	mg	0,7
Sódio	mg	60
Potássio	mg	335
Vitamina A (Retinol)	mg	20
Vitamina B1 (Tiamina)	mg	0,03
Vitamina B2 (Riboflavina)	mg	0,05
Vitamina B3 (Niacina)	mg	0,4
Vitamina C (Ácido ascórbico)	mg	10

Fonte: Tivelli *et al.* (2011)

Como sendo uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil, a beterraba teve sua demanda de consumo aumentada durante a década de 2000, para a raiz *in natura*, bem como para utilização na fabricação de conservas industriais, alimentos direcionados ao público infantil e corantes para aplicação em sopas desidratadas, iogurtes e molhos ketchups (Tivelli *et al.*, 2011).

As regiões que mais produzem beterraba no Brasil estão localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul. Das propriedades produtoras da raiz, 42% estão na Região Sudeste e 35% na Região Sul, as demais regiões são responsáveis por apenas 23% da produção nacional. O cultivo no Nordeste é reduzido, pois as temperaturas mais elevadas tendem a reduzir a pigmentação e, conseqüentemente, a qualidade do produto (Marques *et al.*, 2010).

Consoante levantamento realizado pela Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas – ABCSEM, a beterraba (Figura 2) é uma das hortaliças com mais relevância no mercado brasileiro. Em 2017, possuía tendência de crescimento para os próximos anos.

Figura 2 - Beterraba em ótimas condições de comercialização



Fonte: Tivelli *et al.* (2011)

3.2.1. Betalaínas

A beterraba possui betalaínas, que são pigmentos solúveis em água que têm alta capacidade de colorir. Dividido em duas subclasses: betacianinas e betaxantinas, com coloração de vermelho-violeta e amarelo-laranja, respectivamente. Por causa desses pigmentos, a beterraba é um dos vegetais com maior atividade antioxidante (Silva, 2016; Kushwaha *et al.*, 2018). Possuem compostos bioativos sensíveis ao oxigênio, luz, calor e água, um método de conservação é a microencapsulação destes (García-Segovia, Igual e Martínez-Monzó, 2021). As betalaínas são consideradas um dos mais importantes corantes naturais, sendo um dos primeiros desenvolvidos para uso em indústrias de alimentos (Ferreira, 2010).

Quimicamente, betalaínas são metabólicos secundários, nitrogenados N-heterocíclicos, atóxicos, hidrossolúveis e biodegradáveis. Devido a ser o cromóforo da estrutura, e por causa da presença de ligações duplas conjugadas, é capaz de realizar a absorção da luz ultravioleta e assim proporcionar coloração. A depender da sua estrutura química, advindo da natureza do resíduo do ácido betalâmico, as betalaínas podem se dividir nas duas subclasses citadas anteriormente (Wasum e Gurak, 2023).

Proporcionando uma cor amarelo-alaranjada, as betaxantinas são obtidas pela condensação de ácido betalâmico a compostos aminos, aquelas encontradas na beterraba são as vulgaxantinas I e II. As betacianinas são resultantes da condensação de ácido betalâmico e da estrutura aromática ciclo-DOPA [ciclo-3-(3,4-dihidroxifenilalanina)]. Esta última reação proporciona um deslocamento de efeito batocrômico, ou seja, para uma coloração de violeta-avermelhada (480 para 540 nm), sendo encontradas as betaninas e isobetanina (Kujala *et al.*, 2002; Wasum e Gurak, 2023).

Os pigmentos betalaínicos, além da cor avermelhada, também são responsáveis pela beterraba ser incluída no grupo dos dez vegetais com maior atividade antioxidante. Devido às suas propriedades redutoras, capturam os radicais livres, além de prevenir a oxidação de moléculas (Tivelli *et al.*, 2011). Há vários fatores que influenciam a estabilidade de antioxidantes ou pigmentos durante o processamento e armazenamento, como o pH, temperatura, atividade de água, oxigênio, metais e radiação iônica (Guldiken *et al.*, 2016).

A betalaína é solúvel em água com alta força tintorial. Em pH na faixa de 3 a 7 é relativamente estável. Em valores de pH inferiores a 3, torna-se mais violeta, enquanto para pH superiores a 7, a cor fica mais marrom-amarelado devido à perda de betanina (Roy *et al.*, 2004). Por causa das reações hidrolíticas dependentes da água, a atividade de água (a_w) é um fator crucial para suscetibilidade da betanina. A temperatura é um dos fatores mais cruciais durante o processamento e armazenamento de alimentos. As betalaínas são muito sensíveis ao calor e perdem estabilidade em temperaturas elevadas, ocorrendo assim uma degradação proporcional ao gradiente de temperatura (Herbach; Stintzing e Carle, 2006).

3.3. MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação tem sido amplamente utilizada na área alimentícia. Esta técnica forma pequenas “embalagens”, chamadas de microcápsulas, microesferas ou micropartículas, onde componentes, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, estão envolvidos ou imobilizados por um ou mais materiais (casca, suporte ou material de parede). Ao reduzir a reatividade do material que está sendo encapsulado, protegendo este contra a evaporação ou perda por outros meios, preservando o núcleo de condições ambientais adversas, melhorando assim a vida útil de um produto (Comunian e Favaro-Trindade, 2016; García-Segovia, Igual e Martínez-Monzó, 2021).

A utilização na indústria alimentícia tem facilitado na aplicação de ingredientes instáveis, melhorando também o processamento e textura de componentes devido à menor higroscopicidade, maior solubilidade e capacidade de dispersão em diferentes materiais. Além disso, existe a possibilidade de controle de liberação no local de ação dos compostos de interesse (Comunian e Favaro-Trindade, 2016). O material encapsulado é geralmente referido como ingrediente ativo e material de núcleo, enquanto o que reveste é chamado de material de parede e membrana (Kaushik *et al.*, 2015).

No processo de microencapsulação por liofilização, há a vantagem nesta tecnologia da remoção de oxigênio e a aplicação de baixas temperaturas, permitindo maximizar a

oxidação do produto. A composição do agente tem uma influência profunda na proteção e liberação controlada do material do núcleo (Kaushik *et al.*, 2015; Sousa, 2019).

3.3.1. Agentes encapsulantes

Há uma série de condições para a escolha de um agente encapsulante, como baixo custo, atoxicidade e estabilidade são importantes para a escolha da matriz, dependendo da técnica de encapsulamento (Nascimento, 2023). Além da não reatividade com o material a ser encapsulado e do mecanismo de liberação ideal. Existem muitos materiais que podem ser utilizados como agente carreador, como a goma arábica, alginato e carragena; carboidratos amido, amidos modificados, dextrina e sacarose; as celuloses carboximetilcelulose, acetilcelulose, nitrocelulose; lipídios parafina, mono e diacilglicoróis, óleos; materiais inorgânicos sulfato de cálcio e silicato; as proteínas do glúten, caseína e gelatina (Jackson e Lee, 1991). Os agentes mais utilizados estão listados na Tabela 2:

Tabela 2 - Materiais de cobertura utilizados para encapsulação de materiais

Composição	Materiais
Carboidratos	Amidos, maltodextrinas, xarope de milho, dextranas, sacaroses e ciclodextrinas
Celulose	Carboxi metilcelulose (CMC), metilcelulose, etilcelulose, nitrocelulose, acetilcelulose
Gomas	Goma acácia (goma arábica), alginato de sódio, caragena
Lipídeos	Cera, parafina, ácido triesteárico, diglicerídeos, monoglicerídeos, óleos, gorduras, óleos solidificados
Proteínas	Gluteína, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina, peptídeos

Fonte: Righetto (2003)

As propriedades funcionais da microcápsula do agente encapsulante são determinadas principalmente pela sua composição. Um material de cobertura ideal deve ter propriedades reológicas ótimas à altas concentrações, facilidade para dispersar ou emulsificar o material ativo, além de estabilizar a emulsão produzida. Também é importante que o agente carreador não reaja com o material a ser encapsulado durante o processamento, igualmente durante o armazenamento, habilidade para segurar o material ativo dentro de sua estrutura no período de estocagem, boa disponibilidade no mercado e baixo custo. Como a maioria dos materiais de parede não abrangem todas essas propriedades antes citadas, na prática eles

podem ser utilizados em combinação com outro material de cobertura, ou modificadores como antioxidantes e surfactantes (Righetto, 2003).

A maltodextrina tem sido muito utilizada como material de parede eficaz, principalmente na secagem por pulverização para proteção contra a oxidação. Possui alta solubilidade em água, baixas viscosidade e teor de açúcar, sendo muito viável por estes fatores (Ananingsih, Pratiwi e Margono, 2014; Laokuldilok e Kanha, 2015).

As maltodextrinas são polímeros sacarídeos nutritivos $[(C_6H_{12}O_5)_n.H_2O]$, que consistem de unidades D-glicose unidas por ligações α (1,4), com dextrose equivalente (DE) menor que 20. São apresentados como um produto em pó branco ou solução concentrada pela hidrólise parcial do amido de milho com ácidos ou enzimas (Santiago, 2014).

O amido é um polissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é insolúvel em água, tornando o amido insolúvel, a amilopectina é solúvel, permitindo que o amido intumescça na fase aquosa para produzir suspensões que podem ser utilizadas para produzir filmes biodegradáveis. As fontes mais comuns de amido são milho, batata, trigo, mandioca e arroz (Nascimento, 2023).

Amido é um carboidrato constituído de glicose com ligações glicosídicas. O seu grão é uma mistura de dois polissacarídeos, a amilose e amilopectina, que são polímeros de glicose formados através de síntese por desidratação (Food Ingredients Brasil, 2015).

Consoante a revista Food Ingredients Brasil (2015), os amidos possuem características que os tornam pouco práticos para utilização, como suportar mal as imposições tecnológicas de determinados processos, a exemplo de serem expostos a amplas faixas de temperatura, pH e cisalhamento. A viscosidade também é afetada em gradientes elevados de temperatura. Por causa disso, se faz necessário mudanças no amido para incrementar ou inibir suas características originais e assim adequá-los à determinadas aplicações.

A utilização do amido modificado tem vantagens na facilidade de obtenção, baixo custo, possui atributos funcionais, propriedades mecânicas, como a flexibilidade e tensão, propriedades ópticas, resistência estrutural à água e microrganismos, dispersa e confere opacidade. Com as modificações do amido, melhora a retenção e promove o espessamento e brilho e aumenta a estabilidade. Sem a modificação ocorreria hidratação, intumescimento rápido, e perda da viscosidade. Com a modificação, obtém-se um melhor controle e maior flexibilidade em trabalhar formulações, processos e, além disso, prolongar a vida útil do produto (Food Ingredients Brasil, 2015; Nascimento, 2023).

3.4. SECAGEM

O processo comercial mais usado com a finalidade de preservação da qualidade de produtos agrícolas é a secagem. A técnica consiste na remoção de grande quantidade de água ou qualquer outro líquido que o produto continha, e assim deixá-lo em um nível máximo de umidade no qual possa ser armazenado em condições ambientes por longos períodos. Isto é possível graças a criação de condições desfavoráveis ao desenvolvimento de microrganismos no produto, além de eliminar quase totalmente suas atividades metabólicas (Celestino, 2010; Silva, 2016).

Há macro e micronutrientes, os quais compõem os produtos destinados à alimentação, que dependem da presença de água, conferindo textura, estabilidade e maior peso. Porém, esta água pode ser o fator principal de decomposição do produto. Nos alimentos ricos em água com atividade de água (a_w) acima de 0,9 se tornarão fontes nutritivas para o desenvolvimento de microrganismos. Quando a atividade de água estiver próxima de 0,6, há um pequeno ou nenhum crescimento de contaminação microbiológica. Em casos no qual $a_w < 0,3$, atinge-se a zona de absorção primária, onde as moléculas estão fortemente ligadas ao alimento, sem a possibilidade de ser utilizada para o surgimento de microrganismos (Celestino, 2010).

A qualidade de alimentos desidratados não depende apenas da qualidade inicial do material, como também das mudanças que podem ocorrer durante o processamento e armazenamento (Villota *et al.*, 1980). Durante o processo de secagem ocorrem muitas mudanças junto com a física, afetando a qualidade do produto em termos de valor nutricional, cor, sabor e textura. Os principais fatores de deterioração para vegetais são: reações de escurecimento enzimático e não enzimático; reações de oxidação de lipídios e vitaminas; e degradação de pigmentos. A evolução busca tecnologias e metodologias para promover e otimizar este processo de secagem, melhorando a qualidade do produto final (Celestino, 2010; Silva, 2016).

A escolha da temperatura e do tempo de secagem irá depender do efeito que o calor exerce sobre as características gerais do alimento, com relação à nutrientes e características organolépticas. Os produtos desidratados retornarão ao aspecto original ou sofrerão alterações mínimas quando reconstituídos em água. Dessa forma, o processo representa uma forma viável de conservação de alimentos para consumo humano (Brandão e Schmidt, 2019).

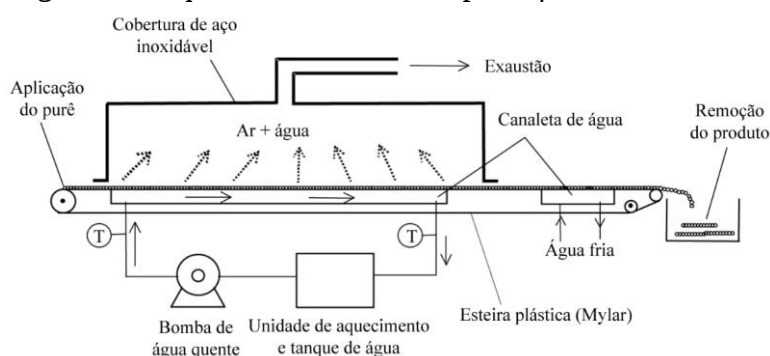
Os sistemas de secagem podem ser classificados como primeira, segunda e terceira ou quarta geração com base no desenvolvimento histórico. Devem ser feitas várias

considerações em um projeto de qualidade, como a fonte de energia, o nível de temperatura, tempos de residência do produto no secador, se o meio de secagem interage direta ou indiretamente com o material. Além disso, o modo de transferência de calor para o material úmido também precisa ser considerado, se é por condução, convecção, radiação ou combinação desses processos. Na maioria das operações de desidratação, a energia é transferida da superfície para o centro da amostra, com exceções daquelas que geram calor interno dentro do sólido, como microondas e radiofrequência (Nindo e Tang, 2007).

3.4.1. Secagem por *refractance window*

O *refractance window* é um método de secagem utilizado para converter alimentos líquidos, outros biomateriais e semilíquidos em pó, flocos ou folhas com valor agregado. Esta tecnologia foi patenteada por Magoon (1986) e desenvolvida pela MCD Technologies, Inc. (Tacoma, Washington, E.U.A). Ele tem sido muito usado na desidratação de polpa de frutas e hortaliças. Diferentemente de outros tipos de secadores, a contaminação não ocorre no RW, porque o produto não entra em contato direto com o meio de transferência de calor (Nindo e Tang, 2007; Zotarelli, 2014). O *refractance window* (Figura 3) é um secador com um caminho viável, pois se obtém produtos com características sensoriais e visuais de boa qualidade, como retenção de cor e vitaminas, além de seu menor custo. A desidratação por este método mostra menos deterioração em seus produtos secos (Ochoa-Martínez *et al.*, 2012; Ortiz-Jerez *et al.*, 2015; Nascimento, 2016).

Figura 3 - Esquema de um secador por *refractance window*



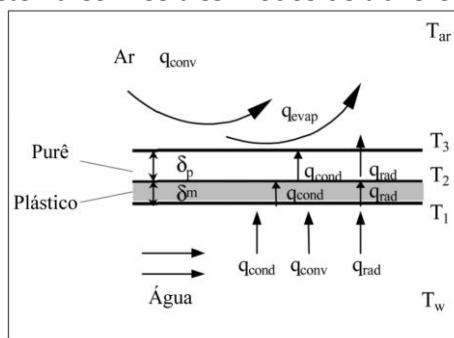
Fonte: Adaptado de Nindo e Tang (2007)

Neste método de secagem, o material úmido, que pode estar na forma de polpa, suco ou fatiado, é espalhado sobre uma esteira de filme plástico, como o *mylar*, o qual está em contato com água quente, que é circulada no reservatório (Figura 3). A energia térmica

oriunda da água quente é então transferida através da interface do filme para a suspensão. O *refractance window* possui um sistema de exaustão e um tanque de circulação de água. Próximo à saída do produto, tem-se uma seção de resfriamento, para reduzir a temperatura da amostra abaixo da temperatura de transição vítrea, a fim de evitar que o produto fique pegajoso e facilite a sua remoção. O produto seco é então raspado com auxílio de uma lâmina (Nindo e Tang, 2007; Zotarelli, 2014).

A transferência de calor para a amostra a ser seca ocorre por três meios: radiação, condução e convecção (Figura 4). A água é aquecida até uma temperatura próxima a de ebulição, antes de circular em calhas a fim de transferir energia térmica para o *mylar*, fazendo-o atingir rapidamente a temperatura da água quente, esta energia é transferida por condução e radiação (Nindo e Tang, 2007; Mahanti *et al.*, 2021).

Figura 4 - Sistema com os três modos de transferência de calor

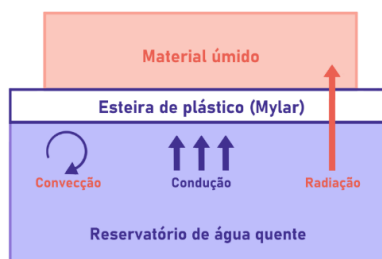


Fonte: Adaptado de Nindo e Tang (2007)

A transmissão por radiação infravermelha através do filme é intensa quando a interface deste está em contato com a água em uma das faces e com o material úmido na face oposta. Dessa forma, para o produto com um alto teor de umidade espalhado pela superfície do plástico, a refração entre a interface plástico-produto é minimizada, e a radiação infravermelha, oriunda da água quente, é transmitida pelo plástico e absorvida pela água da solução que está sendo seca (Zotarelli, 2014).

A absorvência do produto é influenciada pela sua espessura e teor de umidade. A transferência de energia térmica da amostra para o ambiente é realizada principalmente por convecção e pelo resfriamento evaporativo do material. Esta evaporação constitui uma parte importante do consumo de energia na secagem por RW, além de ser muito intensa. Na última etapa do processo de secagem por *refractance window*, quando o produto está quase seco, a transferência de calor por condução se torna predominante e a taxa de transferência de calor para o produto diminui à medida que este desidrata ainda mais (Nindo e Tang, 2007).

Figura 5 - Transferência de energia ao material úmido pela água quente



Fonte: Adaptado de Ortiz-Jerez *et al.* (2015)

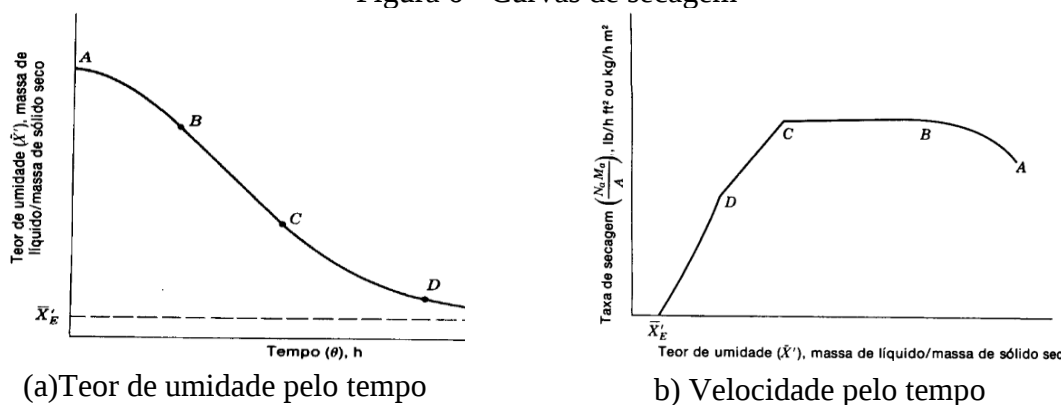
Por transmitir bem a energia térmica, a energia radiativa é transmitida ao alimento pelo *mylar*, entre este e a água. O significado de “janela” (window) se deriva do momento em que existe a permissão de passagem da radiação térmica pelo plástico, ocorrendo quando há o contato de um material ou alimento sobre este, assim, é como se não houvesse o *mylar*. Conforme o material úmido vai sendo seco, o índice de refração entre o plástico e a água aumenta, fazendo com que a radiação térmica seja refletida na água com o passar do processo de secagem (Nindo e Tang, 2007; Ortiz-Jerez *et al.*, 2015).

Martins (2019) estudou a secagem por *refractance window* da acerola adicionada de maltodextrina em diferentes concentrações, analisando a qualidade do produto final processado. Pode-se verificar que há uma relação da atividade de água com o teor de umidade, observando que para menores valores da atividade de água, tem-se menores valores para a umidade, uma vez que a umidade representa a composição da água livre em um sistema alimentar e o pó de acerola apresentou também boas propriedades de solubilidade, rendimento, ângulo de repouso e densidades de bulk.

3.4.2. Cinética de secagem

O estudo da cinética de secagem de materiais em diversas condições é importante para definição do modelo do equipamento que irá ser utilizado e determinar como se dará o processo. As condições devem ser analisadas tais como seu efeito sobre o material a ser desidratado, além da qualidade do produto final. Durante a secagem de um sólido úmido, por meio de um gás a uma temperatura e uma umidade fixas, sempre mantém um certo tipo de comportamento. A temperatura e a velocidade de desidratação da amostra, quando em contato com o meio secante, podem aumentar ou diminuir até atingirem um regime permanente. A Figura 6 (a) e (b) representa as curvas típicas de secagem, uma na base do teor de umidade contra o tempo e a outra na base de velocidade contra o tempo (Foust *et al.*, 1982).

Figura 6 - Curvas de secagem



Fonte: Foust *et al.* (1982)

Estas curvas estão relacionadas ao mecanismo de realização da secagem. O segmento AB representando um período de secagem da Figura 6 (a) e (b) é um regime não permanente, no qual a temperatura da amostra atinge o seu valor de regime permanente, esta faixa pode ocorrer em velocidade crescente ou decrescente. Durante o período a taxa constante no segmento BC em (a) e (b), em caso de sólidos, toda a sua superfície está saturada de água, assim a desidratação acontece como se fosse evaporação de uma massa de líquido, sem influência do material na velocidade de secagem. A temperatura da superfície atinge a mesma do bulbo úmido. O regime de secagem a taxa constante continua, com a massa de líquido sendo substituída pelo que vem do interior do sólido. No ponto C, o teor de umidade da amostra é o mínimo para suprir a superfície (Foust *et al.*, 1982).

Entre os pontos C e D da Figura 6 (a) e (b) tem-se o chamado “primeiro período de taxa decrescente”, no qual a velocidade com a qual o líquido do interior se move para a superfície é menor do que a massa transferida desta. No ponto D não há qualquer área saturada de líquido na superfície, porque a transferência de calor por convecção e transferência de massa é muito mais rápida que a difusão do vapor dentro do sólido para a superfície. Em teores de umidade abaixo do ponto D, toda evaporação ocorre a partir do interior do material. Não há na superfície da amostra qualquer área significativamente saturada em líquido, este ponto sendo chamado de “segundo período de velocidade decrescente”. A umidade diminui até atingir o teor de umidade de equilíbrio ($\bar{X}_E$), onde a secagem é cessada (Foust *et al.*, 1982).

Em gráficos de curva de secagem em velocidade decrescente, as curvas podem apresentar formas côncavas, convexas ou se aproximarem de uma linha reta; até ter um ponto de inflexão, o que pode indicar uma mudança na forma física do material, como uma ruptura (Foust *et al.*, 1982).

3.4.2.1. Modelo difusional

Vários modelos teóricos são usados para explicar as curvas de secagem, principalmente em alimentos, ainda mais quando considera a difusão da umidade líquida baseada na segunda Lei de Fick, que descreve o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de líquido. Essa difusividade é definida por vários modelos matemáticos que associam ao transporte de massa, avaliando os tempos secagem do material com a difusão das curvas (Martins, 2019).

A Equação 1 traz o balanço de massa de água no interior do produto de acordo com a segunda lei de Fick.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla X) \quad (1)$$

Onde X é o teor de água em base seca (kg/kg), t é o tempo de secagem em segundos e D_{ef} é o coeficiente de difusão, dado em metro ao quadrado por segundo (m^2/s).

Diversas soluções foram propostas por Crank (1975) na forma de séries, levando em consideração diferentes condições iniciais e de contorno. O parâmetro difusional pode ser constante ou variar com o gradiente de concentração de água, para aplicação a formas geométricas simples, como placa plana, cilindro ou esfera (Martins, 2019). A Equação 2 mostra a expressão aplicada a placa plana, utilizando quatro termos da série.

$$Y = \frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_o - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[-(2i+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot \frac{t}{4L^2} \right] \quad (2)$$

Onde Y é medida de conteúdo de umidade adimensional, $\bar{X}$ é o conteúdo de umidade em base seca ($Kg_{\text{água}}/Kg_{\text{massa seca}}$), o X_{eq} é o conteúdo de umidade de equilíbrio ($Kg_{\text{água}}/Kg_{\text{massa seca}}$), X_o o valor inicial de conteúdo de umidade ($Kg_{\text{água}}/Kg_{\text{massa seca}}$), i é o número de termos na série, L é a espessura da amostra na placa (mm), t o tempo em segundos e D_{ef} é o coeficiente de difusão do modelo (cm^2/min).

3.5. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO

A termografia é uma importante ferramenta para medição de temperaturas de superfície, quantificando seus gradientes, além disso é uma técnica não destrutiva, por não necessitar contato direto com o material, proporcionando assim um mapeamento da

temperatura da superfície. Isto é realizado pela conversão do padrão de radiação térmica em imagens correlacionadas com dados de temperatura. Estas imagens térmicas por infravermelho podem ser utilizadas para medição ou controle de qualidade de alimentos (Zotarelli, 2014; Frabetti, 2017).

3.6. RENDIMENTO

O rendimento de um produto é determinado pela razão entre a massa seca do produto seco e o peso total de sólidos do material antes de processo de secagem. É um importante parâmetro, principalmente no setor industrial, onde produtos com mais de 50% de rendimento indica produtos com secagem bem-sucedida. Alguns fatores podem afetar o rendimento, como a viscosidade do produto. Foram desenvolvidas algumas propostas a fim de melhorar este parâmetro, como a adição de materiais de suporte com alta temperatura de transição vítrea, como a maltodextrina, uma solução eficaz (Martins, 2019).

3.7. CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas são realizadas após processo de secagem, com a finalidade de verificar as influências dos parâmetros utilizados durante a desidratação por *refractance window*. Os ensaios são necessários e importantes para determinação da qualidade do produto obtido e seu valor agregado, fornecendo assim informações relevantes para o manuseio.

3.7.1. Sólidos Totais

Os sólidos totais, também chamados sólidos suspensos ou dissolvidos, é aplicado para o resíduo material deixado no recipiente após a evaporação de uma amostra de água e sua secagem completa a uma temperatura definida, como 105°C. O termo sólido está relacionado à matéria suspensa ou dissolvida no líquido, os quais se diferenciam em fixos e voláteis. Os fixos é o produto da calcinação do resíduo total, de material suspensa ou dissolvida, por um tempo específico e uma temperatura determinada. A perda de peso durante este processo é denominada de “sólidos voláteis”. Essas perdas por calcinação não são exclusivas da matéria orgânica, podendo ocorrer a decomposição ou volatilização de alguns sais minerais (Zenebon; Pascuet e Tiglea, 2008).

3.7.2. Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é utilizado para determinação de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. P H está relacionada ao íon hidrogênio (H^+), enquanto o p deriva do alemão *potenz*, que significa poder de concentração. Os ácidos são substâncias ionizadas que liberam o íon de hidrogênio em solução aquosas e bases aquelas substâncias separadas ionicamente, que geram o ânion (OH^-). Dessa forma, para determinar a acidez de um material, faz-se uso de uma escala de pH que varia de 0 a 14, que estabelece a concentração de íons presentes na solução analisada. Para valores abaixo de 7, são consideradas ácidas, acima deste valor são solução alcalinas e igual a 7 são neutras (Martins, 2019).

3.7.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Esta análise é uma propriedade física importante. A medida pode ser utilizada para determinação da concentração de uma solução, pois o índice de refração varia com a concentração. O °Brix é uma medida da quantidade de sólidos solúveis em uma amostra. Sua escala é calibrada pelo número de gramas de açúcar contidos em 100g de solução, ou seja, a porcentagem de °Brix deve combinar com a concentração real de açúcar em uma amostra (Dantas, 2018).

3.7.4. Teor de Umidade

O teor de umidade é a água contida no alimento, referente à água ligada, presente no interior deste, e a não ligada, encontrada na superfície. Este parâmetro corresponde ao gradiente de peso quando o produto é submetido a aquecimento em condições nas quais a água é removida (Zenebon; Pascuet e Tiglea, 2008).

3.7.5. Atividade de água (a_w)

A atividade de água é um dos principais parâmetros para análise quando se considera as etapas de processamento, conservação e armazenamento de alimentos. De forma a garantir e conservar a qualidade é necessário ter o conhecimento desta propriedade para o produto seco (Silva *et al.*, 2019). A água livre disponível em um alimento é aquela que os

microrganismos utilizam para seu crescimento. Esse grau de água é expresso como atividade de água, definido como a razão entre a pressão do vapor de água no alimento e a pressão de vapor da água pura à mesma temperatura (Castoldi, 2012).

3.7.6. Granulometria

A análise granulométrica estuda a distribuição das partículas, expressando a frequência da quantidade de partículas sólidas em cada faixa de tamanho, normalmente dado em fração mássica ou volumétrica, em função dos diâmetros das partículas encontradas em uma amostra. Esta análise serve para caracterizar as propriedades de materiais particulados como pós, suspensões e emulsões quanto a sua abrasividade, grau de dispersão, fluidez, granulação, permeabilidade, sedimentação e aglomeração. Influi diretamente em várias etapas de produção, como compactação, transporte, sinterização entre outros, além de também na microestrutura do material, afetando assim a resistência mecânica, densidade e as propriedades térmicas e elétricas de produtos acabados (Dantas, 2018).

3.7.7. Cinzas

O teor de cinzas é o resíduo inorgânico de um alimento, após sua completa oxidação ou ignição de uma amostra sem qualquer contaminação. Ou seja, corresponde à qualidade mineral do alimento, e sua medição pode ser utilizada como uma análise prévia de seu conteúdo elementar iônico específico (Dürmaier, 2023).

3.7.8. Colorimetria

A análise de cor é um processo analítico para determinação da concentração de espécies químicas pela absorção de luz. Com auxílio de modelos matemáticos, é possível descrever, quantificar e simular a cor percebida pelo olho humano. Os parâmetros de cor e brilho são indicadores da qualidade do produto, se está dentro do padrão de cor estabelecido (Leão, 2021).

Para medição de cores dos materiais, são usados vários espaços de cores. O mais utilizado é o espaço de cor RGB (vermelho, verde e azul), o qual possui três dimensões do sistema de coordenadas, retangulares, com R, G e B como eixos. A coloração de uma foto é realizada com esses três elementos, com pixels no range de 0 a 225 de intensidade, e são

combinados para elaborar cor na foto digital. Vários programas de processamento de imagens são equipados com o sistema RGB, revelando os valores L^* , a^* e b^* . O parâmetro L^* é a luminância ou luminosidade, variando de 0 a 100; a^* (de verde para vermelho) e b^* (de azul para amarelo) são dois componentes cromáticos, sem limites numéricos (Afshari-Jouybari e Farahnaky, 2011).

3.7.9. Solubilidade

A solubilidade é a avaliação da capacidade do pó em se misturar em uma solução aquosa, assim, é uma mistura de partículas dissolvidas em um líquido. Este parâmetro pode ser influenciado pelo processo de secagem, assim como tempo e temperatura do processo, materiais de suporte e pelas características do pó, como tamanho das partículas e sua morfologia e teor de umidade. A solubilidade é desejável principalmente quando quer utilizar o produto como aditivo em outros materiais, sendo necessário dessa forma um pó com excelente capacidade de reidratação (Martins, 2019).

3.7.10. Molhabilidade

É a habilidade das partículas do pó seco de superar a tensão superficial entre si e a água, ou seja, a capacidade necessária para uma quantidade de pó penetrar a superfície aquosa e ficar “molhado”. Este parâmetro depende de vários outros, como a atividade de superfície das partículas, da área e carga, assim como tamanho das partículas, densidade e substâncias absorvedoras de umidade (Frabetti, 2017).

3.7.11. FRX

A espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) é um método de análise de minerais, que permite quantificar os elementos, minerais, presentes em alimentos. Os minerais são elementos inorgânicos, como metais, associados com outro grupo de elementos químicos, como óxido de carbonato, sulfato e fósforo (Lima, 2018).

4. METODOLOGIA

Foi realizada a extração do suco da beterraba, transformando-o em polpa com uma porcentagem específica de bagaço adicionado e agentes encapsulantes, a fim de facilitar o processo de secagem. O extrato formado foi desidratado por *refractance window*, com a finalidade de obter o produto em pó e estudar suas características físico-químicas após o procedimento.

Foram realizadas dos sólidos totais, pH e °Brix nas amostras *in natura* da polpa de beterraba com bagaço adicionada, e com adição de agentes carreadores de pH e °Brix. Para os pós obtidos, realizou-se as medições de umidade, atividade de água, cinzas, granulometria, colorimetria, solubilidade, molhabilidade e FRX e, após realizar reidratação, foram de pH e °Brix. As análises foram realizadas em triplicatas, com exceção para a análise de granulometria, solubilidade, molhabilidade e FRX. Após obtenção dos resultados, o tratamento estatístico foi realizado utilizando softwares como o Excel© e Origin.

4.1. OBTENÇÃO DO EXTRATO

As beterrabas (*Beta vulgaris* L.) foram adquiridas no Assaí Atacadista, no Geisel em João Pessoa. Depois de higienizadas e secas, foram descascadas e colocadas no aparelho Philips Walita Centrífuga Juicer©, sem adição de água. O líquido extraído foi pesado em balança analítica Marte, modelo AD2000 e a este foi adicionado 14% do bagaço (p/p), homogeneizado em liquidificador Philips Walita Centrífuga Juicer©. A mistura foi armazenada no freezer para posterior uso.

A adição de bagaço ao extrato decorreu de testes preliminares realizados, nos quais o tempo de secagem foi otimizado para as amostras com o bagaço adicionado.

4.2. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE AGENTE CARREADOR

Os agentes encapsulantes utilizados foram a maltodextrina 20DE e amido modificado, em diferentes proporções. O primeiro foi adquirido na loja Pryme Foods, de Sorocaba, São Paulo, Brasil e o amido modificado capsul da loja GastronomyLab, localizada em Brasília, Brasil. Foram realizados estudos para adição dos agentes, seguindo recomendação do trabalho de Martins (2019) para secagem de acerola realizado em

refractance window, dessa forma, foram utilizadas três diferentes concentrações de carreadores (p/p), conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Proporção de agentes carreadores adicionados no extrato de beterraba

Amostra	Maltodextrina	Amido Modificado
1	20%	-
2	25%	-
3	30%	-
4	-	20%
5	-	25%
6	-	30%

Fonte: Autora (2024)

4.3. SECAGEM POR *REFRACTANCE WINDOW*

O equipamento utilizado para realização da secagem por RW foi um banho ultratermostatizado, da marca Labor (Figura 7). O banho foi o mesmo utilizado por Martins (2019), e foi adaptado com exaustores e bandejas de material transparente (*mylar*) para obtenção de produto em pó, localizado no Laboratório de Purificação e Aspersão de Materiais Argilosos (LAPAMA), do departamento de Engenharia de Materiais, Campus I- UFPB.

Figura 7 – Banho ultratermostatizado adaptado



Fonte: Autora (2024)

As amostras preparadas com a adição dos agentes encapsulantes, conforme Tabela 3, foram transferidas para bandejas de material transparente e colocadas para iniciar o processo de secagem (Figura 8).

Figura 8 - Amostras do extrato de beterraba com adição de agentes carreadores em bandejas no processo de secagem



Fonte: Autora (2024)

Foram realizadas pesagens em balança analítica da Marca Shimadzu, modelo UX6200H, em tempos pré-determinados e com a estabilização da massa, a secagem foi finalizada.

4.4. CINÉTICA DE SECAGEM

Foram realizadas pesagens das bandejas em tempos pré-determinados até o peso da polpa de beterraba estabilizar. Os dados das curvas de secagem do procedimento experimental foram submetidos ao ajuste de regressão linear pelo modelo de Fick de difusão de placas (Equação 2), utilizando quatro termos da série, sem levar em consideração o encolhimento durante a secagem, assim foram determinados o coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}), o parâmetro A ajustável, sabendo que o valor teórico da equação ($A = \frac{8}{\pi^2} = 0,810$) e os coeficientes de correlação (R^2), conforme a metodologia proposta por Silva (2004).

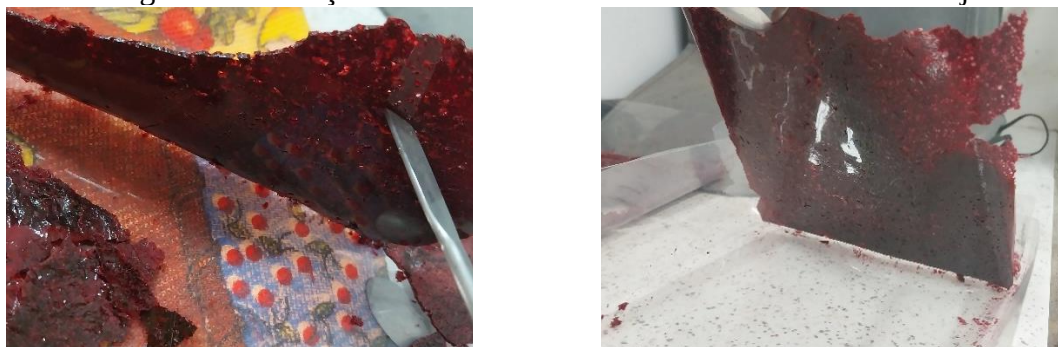
4.5. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO

Durante o processo de secagem, foram realizadas leituras termográficas para acompanhar o perfil de temperatura, através do uso de câmera termográfica infravermelho da marca Flir, de 4.800 pixels, range de temperatura de -25°C a 380°C, com campo de visão 25°X19,6°, modelo TG167. A câmera termográfica foi posicionada a uma distância padronizada para todas as coletas, com a emissividade ε utilizada de 0,98 para todas as amostras.

4.6. ARMAZENAMENTO APÓS A SECAGEM

Ao término da secagem, as amostras foram retiradas das bandejas com auxílio de espátula de inox. Após retiradas, foram trituradas em processador manual.

Figura 9 - Remoção do extrato de beterraba desidratado das bandejas



Fonte: Autora (2024)

O armazenamento foi realizado em potes de plásticos e vedados com filme de pvc esticável. Eles foram colocados em frizer doméstico, a fim de impedir sua umidificação. Nunes (2019) utilizou desta metodologia de armazenamento em seu estudo, com o pó de tomate pulverizado.

4.7. RENDIMENTO

O rendimento do pó seco de beterraba com bagaço acrescida de agentes carreadores foi obtido seguindo a Equação 3:

$$r(\%) = \frac{m_{pó}}{m_{bet}} \cdot 100 \quad (3)$$

Com $r(\%)$ como o rendimento calculado em porcentagem, $m_{pó}$ é a massa do pó de beterraba por RW e m_{bet} é a massa inicial medida da beterraba com 14% de bagaço para secagem.

4.8. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

4.8.1. Teor de sólidos totais

O cálculo do teor de sólidos totais foi realizado seguindo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), dessa forma, foram selecionados três cadinhos, os quais foram aquecidos na estufa por trinta minutos para sua desumidificação, e esfriados lentamente dentro de um dessecador de vidro. Foram pesados em balança analítica Marte, modelo AD2000, depois foi adicionado 10g do extrato de beterraba adicionada de bagaço, pesados igualmente no equipamento. As amostras foram submetidas a aquecimento constante de 105°C durante 24 horas, em uma estufa Lucadema, modelo Luca-80/150. A Equação 4 foi utilizada para o cálculo do teor de sólidos totais em cada cadinho.

$$\%ST = \frac{m_{seca}}{m_{pesada}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Onde m_{seca} é a massa seca depois de passar as 24 horas dentro da estufa, m_{pesada} é a massa inicial pesada, de 10g.

4.8.2. pH para beterraba *in natura*, adicionada de agente carreador e o pó reidratado

O pH para o extrato da beterraba *in natura* com bagaço, com agentes encapsulantes e os pós reidratados, foram colocados em béqueres e analisados pelo medidor digital de pH, modelo 206-pH1, consoante o Instituto Adolfo Lutz (2008).

Os pós foram reidratados utilizando a metodologia proposta por Almeida, Silva e Ferreira (2021). O pó de beterraba seca foi reidratado com a adição de água, cujo volume foi calculado pela Equação 5:

$$V_{\text{água}} = \frac{m_{\text{pó}} \cdot (1 - ST)}{ST} \quad (5)$$

Onde $V_{\text{água}}$ é o volume de água a ser adicionado ao pó seco, ST é o valor dos sólidos totais, calculado a partir da Equação 4, $m_{\text{pó}}$ é a massa do pó a ser reidratado.

4.8.3. °Brix para beterraba *in natura*, adicionada de agente carreador e o pó reidratado

Os sólidos solúveis foram determinados para as amostras de beterraba *in natura* com o bagaço adicionado, o extrato com bagaço e agente carreador adicionado, de acordo com a Tabela 3, e dos pós reidratados. As análises foram realizadas em triplicata, em um refratômetro de bancada, modelo WYA-2S da Nova Instruments.

4.8.4. Teor de umidade

Seguindo a metodologia descrita pelo IAL (2008), as amostras dos pós foram colocadas em dezoito cadinhos de porcelana, previamente aquecidos em estufa por trinta minutos a 105°C, a fim de retirar a umidade, e resfriados no dessecador de vidro. Em cada cadinho foi pesada 1 grama de cada amostra, em triplicata, para em seguida serem colocadas em estufa a 105°C, por 24 horas. O teor de umidade foi determinado pela Equação 6:

$$Umi(\%)_{(água)} = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Onde $m_{inicial}$ é a massa pesada do pó de beterraba antes de ser colocada na estufa e m_{final} é o peso final após as 24 horas.

4.8.5. Atividade de água (aw)

As medições da atividade de água dos pós obtidos por RW foram realizadas com a utilização do equipamento Novasina LabMaster AW, na temperatura de 30°C. As amostras do pó foram determinadas em triplicata, com precisão de 0,003.

4.8.6. Granulometria

As amostras do pó de beterraba nas diferentes configurações de adição de agentes carreadores, além de trituradas ao término da secagem, foram uma por uma macerada com o auxílio de um almofariz com pistilo (Figura 10) e submetidas a análise do pó através do equipamento CILAS, modelo 109LD, o qual funciona analisando o tamanho das partículas. Este método emprega uma metodologia de classificação que distribui os pós representativos de uma amostra pelo seu tamanho e partículas.

Figura 10 - Almofariz com pistilo com o pó de beterraba macerado



Fonte: Autora (2024)

4.8.7. Cinzas

A metodologia utilizada para determinar o teor de cinzas foi do IAL (2009), onde as amostras foram levadas para a Mufla, a temperatura de 550°C por 24 horas. As amostras usadas para o cálculo de umidade, após o procedimento, foram transpostas ao dessecador e utilizadas no ensaio de cinzas. Após pesagem ao sair da Mufla, o teor de cinzas foi determinado pela Equação 7:

$$\%C = \frac{m_{cinzas} \cdot 100\%}{m_{inicial}} \quad (7)$$

Onde m_{cinzas} é a massa calcinada e $m_{inicial}$ é a massa pesada antes da incineração na Mufla.

4.8.8. Colorimetria

Foi seguida a metodologia de Afshari-Jouybari e Farahnaky (2011), utilizada por Dürmaier (2023), para análise de cor. Obteve-se os parâmetros L^* , a^* e b^* pelo software Adobe® Photoshop® 2019, sem interferências de iluminação. As amostras de beterraba secas por RW foram maceradas e em seguida fotografadas pela câmera digital Sony, modelo A99 (Japão), com lente 28-70mm F2.8, flash externo, em cima de uma superfície branca. As imagens, tiradas a uma distância padrão, foram transferidas para o software, onde as coordenadas de cores foram extraídas. Os fatores corrigidos por regressão linear se encontram nas Equações 8, 9 e 10:

$$L_i^* = A \cdot L_{pi}^* + B; A = 1,168 \text{ e } B = -1,167 \quad (8)$$

$$a_i^* = A \cdot a_{pi}^* + B; A = 1,152 \text{ e } B = -3,225 \quad (9)$$

$$b_i^* = A \cdot b_{pi}^* + B; A = 1,012 \text{ e } B = 4,041 \quad (10)$$

Enquanto, para o modelo o modelo de regressão polinomial, foram utilizadas as Equações 11, 12 e 13:

$$L_i^* = A \cdot L_{pi}^{*2} + B \cdot L_{pi}^* + C; A = 0,002, B = 0,991 \text{ e } C = 1,7219 \quad (11)$$

$$a_i^* = A \cdot a_{pi}^{*2} + B \cdot a_{pi}^* + C; A = 0,007, B = 1,386 \text{ e } C = -1,441 \quad (12)$$

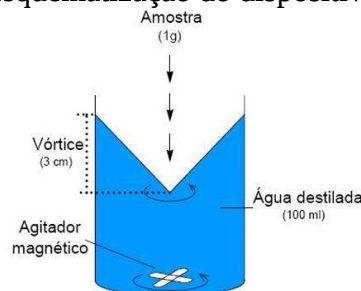
$$b_i^* = A \cdot b_{pi}^{*2} + B \cdot b_{pi}^* + C; A = 0,003, B = 1,049 \text{ e } C = 2,592 \quad (13)$$

Os fatores L_i^* , a_i^* e b_i^* são os valores resultantes do modelo de regressão linear e regressão polinomial. L_{pi}^* , a_{pi}^* e b_{pi}^* é a medição realizada pelo Photoshop.

4.6.11. Solubilidade

A solubilidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Dacanal e Menegalli (2009), utilizando a adaptação realizada por Castoldi (2012). O teste de solubilidade consistiu na determinação do material não solubilizado depois de 1 minuto de agitação com a utilização de um béquer de 250 mL, com 100 mL de água destilada adicionada (Figura 11).

Figura 11: Esquematisação do dispositivo de agitação



Fonte: Castoldi (2012)

Com a utilização de um agitador magnético, a agitação do líquido foi iniciada, mantendo a altura do vórtice em torno de 3 centímetros. Após estabilizar a agitação da água, 1 grama do pó de beterraba seca foi adicionada, cerca de 2 cm do vórtice, com o tempo imediatamente contabilizando com o auxílio de um cronômetro. Em exatamente 1 minuto de agitação, a solução foi filtrada com filtro de papel previamente pesado. Este filtro com o

material retido foi seco em estufa a 105°C por 24 horas. A massa seca retida foi determinada e o percentual de solubilidade do pó foi calculado de acordo com Equação 14:

$$Sol(\%) = 100 - \left[\frac{m_2}{m_1(1-Umi)} \cdot 100 \right] \quad (14)$$

Onde m_1 é a massa inicial pesada da amostra, m_2 é a massa do pó retido no filtro e Umi é o teor de umidade da amostra em base úmida, com valor obtido por meio da análise de umidade realizada anteriormente.

4.8.9. Molhabilidade

Para a molhabilidade, foi seguida a metodologia de Fernandes *et al.* (2013), de acordo com teste molhamento estático. Utilizou um béquer com 250 mL de água destilada e pesou-se 1 grama do pó de beterraba, observando o tempo, com auxílio de um cronômetro, para imersão completa da camada de partículas.

4.8.10. FRX

A análise foi realizada em apenas duas amostras, ambas com adição de 30% de agente carreador. Foi utilizada uma peneira de 200 mesh, pesando 1 grama de cada amostra e levando-as para estufa à 60°C por dois dias. O equipamento utilizado foi o Espectrômetro Sequencial de Fluorescência de Raios X por Comprimento de Onda XRF-180, consoante metodologia proposta por Lima (2018).

4.8. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicatas, com exceção das análises de granulometria, solubilidade, molhabilidade e FRX. O teste de Tukey foi utilizado, com nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$). O teste anova foi realizado pelo Microsoft Office Excel 365©, para realização do teste de Tukey.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CINÉTICA DE SECAGEM

Os dados experimentais obtidos permitiram a construção das curvas de secagens e a determinação do coeficiente de difusão (D_{ef}) do modelo de Fick, o coeficiente de correlação (R^2) e estimar o parâmetro A para cada amostra, conforme mostra a Tabela 4. O valor estimado de A deve se aproximar do teórico da placa plana ($8/\pi^2 = 0,81056$).

Tabela 4 - Termos do ajuste do modelo difusional de Fick

Configuração	A	D_{ef} (cm ² /min)	R^2
20% Amido modificado	$0,86711 \pm 0,01471$	$1,17 \times 10^{-3}$	0,99566
25% Amido modificado	$0,84977 \pm 0,00915$	$1,85 \times 10^{-3}$	0,99829
30% Amido modificado	$0,85371 \pm 0,01221$	$1,39 \times 10^{-3}$	0,99701
20% Maltodextrina	$0,85068 \pm 0,01061$	$1,87 \times 10^{-3}$	0,99770
25% Maltodextrina	$0,83900 \pm 0,24650$	$1,71 \times 10^{-3}$	0,98701
30% Maltodextrina	$0,84374 \pm 0,01983$	$1,71 \times 10^{-3}$	0,99173

Fonte: Autora (2024)

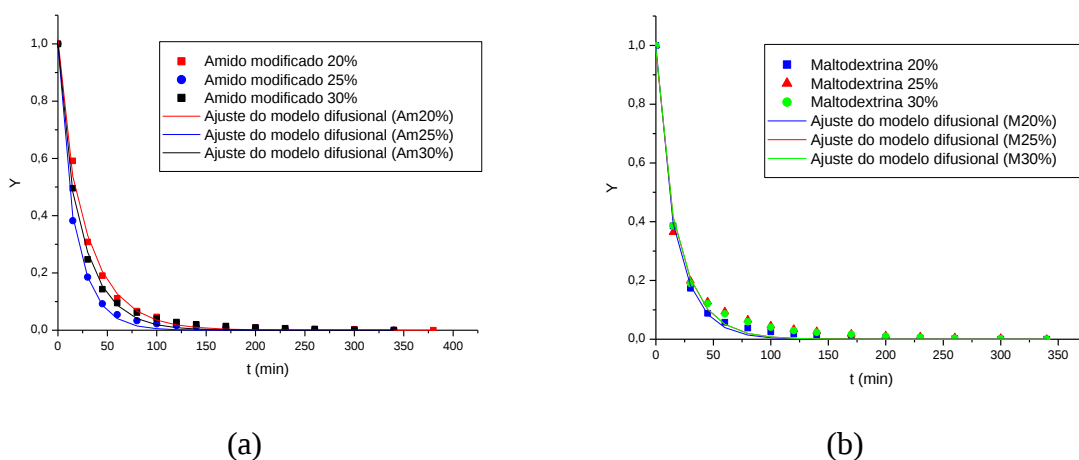
A partir da Tabela 4, pode-se observar que os valores de A variam entre 0,83900 à 0,86711, com média de $0,85067 \pm 0,00964$. Dessa forma, entre o valor experimental e o teórico tem-se uma diferença de 5,021%. Os coeficientes de difusão variam de $1,17 \times 10^{-3}$ a $1,87 \times 10^{-3}$ cm²/min.

Mandale *et al.* (2023) em seus estudos da secagem de beterraba em fatias por RW, onde variaram as espessuras das fatias e temperatura de operação, obtiveram coeficientes de difusão na faixa de $1,37 \times 10^{-11}$ a $1,54 \times 10^{-10}$ m²/s. O coeficiente de difusão de umidade foi maior para a temperatura de elevado valor, atribuído à energia fornecida para secagem.

Largo-Avila *et al.* (2024) realizou a secagem de pêssego por RW, onde secou fatias variando a espessura de 0,1, 0,2 e 0,3 mm na temperatura de 60°C, encontrando coeficientes de difusão utilizando a equação de Fick para placa entre $2,50 \times 10^{-8}$; $7,82 \times 10^{-8}$ e $1,33 \times 10^{-6}$ m²/s, respectivamente e para a espessura de 0,2 mm com adição de maltodextrina de 0,12 a 0,33 (p/p), valores de $6,46 \times 10^{-8}$ a $8,73 \times 10^{-8}$ m²/s.

A Figura 12 apresenta os gráficos do conteúdo adimensional de umidade pelo tempo das amostras do pó de beterraba.

Figura 12 - Gráficos do conteúdo adimensional de umidade pelo tempo de secagem da beterraba por RW, com diferentes agentes carreadores. a) Amido modificado 20, 25 e 30% e b) Maltodextrina 20, 25 e 30%.



Fonte: Autora (2024)

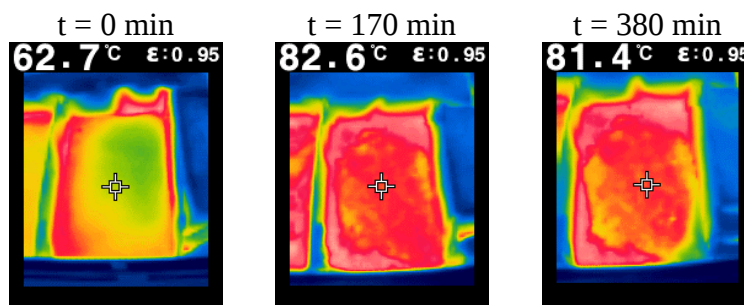
Ainda nos estudos de Mandale *et al.* (2023), com a obtenção das curvas experimentais, percebeu-se que para a temperatura elevada e a menor espessura de fatia, há uma maior transferência de massa, fazendo assim a curva entrar antecipadamente no período de secagem à taxa decrescente. Isto ocorre porque a temperatura produz uma maior taxa de transferência de calor, promovendo assim alta difusão de umidade do interior para a superfície para evaporação, reduzindo os tempos de secagem. Para esta espessura também, a taxa de velocidade foi maior.

Herman-Lara *et al.* (2024) compararam a cinética de secagem de fatias de beterraba por bandejas, em leito fixo e *refractance window*, com variação de temperaturas. A fase inicial do processo foi caracterizada pela rápida diminuição da umidade das amostras que foi decrescendo com o decorrer da desidratação. A taxa de secagem para o RW foi maior do que comparado com os outros métodos utilizados, incluído para as três temperaturas estudadas, ele foi o primeiro a atingir o período decrescente de velocidade primeiro.

5.2. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO

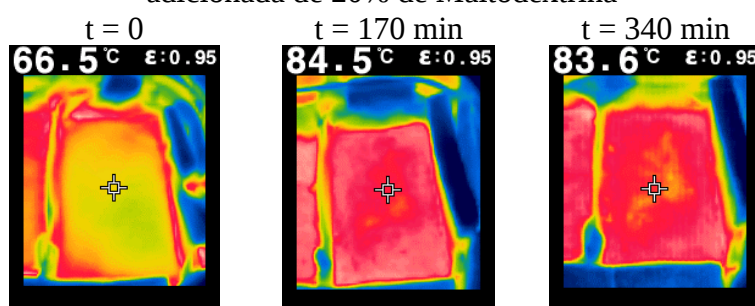
As leituras foram realizadas durante o processo de secagem por *refractance window*, para cada configuração de amostra. As temperaturas do extrato de beterraba contendo amido modificado (Figura 13) e com maltodextrina (Figura 14).

Figura 13 - Imagens termográfica para secagem a 90°C de extrato de beterraba adicionada de 20% Amido modificado



Fonte: Autora (2024)

Figura 14 - Imagens termográfica para secagem a 90°C de extrato de beterraba adicionada de 20% de Maltodextrina



Fonte: Autora (2024)

As imagens de todas as leituras realizadas estão presentes no Apêndice A, apresentadas em forma de tabelas para cada configuração de amostra.

Das leituras apresentadas nas Figuras 13 e 14, pode-se observar a evolução da temperatura do extrato de beterraba em cada configuração de amostra. Pelas imagens, é verificada uma falta de uniformidade durante a secagem, com regiões de maior temperatura (cores mais quentes) ao decorrer do processo. Há imagens em ângulos mais inclinados devido ao modo de como foi realizada a leitura, por serem tiradas manualmente e o banho ultratermostatizado estar a uma certa altura sobre a bancada. Esta falta de uniformidade com relação ao ângulo das imagens pode ser resolvida ao adicionar objetos como banquinhos ou suportes para trabalhos futuros.

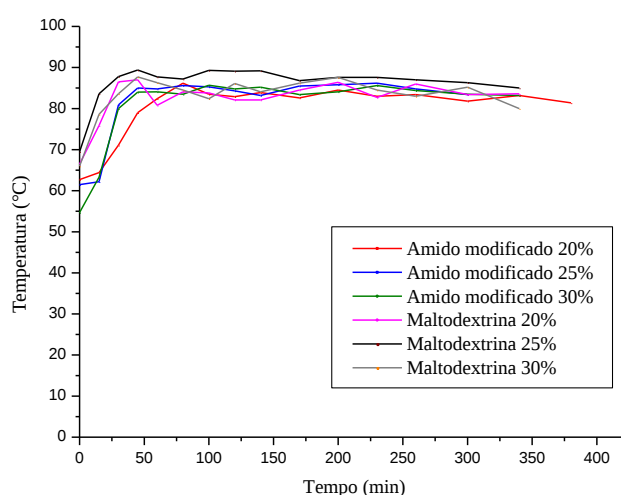
Castoldi (2012) realizou um estudo sobre a secagem da polpa de tomate *in natura* por RW, realizando a análise de imagens por termografia infravermelha. Suas imagens adquiriram comportamento semelhante ao apresentado, justificando as regiões mais quentes do início da secagem por causa da espessura menor da polpa na bandeja, ou seja, pela imprecisão da técnica de espalhamento.

Em outro estudo de secagem por *refractance window*, para a obtenção de café solúvel, Parisotto *et al.* (2014) obtiveram imagens termográficas durante a desidratação do

extrato de café. Pequenas variações de temperatura foram observadas na superfície do filme no começo do processo, demonstrando que a espessura do extrato foi uniforme e a secagem homogênea. Isso mostra que a uniformidade e o espalhamento da matéria sobre o filme são importantes, para assim a desidratação ocorrer de forma igualitária sobre todo o alimento. Após trinta segundos do começo da secagem, pode-se observar que as temperaturas se mantiveram constantes, indicando provável período de secagem à taxa constante.

Com os dados obtidos das análises termográficas, foi possível a construção de gráfico de temperatura em função do tempo (Figura 15). Para melhor visualização e comparação dos processos nas diferentes configurações de agentes encapsulantes adicionados ao extrato de beterraba com bagaço.

Figura 15 - Gráfico de perfil de temperatura da secagem de beterraba adicionada de diferentes agentes carreadores



Fonte: Autora (2024)

A temperatura de início de secagem é similar entre todas as amostras, com uma temperatura quase constante durante o processo. Na faixa de 50 minutos após início da secagem, as temperaturas das amostras começam a adquirir uma característica de se manter constante. Assim, esse período pode ser considerado o início da taxa de velocidade constante.

Nindo *et al.* (2003) estudou a secagem de purê de abóbora por RW, com espessura de 0,65 mm. Ao elaborar o gráfico do perfil de temperatura (com a temperatura da água circulante de 90°C), observou o rápido aumento na temperatura no início da secagem, permanecendo constante em cerca de 19°C abaixo da temperatura da água circulante. Ao final da desidratação, a temperatura do purê aumentou, se aproximando da temperatura da água.

5.3. RENDIMENTO

O rendimento das amostras de beterraba desidratadas por *refractance window* foi calculado utilizando a Equação 3, obtendo os valores mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Rendimento dos pós de beterraba

Configuração	Rendimento (%)
20% Amido modificado	32,35
25% Amido modificado	37,69
30% Amido modificado	39,40
20% Maltodextrina	35,59
25% Maltodextrina	39,66
30% Maltodextrina	40,63

Fonte: Autora (2024)

O rendimento da primeira configuração foi o mais baixo (32,35%), enquanto a última amostra, com 30% de maltodextrina foi a que obteve o maior resultado, de 40,63%. De forma geral, quanto maior a quantidade de agente carreador adicionado, maior resultou o rendimento.

Paiva (2021) em seus estudos de secagem de beterraba por leito de jorro, adicionou o amido de milho como agente encapsulante nas concentrações de 5,24 e 10%. Para a maior quantidade deste agente, menor resultou o rendimento final do produto. Obtendo valores de 33,2% de rendimento para a concentração elevada de amido de milho e 48,8% para 5,24% do adjuvante adicionado.

Zuanon e Telis (2015) na secagem de extrato de beterraba em spray dryer utilizando diferentes proporções de agentes carreadores. O rendimento de 50% de maltodextrina e 50% de amido de milho ceroso foi de 51,42%, e seu melhor resultado foi para a maior quantidade de amido de milho (80%) e menor de maltodextrina (20%), de 81,34%.

5.4 TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS

Utilizando a Equação 4, os sólidos totais da polpa de beterraba adicionada de bagaço foram obtidos (Tabela 6).

Tabela 6 - Percentual de sólidos totais

Iteração	Massa medida(g)	Massa de sólido(g)	%ST
1	10,28	0,87	8,44
2	10,46	0,87	8,35
3	10,30	0,86	8,34

Fonte: Autora (2024)

A média de sólidos totais da beterraba *in natura* adicionada de bagaço foi de $8,37 \pm 0,05\%$. Próxima ao de Lima *et al.* (2017), em seus estudos para elaboração de suco misto de beterraba com caju, obteve o teor de sólidos totais da beterraba de $6,00 \pm 0,12\%$. Silva (2016), em seu estudo de secagem de beterraba via atomização, obteve um teor de sólidos totais de 10,10%.

5.5. pH PARA BETERRABA *IN NATURA*, ADICIONADA DE AGENTE CARREADOR E O PÓ REIDRATADO

Para a análise de pH da beterraba *in natura*, realizada em triplicata, a média foi de $6,10 \pm 0,0100$. França (2021) em seus estudos de secagem de beterraba em cubos por ar aquecido encontrou para a amostra *in natura* o valor de $5,89 \pm 0,01$. Lima *et al.* (2017) obteve resultados de $6,33 \pm 0,15$ para beterraba *in natura*, e seus estudos para produzir um suco misto de beterraba e caju. Cardoso e Lobo (2021) estudaram a secagem de beterraba por camada de espuma, para a amostra *in natura*, o pH resultante foi $5,7 \pm 0,93$.

Os resultados obtidos de pH se encontram na Tabela 7, com as amostras de beterraba com agente carreador variando de $4,61 \pm 0,0100$ a $5,93 \pm 0,0058$ e para o pó reidratado, o pH ficou de $4,57 \pm 0,0000$ a $5,64 \pm 0,0000$.

Tabela 7 - Análises de pH da beterraba com agente carreador e pó reidratado

Configuração	pH (Com agente)	pH (Reidratado)
20% Amido modificado	$4,61 \pm 0,0100^a$	$4,65 \pm 0,0000^a$
25% Amido modificado	$4,65 \pm 0,0100^a$	$4,61 \pm 0,0058^a$
30% Amido modificado	$4,59 \pm 0,0044^a$	$4,57 \pm 0,0000^a$
20% Maltodextrina	$5,93 \pm 0,0067^b$	$5,64 \pm 0,0000^b$
25% Maltodextrina	$5,94 \pm 0,0089^b$	$5,64 \pm 0,0044^b$
30% Maltodextrina	$5,93 \pm 0,0089^b$	$5,62 \pm 0,0044^b$

*Médias de triplicata $\pm$ desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024)

De acordo com a Tabela 7, a mudança de agente carreador influenciou significativamente na análise de pH. As amostras com maltodextrina adicionada ficaram com o pH na faixa de 5,93 a 5,94, e as amostras do pó reidratado entre pH 5,62 a 5,64. Enquanto as amostras com o amido modificado foram em geral mais ácidas, com o extrato adicionado de agente entre pH 4,59 a 4,65 e o pó reidratado na faixa de pH 4,57 a 4,65.

Rosa et al. (2020) em seus estudos de avaliação do pó de beterraba seco por liofilização, ao reidratar o pó obteve um valor de pH 6,52. Silva (2016) ao secar beterraba adicionada de maltodextrina por atomização, obteve um valor de pH 6,15.

Para as amostras de cada tipo de agente carreador, tanto para a beterraba com agente encapsulante e o pó reidratado, não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Apenas apresentou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) quando comparadas as amostras com amido modificado e maltodextrina.

5.6. °BRIX PARA BETERRABA *IN NATURA*, ADICIONADA DE AGENTE CARREADOR E O PÓ REIDRATADO

A média dos sólidos solúveis da beterraba *in natura* foi de $8,90 \pm 0,4933^\circ\text{Brix}$. Em seus estudos de secagem por aquecido de beterraba cortada em cubos França (2021) obteve o valor *in natura* de $5,13 \pm 0,13^\circ\text{Brix}$. Para a beterraba seca em camada de espuma, Cardoso e Lobo (2021) obtiveram o valor de $9,66^\circ\text{Brix}$ para ela *in natura*. Antigo (2016) em secagem de beterraba para aplicação em iorgute, encontrou um valor de 11°Brix para a amostra *in natura*.

A Tabela 8 apresenta os valores de °Brix para as amostras de beterraba *in natura* adicionada de agente carreador, variando entre $26,93 \pm 0,0444$ a $31,13 \pm 0,0889^\circ\text{Brix}$, e pó reidratado, na faixa de $9,90 \pm 0,1333$ a $10,17 \pm 0,2887^\circ\text{Brix}$.

Tabela 8 - Análises de °Brix da beterraba com agente carreador e pó reidratado		
Configuração	°Brix (Com agente)	°Brix (Reidratado)
20% Amido modificado	$27,10 \pm 0,1732^a$	$10,17 \pm 0,2887^a$
25% Amido modificado	$30,23 \pm 0,1155^{bc}$	$9,93 \pm 0,1155^a$
30% Amido modificado	$31,13 \pm 0,0889^b$	$9,90 \pm 0,1333^a$
20% Maltodextrina	$26,93 \pm 0,0444^a$	$9,93 \pm 0,1778^a$
25% Maltodextrina	$28,43 \pm 0,0444^{ac}$	$10,13 \pm 0,0444^a$
30% Maltodextrina	$29,50 \pm 0,0000^{ab}$	$10,10 \pm 0,2667^a$

*Médias de triplicata $\pm$ desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024)

As amostras *in natura* com agente carreador adicionada apresentaram maiores valores de °Brix devido a adição dos agentes encapsulantes, e para a reidratação notam-se resultados próximos aos sólidos solúveis da beterraba *in natura*.

Em seus estudos de secagem do suco de laranja em *spray dryer*, com adição de distintas concentrações de maltodextrina, Almeida, Silva e Ferreira (2021) observaram a proximidade dos valores de °Brix entre os sucos reidratados e *in natura* com adição de maltodextrina com as concentrações de 15, 20 e 25%. Assim, foi visto que o produto manteve a quantidade de açúcar após o processo de desidratação.

Conforme a Tabela 8 apresenta, para análise da beterraba *in natura* com agentes carreadores, a amostra com 20% de amido modificado adicionado é significativamente semelhante às amostras com maltodextrina, ($p>0,05$) enquanto aquelas de 25 e 30% não apresentam diferenças significativas entre si ($p>0,05$). Com relação aos pós reidratados, estes se aproximam do valor da beterraba *in natura* e não ocorreu diferenças significativas ($p>0,05$).

5.7. TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade dos pós de beterraba adicionada de agentes encapsulantes foi obtido utilizando a Equação 6. Os teores de umidade variaram de $6,05 \pm 0,0432$ a $9,12 \pm 0,3020\%$, com a configuração das amostras influenciando nos resultados. A Tabela 9 apresenta os teores de umidade para cada pó de beterraba. Pode-se observar que, para as configurações utilizando o amido modificado, o teor de umidade foi menor do que em relação a maltodextrina.

Tabela 9 - Resultados de teor de umidade do pó de beterraba

Configuração	Umidade (%)
20% Amido modificado	$6,14 \pm 0,1005^a$
25% Amido modificado	$6,06 \pm 0,2157^a$
30% Amido modificado	$6,05 \pm 0,0432^a$
20% Maltodextrina	$7,07 \pm 0,3084^{ac}$
25% Maltodextrina	$9,12 \pm 0,3020^{bc}$
30% Maltodextrina	$8,68 \pm 0,3865^{bc}$

*Médias de triplicata $\pm$ desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p>0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024)

Nguyen *et al.* (2023) estudaram como a concentração de maltodextrina afetava a cinética de secagem e qualidade do pó da polpa de abacate por *refractance window*. Para

teores mais elevados do agente carreador, a taxa de desidratação diminuiu de forma significativa e aumentou o tempo de secagem, afetando a qualidade do produto. No entanto, para outro valor de maltodextrina adicionado, uma quantidade menor, foi eficaz na proteção de propriedades funcionais e compostos bioativos dos pós. Assim, com a quantidade apropriada do agente encapsulante, a técnica de secagem RW apresenta grande potencial para secagem.

Mandale *et al.* (2023), para secagem da beterraba fatiada por RW, obteve um teor de umidade inferior a 15%, o que tornou o produto final menos suscetível à danos microbianos e deterioração. Foi observado que para altas temperaturas a umidade resultante é menor, e fatias de beterraba com menores espessuras tem o mesmo efeito no teor. Paiva (2021) obteve resultados para umidade de $6,69 \pm 0,46$ e $6,75 \pm 0,23\%$ para as concentrações, respectivamente, de 5,24 e 10% de amido de milho adicionado à beterraba seca por leito de jorro.

Para as amostras adicionadas de amido, não houve diferenças significativas entre elas ($p > 0,05$), enquanto aquelas com maltodextrina presente, muda de acordo com a concentração do agente carreador presente. A amostra com 20% de maltodextrina não foi significativamente diferente das amostras com amido modificado e para os pós de beterraba com o mesmo agente encapsulante ($p > 0,05$). As amostras com 25% e 30% de maltodextrina foram diferentes de forma significativa apenas para aquelas com amido modificado ($p \leq 0,05$). Ou seja, quanto maior a concentração de maltodextrina, aumenta o teor de umidade, e para um valor menor adicionado, de 20%, além do menor valor do teor de umidade, se aproximou daquelas com amido modificado presente.

5.8. ATIVIDADE DE ÁGUA (a_w)

A atividade de água dos pós de beterraba obtido por *refractance window* foi determinada para cada amostra, variando de $0,31 \pm 0,0011$ a $0,34 \pm 0,0459$. Estes valores são considerados ideais, segundo a literatura, para a conservação e armazenamento do produto. A Tabela 10 apresenta os resultados.

Tabela 10 - Resultados da atividade de água no pó de beterraba

Configuração	A_w
20% Amido modificado	0,34 ± 0,0459 ^a
25% Amido modificado	0,34 ± 0,0106 ^a
30% Amido modificado	0,31 ± 0,0024 ^a
20% Maltodextrina	0,31 ± 0,0011 ^a
25% Maltodextrina	0,34 ± 0,0053 ^a
30% Maltodextrina	0,34 ± 0,0053 ^a

*Médias de triplicata ± desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024)

Em estudo realizado por Silva et. al. (2019) de secagem da beterraba por estufa em diferentes temperaturas, e sem adição de agentes carreadores, obteve-se valores de atividade de água na faixa de 0,425 a 0,201, este parâmetro diminuindo com o aumento de temperatura.

Mandale *et al.* (2023) estudaram o processo de desidratação da beterraba por *refractance window*, em diferentes espessuras de fatias, com variação de temperatura de operação. Obtiveram as atividades entre 0,399 a 0,427, tornando as fatias seguras contra danos microbianos. O valor maior de atividade foi sob a temperatura menor e para espessura maior de fatia, enquanto a menor atividade de água foi para a maior temperatura de operação e menor espessura. Assim, o aumento de temperatura reduziu a atividade de água, enquanto o aumento da espessura das fatias teve o efeito contrário no parâmetro.

Paiva (2020) em seus estudos, realizou a secagem de beterraba por leito de jorro para posterior aplicação do produto em cosméticos, obtendo valores de atividade de água entre 0,476 a 0,515 com 5,24 e 10 % de amido de milho adicionado, respectivamente.

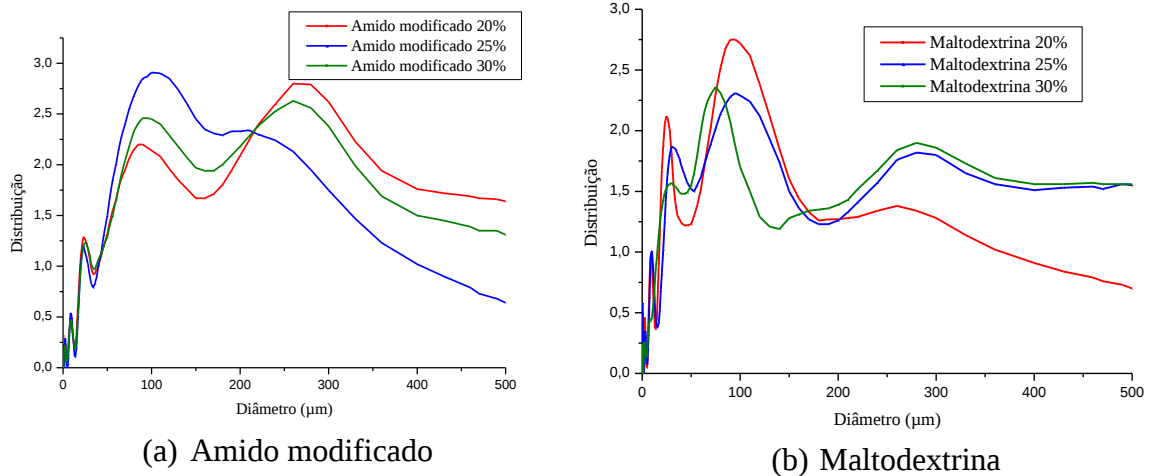
A atividade de água para as amostras não ocorreu diferenças significativas ($p > 0,05$). Os valores abaixo de 0,6 indica que elas são adequadas para o armazenamento.

5.9. GRANULOMETRIA

Os gráficos das Figuras 16 e 17 se referem ao comportamento da distribuição de partículas, mostrando a predominância dos tamanhos e a curva acumulativa da granulometria dos pós de beterraba com as diferentes configurações de adição de agentes carreadores. A Figura 16 (a) e (b) mostra a curva de distribuição, com o primeiro gráfico se referindo ao pó de beterraba adicionada de amido modificado, apresentando característica polimodal; para o

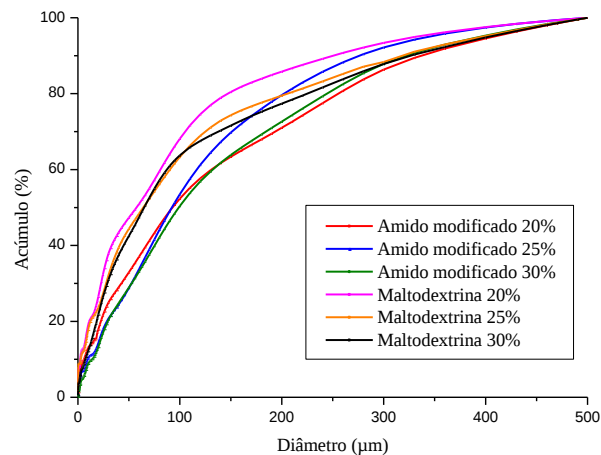
gráfico com a maltodextrina adicionada, as curvas também são polimodais, para todas as configurações.

Figura 16 - Gráfico de distribuição da beterraba desidratada por RW



Fonte: Autora (2024)

Figura 17 - Gráfico de acúmulo da beterraba desidratada por RW



Fonte: Autora (2024)

Pelo gráfico de acúmulo, Figura 17, pode-se notar que a configuração constituída por maltodextrina apresenta uma morfologia mais fina que as outras, com exceção a 90% para as amostras de 25 e 30% de maltodextrina. Os diâmetros médios dos pós variaram entre 92,20 e 138,03 μm . Os resultados dos diâmetros de cada amostra para os acúmulos de 10, 50 e 90% e médio estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Diâmetros do pó de beterraba para 10, 50 e 90% de acúmulo e diâmetros médios

Configuração	10%	50%	90%	Diâmetros médios
20% Amido modificado	5,81 μm	92,76 μm	336,87 μm	138,03 μm
25% Amido modificado	9,62 μm	92,15 μm	276,23 μm	121,45 μm
30% Amido modificado	13,72 μm	98,98 μm	322,28 μm	138,33 μm
20% Maltodextrina	2,24 μm	57,43 μm	250,18 μm	92,20 μm
25% Maltodextrina	2,57 μm	64,09 μm	315,39 μm	111,60 μm
30% Maltodextrina	7,20 μm	64,93 μm	326,55 μm	117,20 μm

Fonte: Autora (2024)

Para cada configuração de amostra o tamanho da partícula variou para cada intervalo de acúmulo. O pó de beterraba com 20% de maltodextrina apresentou diâmetros de partículas menores para todas as percentagens de acúmulo, enquanto que a amostra com 30% de amido modificado foi maior para 10, 50% e o diâmetro médio.

Na secagem de beterraba por *spray dryer*, Zuanon e Telis (2015) encontraram valores médios das partículas entre 6,78 a 22,26, para diferentes proporções de amido de milho e maltodextrina. Para a amostra com maior concentração de amido de milho, o diâmetro resultou maior, de $22,26 \pm 0,24$. Assim, para este método de secagem, os diâmetros médios resultaram menores que os obtidos por *refractance window*.

5.10. CINZAS

Após pesagem dos cadinhos retirados da mufla, a Equação 7 foi utilizada para calcular o teor de cinzas para as diferentes configurações das amostras. A Tabela 12 apresenta valores em percentagem que variam entre $1,40 \pm 0,0324$ a $2,14 \pm 0,5180$.

Tabela 12 - Resultados de cinzas dos pós de beterraba

Configuração	Cinzas (%)
20% Amido modificado	$1,59 \pm 0,4269^a$
25% Amido modificado	$1,40 \pm 0,0324^a$
30% Amido modificado	$1,56 \pm 0,0722^a$
20% Maltodextrina	$2,14 \pm 0,5180^a$
25% Maltodextrina	$1,40 \pm 0,1662^a$
30% Maltodextrina	$1,40 \pm 0,1333^a$

*Médias de triplicata $\pm$ desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024)

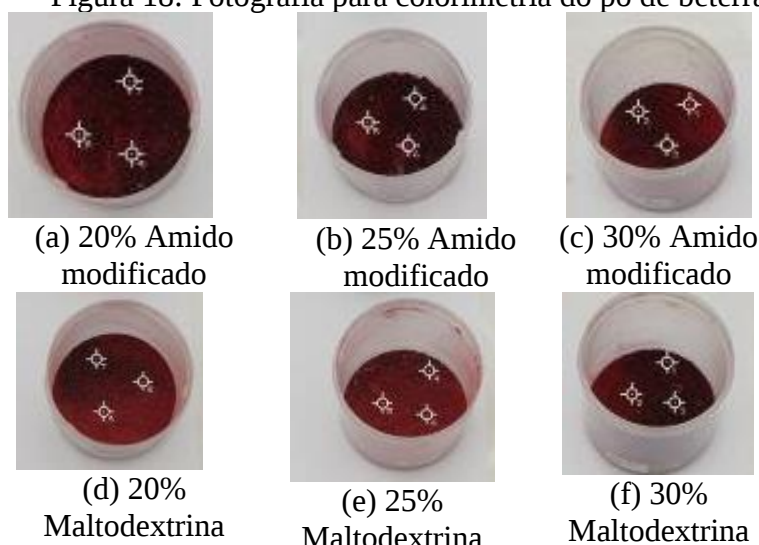
Em estudo realizado por Silva et. al. (2019) da beterraba seca por estufa, sem adição de agentes carreadores, e em diferentes temperaturas, obteve-se teor de cinzas na faixa de 2,37 a 3,99%, onde o teor de cinzas obtido foi maior para valores mais elevados de temperatura do processo. Filho *et al.* (2011) em seu estudo de processamento de produto farináceo de beterraba secas por estufa de circulação de ar, obteve resultados de cinzas variando entre 4,70 a 6,71%, sendo um valor considerável.

Como a Tabela 12 mostra, o teor de cinzas das amostras não possui diferenças significativas entre si ($p > 0,05$). Assim, independentemente do agente carreador utilizado, não influenciou nesta análise.

5.11. COLORIMETRIA

A Figura 18 mostra as fotografias das amostras de pó de beterraba seco por RW, nas diferentes adições de agente carreador. Objetivando obter os parâmetros necessários para a coloração pelo Photoshop.

Figura 18: Fotografia para colorimetria do pó de beterraba



Fonte: Autora (2024)

Após conseguir os parâmetros L^* , a^* e b^* pelo programa, em triplicata, foram utilizadas as equações 8, 9 e 10 para a regressão linear, e as equações 11, 12 e 13 para o modelo de regressão polinomial. Os dados obtidos estão presentes na Tabela 13:

Tabela 13 - Análise da colorimetria dos pós de beterraba

Configuração	Photoshop ® 19			Regressão linear			Regressão polinomial		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
20% Amido modificado	7,33 ± 2,309 ^a	16,67 ± 6,506 ^a	7,33 ± 3,512 ^a	7,40 ± 2,6974 ^a	18,30 ± 7,599 ^a	7,40 ± 4,102 ^a	9,10 ± 2,3625 ^a	18,85 ± 6,875 ^a	9,11 ± 3,587 ^a
25% Amido modificado	13,67 ± 7,506 ^{ab}	23,33 ± 11,015 ^a	11,00 ± 6,557 ^a	14,80 ± 8,7665 ^{ab}	26,09 ± 12,866 ^a	11,68 ± 7,659 ^a	15,71 ± 7,8411 ^{ab}	26,10 ± 11,923 ^a	12,92 ± 6,806 ^a
30% Amido modificado	13,67 ± 2,222 ^{ab}	24,00 ± 4,000 ^a	11,33 ± 3,111 ^a	14,80 ± 2,5956 ^{ab}	26,87 ± 4,672 ^a	12,07 ± 3,634 ^a	15,65 ± 2,3311 ^{ab}	26,69 ± 4,372 ^a	13,23 ± 3,239 ^a
20% Maltodextrina	14,00 ± 4,667 ^{ab}	25,00 ± 5,333 ^a	13,33 ± 4,444 ^a	15,19 ± 5,4507 ^{ab}	28,03 ± 6,229 ^a	14,41 ± 5,191 ^a	16,04 ± 4,9184 ^{ab}	27,83 ± 5,847 ^a	15,34 ± 4,668 ^a
25% Maltodextrina	18,33 ± 0,444 ^b	28,67 ± 1,556 ^a	15,33 ± 1,556 ^a	20,25 ± 0,5191 ^b	32,32 ± 1,817 ^a	16,74 ± 1,817 ^a	20,56 ± 0,4733 ^b	31,78 ± 1,723 ^a	17,39 ± 1,634 ^a
30% Maltodextrina	11,67 ± 2,889 ^{ab}	17,67 ± 4,222 ^a	8,67 ± 2,222 ^a	12,46 ± 3,3742 ^{ab}	19,47 ± 4,932 ^a	8,96 ± 2,596 ^a	13,58 ± 3,0082 ^{ab}	19,90 ± 4,507 ^a	10,47 ± 2,286 ^a

*Médias de triplicata ± desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não diferem estatisticamente entre si ($p>0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2024)

De acordo com a Tabela 13, é possível perceber que, para o parâmetro lido pelo Photoshop e para as regressões, a amostra de 25% maltodextrina apresentou cor avermelhada (a^*) maior, a amostra de 20% maltodextrina em seguida, porém, para este parâmetro, não ocorreram diferenças significativas ($p>0,05$) pelo teste de tukey. Para a iluminação (L^*), foi aumentando conforme elevou a quantidade de amido modificado, enquanto teve um efeito oposto para maltodextrina, exceto 25% maltodextrina. Para este parâmetro, houve contrastes apenas entre a amostra 20% amido modificado e 25% maltodextrina ($p\leq 0,05$). Apesar de não apresentar diferenças significativas entre si ($p>0,05$), o parâmetro de cor amarelo (b^*) foi menor para o pó de beterraba com 20% de amido modificado, sendo dessa forma, o menos amarelado entre eles.

Herman-Lara et al. (2024) em seus estudos, realizaram a secagem de fatias de beterraba por bandejas, em leito fixo e *refractance window*. O parâmetro L^* ficou maior conforme a temperatura de secagem para todos os métodos de desidratação. O a^* foi menor para todas as amostragens, sendo significativamente maior para o RW. O parâmetro b^* foi menor nas temperaturas de 60 e 75°C e não apresentaram diferenças significativas a 85°C.

Alves (2023), na secagem de beterraba por infravermelho e pré tratamento com ácido cítrico, observou uma perda de luminosidade (L^*) após o processo de desidratação, quando comparado com a amostra *in natura*. Assim, há uma perda de pigmentos no método de

secagem, por se tratar de um composto termossensível, pode haver desnaturação da betelaína devido à temperatura do processo.

5.12. SOLUBILIDADE

A Tabela 14 apresenta os resultados da solubilidade do pó de beterraba, apresentando valores em porcentagem entre 94,92 a 99,92%.

Tabela 14 - Solubilidade dos pós de beterraba	
Configuração	Solubilidade (%)
20% Amido modificado	99,57
25% Amido modificado	99,66
30% Amido modificado	99,55
20% Maltodextrina	94,92
25% Maltodextrina	99,85
30% Maltodextrina	99,65

Fonte: Autora (2024)

De acordo com a Tabela 14, pode-se notar valores ótimos de solubilidade para os pós de beterraba nas diferentes configurações de adição de agentes carreadores. Os resultados foram próximos ao encontrado por Cardoso e Lobo (2021) na secagem de beterraba por camada de espuma, onde obtiveram a solubilidade do pó na média de $96,95\% \pm 1,35$, ou seja, com alto valor de reconstituição.

5.13. MOLHABILIDADE

A Tabela 15 apresenta os valores da análise de solubilidade, com os resultados variando de 319,00 a 1314,00 s.

Tabela 15 – Resultados de molhabilidade dos pós de beterraba

Configuração	Molhabilidade (s)
20% Amido modificado	480,00
25% Amido modificado	1200,00
30% Amido modificado	1314,00
20% Maltodextrina	319,00
25% Maltodextrina	410,00
30% Maltodextrina	377,00

Fonte: Autora (2024)

Os pós com maltodextrina adicionado apresentaram valores menores a aqueles com amido modificado, exceto 20% amido modificado. Consoante Lins (2020), em seu estudo da secagem do repolho roxo por aspersão e liofilização, concluiu que as amostras com menor atividade tem maior dificuldade em si reconstituir na água e, como a concentração de agente carreador tende a diminuir a atividade de água, quanto maior a concentração do agente encapsulante, maior é o tempo de dissolver.

5.14. FRX

A análise de minerais, por Fluorescência de Raios X (FRX), foi realizada para duas configurações de amostras: pó de beterraba adicionada de 30% de amido modificado e 30% de maltodextrina. Os resultados retratados na Tabela 16 foram obtidos através da porcentagem de cinzas de cada amostra apresentada na Tabela 12.

Tabela 16: Resultados de minerais dos pós de 30% de amido e 30% de maltodextrina

Minerais	% (30% Amido modificado)	% (30% Maltodextrina)
K ₂ O	63,33	61,70
Cl	23,76	23,17
Al ₂ O ₃	0,00	7,27
Fe ₂ O ₃	4,28	0,00
P ₂ O ₅	2,21	2,94
SiO ₂	2,81	1,25
SO ₃	1,87	2,27
Co ₂ O ₃	0,19	0,00
CO ₂	0,00	0,00
PF (%)	98,44	98,60

Fonte: Autora (2024)

Pela Tabela 16, pode-se ver que os minerais: Óxido de potássio (K_2O), Cloro (Cl), Óxido de Ferro (III) (Fe_2O_3), Dióxido de silício (SiO_2) estão em maior proporção para a amostra de 30% de amido modificado. Para o pó de 30% maltodextrina encontra-se em maior proporção o Óxido de alumínio (Al_2O_3), o Pentóxido de fósforo (P_2O_5) e o Trióxido de enxofre (SO_3). Há ainda alguns minerais que não pertencem às duas amostras simultaneamente, como o Óxido de Ferro (III) (Fe_2O_3) e o Óxido de cobalto (III) (Co_2O_3), que apenas a amostra de 30% amido modificado possui; e o Óxido de alumínio (Al_2O_3), presente apenas ao de 30% maltodextrina.

6. CONCLUSÃO

A secagem por *refractance window* da beterraba adicionada de 14% de bagaço (p/p) com agente carreador se mostrou viável. A cinética de secagem apresentou coeficientes de difusão variando de $1,17 \times 10^{-3}$ a $1,87 \times 10^{-3}$ cm/min².

Foi possível realizar o estudo de termografia por RW, e todas as configurações de amostras seguiram aproximadamente o mesmo perfil de comportamento.

O produto em pó obtido foi reidratado, obtendo valores de °Brix próximos à beterraba *in natura*, e a análise de pH ficou dentro da faixa de range de estabilidade do pigmento betalaína. Além disso, o pó foi submetido a análises de rendimento, teor de umidade, atividade de água, granulometria, cinzas, colorimetria, solubilidade, molhabilidade e minerais, apresentando boas características físico-químicas.

Os pós obtidos são adequados para o armazenamento devido aos valores baixos de atividade de água, entre 0,31 a 0,34, e umidade, na faixa de 6,05 a 9,12%. A granulometria apresentou partículas de diâmetros médios menores para as amostras com maltodextrina do que as adicionadas de amido modificado. A solubilidade mostrou ótimos valores de reconstituição das amostras. A molhabilidade exibiu menores tempos para as amostras com maltodextrina em relação a aquelas com amido modificado, além disso, se elevou com o aumento da concentração dos agentes carreadores. A colorimetria apresentou pós com a cor vermelha predominante e iluminação ótima, sem a cor amarela elevada, apresentando assim pouca desnaturação do pigmento da beterraba. Os percentuais de minerais mais encontrados usando os dois tipos de agentes carreadores foram Óxido de potássio (K₂O) e Cloro (Cl). O melhor pó para o armazenamento foi o de 30% amido modificado, devido aos seus baixos resultados de atividade de água e umidade. Conclui-se assim que a secagem por este método é viável, com pós apresentando ótimas características físico-químicas e adequadas para o armazenamento, mostrando uma coloração predominantemente avermelhada.

Para trabalhos futuros, é recomendável a comparação deste método com outros métodos de secagem, como a liofilização e secagem por estufa, em termos de custo e qualidade do produto. Assim como também o estudo de avaliação sensorial completa: cor, sabor, textura e painel de avaliação. Investigação do processo em larga escala, para aplicabilidade em indústrias, otimização da uniformidade e eficiência energética de produção.

REFERÊNCIAS

- ABCSEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Maapeamento e quantificação da cadeia produtiva das hortaliças**. 2017. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/livro_final3_mapeamento_e_quantificacao_da_cadeia_de_hortalicas_08.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- AFSHARI-JOUYBARI, H.; FARAHNAKY, A. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 2, p. 170-175, 2011.
- ALMEIDA, T. C. D.; SILVA, V. A.; FERREIRA, H. S. Efeito do agente carreador na obtenção e caracterização do suco da laranja (*Citrus sinensis*) por atomização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.
- ALVES, E. S. P. Cinética de secagem da beterraba por infravermelho e pré-tratamento com ácido cítrico. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.
- ANANINGSIH, V. K.; PRATIWI, A. R.; MARGONO. Microencapsulation of Freeze-Dried Red Beet Extract with Maltodextrin. **In: International Conference on Sustainable Global Agricultural and Food Security**, Indonesia, 2014.
- ANTIGO, J. L. D. **Microencapsulação do corante de beterraba com maltodextrina e goma xantana: estabilidade em diferentes condições e aplicação em iogurte**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) — Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.
- BRANDÃO, A. F.; SCHMIDT, V. C. R. Elaboração de snacks de origem vegetal por cast-tape drying. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (COBEC)**, Uberlândia, Minas Gerais, 2019.
- CARDOSO, C. E. F.; LOBO, F. A. T. F. Estudo do processo de obtenção da polpa de beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.) em pó, pelo método *foam mat drying* visando a formulação de um corante natural. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição**, v. 12, n. 1, p. 131-152, 2021.
- CASTOLDI, M. **Estudo do processo de secagem de polpa de tomate por refractance window**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. **Embrapa Cerrados**, Distrito Federal, 51 p. 2010.
- CLIFFORD, T.; HOWATSON G.; WEST D. J.; STEVENSON, E. J. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. **Nutrients**, [s.l.], v. 7, p. 2801-2822, 2015.
- CRANK, J.A. **The mathematics of diffusion**. Oxford. University Press, Ely House, London W.I, ed. 2. 421 p., 1975.

COMUNIAN, T. A.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. **Food Hydrocolloids**, São Paulo, v. 61, p. 442–457, 2016.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Experimental study and optimization of the agglomeration of acerola powder in a conical fluid bed. **Powder Technology**, v. 188, n.3, p.187-194, 2009.

DANTAS, P. V. S. **Influência do congelamento do suco e do fruto da laranja (*Citrus sinensis*) nas propriedades físico-química dos pós de suco obtidos por *spray dryer***. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

DÜRMAIER, D. C. **Estudo dos efeitos do agente microencapsulante no pó obtido por secagem de atomização do leite caprino *in natura***. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 33, p. 171-178, 2013.

FERREIRA, N. A. **Aproveitamento de resíduos do processamento mínimo de beterraba: elaboração de produtos tecnológicos, avaliação sensorial, físico-química e de compostos funcionais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) — Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

FILHO, D. G. A.; EIDAM, T.; BORSATO, A. V.; RAUPP, D. S. Processamento de produto farináceo a partir de beterrabas submetidas à secagem estacionária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 207-214, 2011.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Amidos, n. 35, 2015. Disponível em: www.revista-fi.com. Acesso em: 16 ago. 2024.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro: LTC, 670 p. 1982.

FRABETTI, A. C. C. **Produção e caracterização de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó por cast-tape drying**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

FRANÇA, P. R. L. **Secagem de beterraba vermelha: avaliação do processo e qualidade do produto por uso de técnicas de imagem e espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; IGUAL, M.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Beetroot Microencapsulation with Pea Protein Using Spray Drying: Physicochemical, Structural and Functional Properties. **Applied sciences**, v. 11, 13 p., 2021.

GULDIKEN, B.; TOYDEMIR, G.; MEMIS, K. N.; OKUR, S.; BOYACIOGLU, D.; CAPANOGLU, E. Home-processed red beetroot (*Beta vulgaris* L.) Products: Changes in antioxidant properties and bioaccessibility. **International Journal of Molecular Sciences**, Istanbul, Turquia, v. 17, 13 p., 2016.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation - structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, Stuttgart, Alemanha, v. 71, p. R41-R50, 2006.

HERMAN-LARA, E.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M.; CALDERÓN-CHIU, C. Beetroot slices dried by refractance window dryer and conventional drying: drying kinetics, physicochemical properties and antioxidant capacity. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 23, n. 3, 2024.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie**, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.

KAUSHIK, P.; DOWLING, K. B.; KIM, B.; COLIN, J.; BENU A.; ADHIKARI, G.H. Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. **Journal of Functional Foods**, [s.l.], v. 19, p. 868–881, 2015.

KUJALA, T. S.; VIENOLA, M. S.; KLIKA, J. M. L; PIHLAJA, K. Betalain and phenolic compositions of four beetroot (*Beta vulgaris*) cultivars. **Eur Food Res Technol**, 214, p. 505-510, 2002.

KUSHWAHA, Rinku; KUMAR, Vikas; VYAS, Gitanjali, *et al.* Optimization of Different Variable for Eco-friendly Extraction of Betalains and Phytochemicals from Beetroot Pomace. **Waste Biomass Valor**, V. 9, p. 1485-1494, 2018.

LANA, M. M.; TAVARES, S. A. **50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir**. 2 ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 209 p., 2010.

LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT-Food Science and Technology**, Chiang Mai, Tailândia, v. 64, n. 1, 405-411, 2015.

LARGO-AVILA, E.; RICO-RODRÍGUES, F.; PEÑALOZA-FIGUEROA, J. K.; LÓPEZ-PADILLA, A. Effect of Refractance Window™ and oven drying on physicochemical and sensory properties of peach (*Prunus persica* L.) surplus. **Frontiers in Nutrition**, n. 11, 2024.

LEÃO, F. P. Secagem de cebolinha (*Allium fistulosum* L.) em microondas. 2021. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.

LIMA, A. R. C.; SANTOS, F. S.; SILVA, R. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Elaboração e caracterização físico-química de suco misto de caju com beterraba. **REVISTA BRASILEIRA DE AGROTECNOLOGIA (BRASIL)**. v. 7, n. 2, p. 92-96. 2017.

- LIMA, M. D. M. **Obtenção e caracterização de ovo em pó obtido em spray dryer piloto.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- LINS, A. D. F. Repolho roxo em pó obtido em secador por aspersão e liofilizador. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.
- MAHANTI, N. K. *et al.* Refractance window-drying vs. Other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. **Future Foods**. 2021.
- MANDALE, N. M.; ATTKAN, A. K.; KUMAR, S.; KUMAR, N. Drying kinetics and quality assessment of refractance window dried beetroot. **Journal of Food Process Engineering**. v. 46, 15 p., 2023.
- MARQUES, L. F.; MEDEIROS, D. C.; COUTINHO, O. L.; MARQUES, L. F.; MEDEIROS, C. B.; VALE, L. S. Produção e qualidade da beterraba em função da adubação com esterco bovino. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 24-31, 2010.
- MARTINS, P. S. **Caracterização físico-química de suco de acerola (*Malpighia emarginata* DC) em pó obtido através das técnicas de spray dryer e refractance window.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.
- NASCIMENTO, A. B. **Aplicação de amido modificado e extrato de soja na microencapsulação de óleo de canola por coacervação complexa.** 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) — Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023.
- NASCIMENTO, C. S. **Obtenção de Abricó (*Mammea americana* L.) desidratado utilizando Secagem por Refractance Window.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.
- NGUYEN, T. V. L. NGUYEN, T. T. D. HUYNH, Q. T. NGUYEN, P. B. D. Effect of Maltodextrin on Drying Rate of Avocado (*Persea Americana* Mill.) Pulp by Refractance Window Technique, and on Color and Functional Properties of Powder. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 73, n. 2, p. 187–195, 2023.
- NINDO, C. I.; FENG, H.; SHEN, G. Q.; TANG, J.; KANG, D. H. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. **Journal of Food Processing Preservation**, n. 27, v. 2, p. 117-136, 2003.
- NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance Window dehydration technology: A novel contact drying method. **Drying technology**. Pullman – Washington, p. 37-48, 2007.
- NUNES, I. S. **Estudo do armazenamento do suco do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em pó obtido por spray dryer.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019
- OCHOA-MARTÍNEZ, C.I. et al. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. **Journal of Food Engineering**, Colombia, p. 69-75, 2012.

ORTIZ-JEREZ, M. J. et al. Quantitative understanding of Refractance Window™ drying. **Food and Bioproducts Processing**, Colombia, p. 237-253. 2015.

PAIVA, E. M. O. **Estudo da produção do pó de beterraba por secagem para posterior aplicação em cosméticos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

PAIVA, E. M. O.; MEDEIROS, A. L. Q.; MEDEIROS, M. F. D.; DANTAS, J. M. M. Produção de pó de beterraba pelo secador leito de jorro com diferentes quantidades de adjuvantes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 6, p. 59547-59554, 2021.

PARISOTTO, E. I. B. et al. Obtenção de café solúvel pela secagem do extrato por *Refractance Window*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis, p.1-8.

RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ROSA, Rafaela Silva da, et al. Avaliação de suco de beterraba em pó (*Beta vulgaris* L., cultivar Early Wonder). In: XXIX Congresso de Iniciação Científica, 2020.

ROY, Kakali; GULLAPALLI, Swathi; CHADHURI, Utpal Roy; CHAKRABORTY, Runu. The use of a natural colorant based on betalain in the manufacture of sweet products in India. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, p. 1087–1091, 2004.

SANTIAGO, M. C. P. A. **Avaliação de processos para obtenção de produtos ricos em antocianinas utilizando suco de romã (*Punica granatum* L.)**. 2014. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, E. F.; SILVA, G. S.; SOARES, A. C.; CABRAL, A. V.; XAVIER, A. C. R.; PAGAMI, A. A. C. Desenvolvimento e caracterização de microcápsulas de beterraba. In: Simpósio Internacional De Inovação Tecnológica, 9., 2018, Aracaju, Sergipe. **Anais eletrônicos** [...]. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2018. V. 9. p. 31-37.

SILVA, M. A. **Obtenção de beterraba em pó mediante secagem por atomização**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SILVA, V. A. **Secagem osmo-convectiva da acerola**. 2004. 176p. Tese (Tese de Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; NASCIMENTO, A. P. S.; ALMEIDA, R. L. J. Obtenção e caracterização físico-química da farinha de beterraba em diferentes temperaturas. **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação**, v.2, n.1, 2019.

SOUSA, C. R. V. **Extração assistida por ultrassom e encapsulamento de corante da casca de beterraba com potencial para aplicação em iogurte**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. R. A.; TRANI, P. E.; MAY, A. Beterraba: do plantio à comercialização. Série Tecnologia APTA. **Boletim Técnico IAC**, 210. Campinas: Instituto Agrônômico, 51 p., 2011.

VILLOTA, R.; SAGUY, I.; KAREL, M. Storage stability of dehydrated food evaluation of literature. **Journal Food Quality**, v. 3, n. 3, p. 123-212, 1980.

WASUM, M. M.; GURAK, P. D. Talos de beterraba (Beta vulgarisl.): uma alternativa para obtenção de corante natural. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.9, n.5, p.14980-14994, 2023.

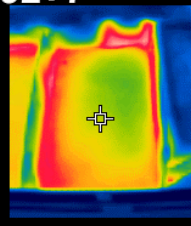
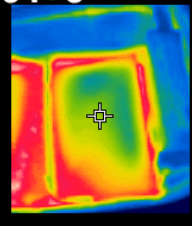
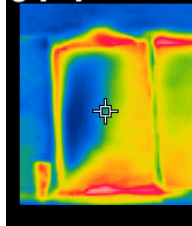
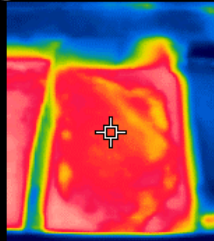
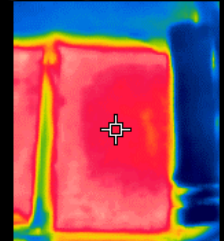
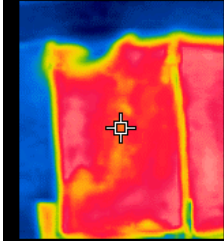
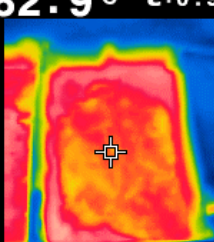
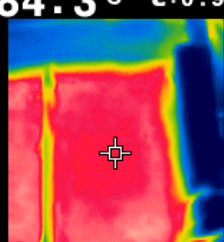
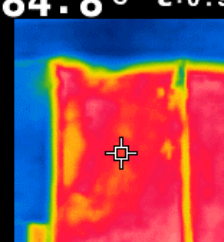
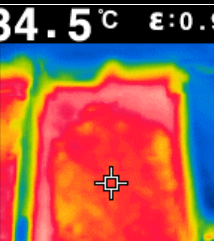
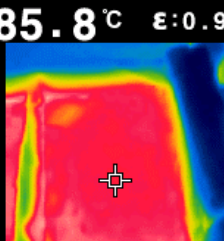
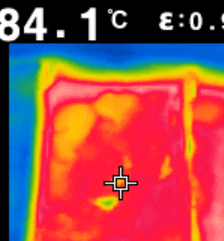
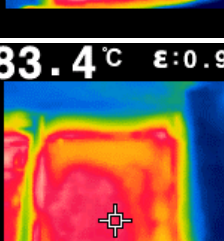
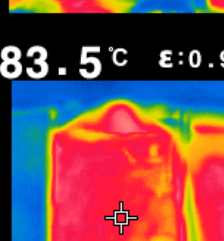
ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, 1020 p., 2008.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ZUANON, L. A. C.; TELIS, V. R. N. Influência Da Concentração De Carreadores Nas Propriedades Físicas De Extrato De Beterraba Microencapsulado. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS ARTICULADOS**, São Carlos, 2015.

APÊNDICE A - Imagens termográficas para secagem em *refractance window* a 90 °C de extrato de beterraba adicionada de agentes carreadores

Tabela A1: Imagens termográficas da secagem a 90°C de polpa de beterraba adicionada de amido modificado

Tempo (min)	Imagens termográficas		
	20 %	25%	30%
t = 0	62.7 °C $\epsilon:0.95$ 	61.5 °C $\epsilon:0.95$ 	54.7 °C $\epsilon:0.95$ 
t = 60	82.4 °C $\epsilon:0.95$ 	84.8 °C $\epsilon:0.95$ 	84.1 °C $\epsilon:0.95$ 
t = 120	82.9 °C $\epsilon:0.95$ 	84.3 °C $\epsilon:0.95$ 	84.8 °C $\epsilon:0.95$ 
t = 200	84.5 °C $\epsilon:0.95$ 	85.8 °C $\epsilon:0.95$ 	84.1 °C $\epsilon:0.95$ 
t = 300	81.8 °C $\epsilon:0.95$ 	83.4 °C $\epsilon:0.95$ 	83.5 °C $\epsilon:0.95$ 

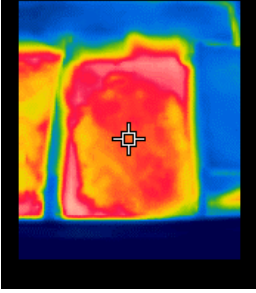
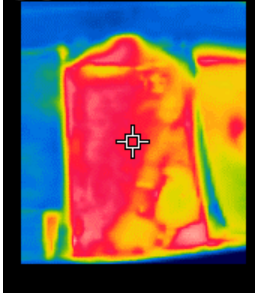
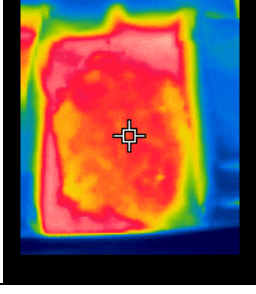
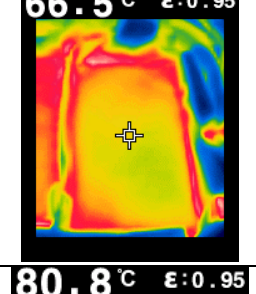
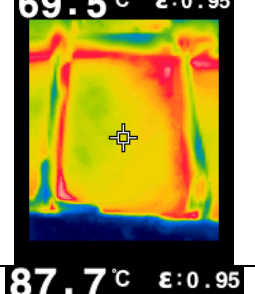
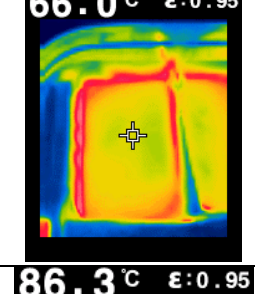
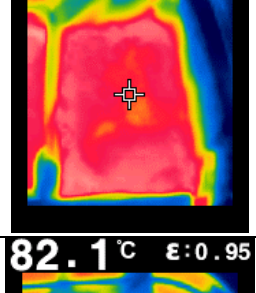
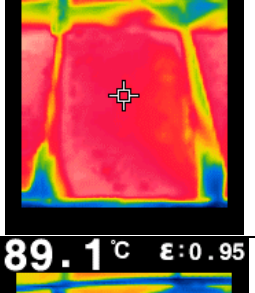
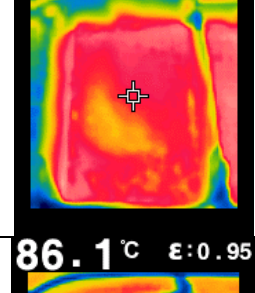
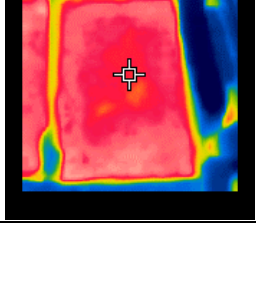
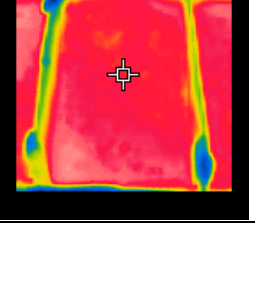
t = 340	83.2 °C ε:0.95		83.2 °C ε:0.95
t = 380	81.4 °C ε:0.95		

Tabela A2: Imagens termográficas da secagem a 90 °C de polpa de beterraba adicionada de maltodextrina

Tempo (min)	Imagens termográficas		
	20 %	25%	30%
t = 0	66.5 °C ε:0.95	69.5 °C ε:0.95	66.0 °C ε:0.95
t = 60	80.8 °C ε:0.95	87.7 °C ε:0.95	86.3 °C ε:0.95
t = 120	82.1 °C ε:0.95	89.1 °C ε:0.95	86.1 °C ε:0.95