

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (FACFAN)
Curso de Engenharia de Alimentos

Jordan Heiki Santos Uemura

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DE
MICROCÁPSULAS DE POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) OBTIDAS
PARTIR DE GELIFICAÇÃO IÔNICA

Campo Grande

2025

Jordan Heiki Santos Uemura

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM NA OBTENÇÃO DE
MICROCÁPSULAS DE POLPA DE MANGABA (*Hancornia speciosa*) OBTIDAS
PARTIR DE GELIFICAÇÃO IÔNICA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Prof. Orientador: João Renato de Jesus Junqueira

Campo Grande

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, especialmente à minha mãe Valéria e ao meu pai Kazuo, que sempre me amaram, serviram de exemplo, incentivaram meus estudos e me apoiaram durante toda a minha vida.

Minhas amigas Ana Gabriela, Mari Ellen, Maria Simone e Isadora merecem meus agradecimentos pelo apoio e companhia, por caminharem comigo em muitas disciplinas durante a graduação e por proporcionarem bons momentos na universidade.

Agradeço também a toda a equipe de professores do curso pelos ensinamentos dentro e fora da sala de aula, que me incentivaram na busca do conhecimento e na formação de um bom profissional.

Um agradecimento especial à Mari e à Mirelly, da equipe técnica da unidade do curso, por sua dedicação e profissionalismo, que tornaram a experiência de pesquisa e produção do TCC muito mais fácil e gratificante.

Às minhas coorientadoras Ângela e Juliana, minha gratidão por contribuírem com a construção deste trabalho, por me guiarem durante a execução do projeto, pela paciência, disponibilidade e por compartilharem seus valiosos conhecimentos.

Por fim, agradeço principalmente ao meu professor orientador João Renato de Jesus Junqueira, pelo apoio, paciência, orientação na execução deste trabalho e pelas oportunidades proporcionadas durante minha graduação.

RESUMO

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, detém uma vasta biodiversidade, com parcela significativa de sua área utilizada para atividades humanas. A mangaba (*Hancornia speciosa*), fruto nativo desse bioma, possui relevância econômica local devido às suas características sensoriais, mas devido a sazonalidade, perecibilidade, falta de cultivo comercial e dificuldades na coleta, a produção industrial ainda é limitada, mas vai de encontro com interesse. Rica em antioxidantes e compostos fenólicos, a mangaba tem potencial para usos diversos. Para prolongar sua vida útil, dada sua sazonalidade e alto teor de umidade, a microencapsulação por gelificação iônica e a secagem são técnicas eficazes. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos de diferentes técnicas de secagem (infravermelho, micro-ondas e estufa) nas características físico-químicas de microcápsulas de polpa de mangaba, incluindo suas cinéticas de secagem. Os tempos de secagem para as microcápsulas foram: 215 minutos (infravermelho), 25 minutos (micro-ondas) e 95 minutos (estufa). O modelo de Wang-Singh se destacou como melhor modelo para descrever a cinética de secagem das microcápsulas de mangaba nos tratamentos estudados. Para as análises físicas, o infravermelho se destacou por apresentar os melhores resultados nas análises de molhabilidade, higroscopicidade, densidade real e densidade aparente, enquanto a estufa apresentou melhores valores para dispersibilidade e porosidade. Nas análises de compostos bioativos, o infravermelho apresentou maiores valores de ácido ascórbico. A estufa apresentou maiores valores de compostos fenólicos na mangaba e atividade antioxidante. Em geral, certas quantidades de compostos bioativos foram conservados mesmo após diferentes tratamentos de secagem. Esses resultados evidenciam que a escolha da técnica de secagem influencia significativamente as propriedades físicas e químicas das microcápsulas de mangaba.

Palavras-chave: *Hancornia speciosa*, cinética de secagem, microcápsulas, gelificação iônica, compostos bioativos.

ABSTRACT

The Cerrado, Brazil's second-largest biome, harbors extensive biodiversity, with a significant portion of its territory utilized for human activities. Mangaba (*Hancornia speciosa*), a native fruit of this biome, holds local economic importance due to its unique sensory attributes. However, industrial production remains limited because of its seasonality, perishability, lack of commercial cultivation, and harvesting challenges, despite growing interest. Rich in antioxidants and phenolic compounds, mangaba exhibits considerable potential for diverse applications. To extend its shelf life—given its high moisture content and seasonal availability—microencapsulation via ionic gelation combined with drying techniques proves effective. This study aimed to evaluate the impact of different drying methods (infrared, microwave, and oven drying) on the physicochemical properties of mangaba pulp microcapsules, including their drying kinetics. The drying durations recorded were 215 minutes for infrared, 25 minutes for microwave, and 95 minutes for oven drying. Among the models tested, the Wang-Singh model best described the drying kinetics of the microcapsules across all treatments. Regarding physical properties, infrared drying yielded superior results in wettability, hygroscopicity, true density, and bulk density, whereas oven drying excelled in dispersibility and porosity. In terms of bioactive compounds, infrared drying preserved higher levels of ascorbic acid, while oven drying maintained greater concentrations of phenolic compounds and antioxidant activity. Overall, a substantial portion of bioactive compounds was retained despite the different drying processes applied. These findings highlight that the choice of drying technique significantly influences the physical and chemical characteristics of mangaba microcapsules, providing valuable insights for optimizing processing methods to enhance product quality and shelf life.

Keywords: *Hancornia speciosa*, drying kinetics, microcapsules, ionic gelation, bioactive compounds.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	7
2. Materiais e Métodos.....	9
2.1 - Materiais.....	9
2.2 Teor de água.....	9
2.3 Obtenção das microcápsulas.....	9
2.4 Secagem das microcápsulas.....	10
2.4.1 Secagem convectiva (EST).....	10
2.4.2 Secagem por micro-ondas (MO).....	10
2.4.3 Secagem infravermelho (IR).....	10
2.5 Cinética de Secagem.....	10
2.6 Caracterização das microcápsulas.....	12
2.6.1 - Caracterização física.....	12
2.6.1.1 Dispersibilidade.....	12
2.6.1.1 Molhabilidade.....	12
2.6.1.2 Higroscopicidade.....	12
2.6.1.3 Solubilidade e o índice de absorção de água.....	13
2.6.1.4 Densidade aparente.....	13
2.6.1.5 Densidade real.....	14
2.6.1.7 Porosidade.....	14
2.6.1.8 Cor.....	14
2.7.2 - Compostos bioativos.....	15
2.7.2.1 Determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante por espectrofotometria.....	15
2.7.2.2 Determinação da vitamina C pelo método de Tillmans.....	15
2.8. Análises Estatísticas.....	15
3. Resultados e Discussão.....	16
3.1 Teores de umidade da polpa e microcápsula de mangaba.....	16
3.3 - Modelagem Matemática.....	18
3.4 - Caracterização física.....	20
3.4 - Compostos Bioativos.....	25
4. Conclusões.....	27
Referências bibliográficas.....	28

1. Introdução

O Cerrado no Brasil, também conhecido como Savana Brasileira, é o segundo maior bioma do país e abrange cerca de 2 milhões de km² do território nacional. Quanto ao uso do solo do bioma, 13% das terras são destinadas a culturas agrícolas, 28% para pastagem e 2% para áreas urbanas, o que significa 43% da área total possui uso antrópico (MapBiomias, 2019).

Esse bioma é rico em diversas espécies nativas de frutos como Pequi (*Caryocar brasiliense*), Baru (*Dipteryx alata*) e Murici (*Byrsonima verbascifolia*). Esses frutos compõem a flora do Cerrado e devido a diversidade do bioma, isso os torna atraentes para serem explorados e comercializados (Reis; Schimiele, 2019)

A mangaba (*Hancornia speciosa*) é um fruto nativa do Brasil, encontrada em abundância no Nordeste brasileiro. No Centro-Oeste, o fruto é encontrado principalmente no Cerrado, e apresenta grande importância na economia local por apresentar características sensoriais próprias como sabor e aroma ácidos (Santos et al., 2017). É possível utilizar o fruto na produção de licores, geleias e aproveitamento da polpa congelada, porém a sua sazonalidade, dificuldades na coleta e perecibilidade dificultam a utilização de tecnologias industriais, mesmo que haja muito interesse, o consumo do fruto ainda é local, o que implica a não utilização de tecnologias industriais na produção artesanal, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017).

O fruto é classificado como baga, com formato arredondado, e caracteriza-se por ser perfumado. Sua casca exibe uma coloração que varia do amarelo ao esverdeado, frequentemente adornada por manchas avermelhadas de diferentes tamanhos (Perfeito et al., 2015). A mangaba é uma excelente fonte de substâncias antioxidantes, eficazes na neutralização de radicais livres, e de compostos fenólicos, cuja ingestão é reconhecida por promover benefícios à saúde (Dantas et al., 2020). O látex da mangaba apresenta propriedades anti-inflamatórias (Marinho et al., 2011) e extratos de suas folhas contribuem para a cicatrização de feridas, além de possuírem efeitos antidiabéticos (Pereira et al., 2015).

A natureza sazonal da mangaba e seu elevado teor de água tornam necessário o emprego de métodos que prolonguem sua durabilidade. Nesse contexto, a microencapsulação e a secagem se mostram eficientes. A microencapsulação envolve a incorporação de pequenas partículas em uma matriz protetora, defendendo-as de condições desfavoráveis como luminosidade intensa, temperaturas elevadas e exposição ao oxigênio (Paula et al., 2019). Embora existam diversas abordagens para microencapsular, incluindo a secagem por aspersão

(*spray-drying*), coacervação e inclusão, a gelificação iônica se destaca por sua simplicidade, rapidez, baixo custo e pela capacidade de formar hidrogéis para encapsular o material (Burey et al., 2008).

A gelificação iônica subdivide-se em gelificação iônica externa e interna. Na abordagem externa, um gel insolúvel que envolve as microcápsulas é produzido quando cátions divalentes presentes em uma solução salina entram em contato com o polímero e o composto ativo do material a ser encapsulado. A vantagem dessa técnica reside em sua flexibilidade, dispensando o uso de solventes orgânicos, algo que não ocorre na gelificação iônica interna (Schoubben et al., 2010). Dentre os polímeros empregados para microencapsulação, o alginato é amplamente preferido devido à sua natureza atóxica, elevada biocompatibilidade e elasticidade. Entretanto, as microcápsulas à base de alginato podem apresentar desvantagens como alta porosidade e considerável teor de umidade (Asgari et al., 2020).

Embora a gelificação ofereça benefícios como a preservação da cor, aroma e compostos bioativos, as microcápsulas frequentemente retêm um teor de umidade elevado, comprometendo sua estabilidade. Considerando essa característica e o alto teor de água inerente às frutas (aproximadamente 80%), torna-se essencial a aplicação de métodos de pós-processamento para prolongar a vida útil. A secagem, nesse contexto, é uma técnica fundamental para a conservação alimentar, pois ao remover grande parte da água, impede o desenvolvimento microbiano, diminui o peso dos produtos e otimiza seu armazenamento e transporte (Venturin; Silva, 2019).

Para alimentos de origem vegetal, o método de secagem mais convencional é a secagem convectiva, que consiste no uso de ar quente para transferir calor e remover umidade do material. Contudo, o ar pode causar alterações indesejadas na aparência, cor, textura e perfil nutricional do alimento desidratado, o que, por sua vez, pode afetar na decisão de compra do consumidor (Zubernik et al., 2020). Ademais, a secagem convectiva apresenta um consumo energético muito alto, consumindo grande quantidade de energia, motivando a busca por tecnologias de secagem inovadoras para superar essa limitação (Rojas; Augusto, 2018).

Tecnologias emergentes surgem a fim de otimizar o processamento de alimentos como o aquecimento por infravermelho (Ogundele; Kayitesi, 2019). A secagem por radiação infravermelho consiste na utilização das ondas eletromagnéticas na faixa de 0,75 a 1000 μm que atravessam as moléculas, conseqüentemente aquecendo-as (Tsai; Hamblin, 2017). Os aspectos positivos que tornam o aquecimento por infravermelho mais viável que métodos convencionais são o menor tempo de secagem, o consumo de energia reduzido e a fácil

reprodutibilidade (Campos et al., 2021). Porém, uma desvantagem dessa tecnologia é a baixa penetração da radiação, ou seja, alimentos mais densos apresentam dificuldades na secagem, e consequentemente mais tempo de secagem (Lao et al., 2019).

Um tratamento térmico de secagem muito popular e amplamente utilizado é o aquecimento por micro-ondas (Michalak et al., 2017). Esse método utiliza a capacidade das moléculas em absorverem a energia proveniente das micro-ondas e convertê-la em calor. Ao utilizar de mecanismos dipolares e iônicos, a água presente nos alimentos possibilita que todos os outros componentes ali presentes em sua estrutura sejam aquecidos também, ou seja, quanto maior o conteúdo de água, mais rápido será o aquecimento (Guo et al., 2017).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes técnicas de secagem nas características físicas (molhabilidade, higroscopicidade, índice de absorção de água, dispersibilidade, densidade aparente, densidade real, porosidade e teor de água) e químicas (determinação de fenólicos totais e determinação de atividade antioxidante) nas microcápsulas de polpa de mangaba obtidas a partir de gelificação iônica. Também foram avaliadas as cinéticas de secagem e modelagem matemática.

2. Materiais e Métodos

2.1 - Materiais

Foi utilizada polpa de mangaba (*Hancornia speciosa*) adquiridas de Anastác; Alginato de sódio ($C_6H_7O_6Na$, GastronomyLab); e Cloreto de cálcio ($CaCl_2$, GastronomyLab) para obtenção das microcápsulas.

2.2 Teor de água

A polpa foi diluída em água (proporção 1:1) e umidade da polpa foi determinada pelo método gravimétrico, a 105°C em estufa de circulação de ar (Lucadema, 82/882, Brasil).

2.3 Obtenção das microcápsulas

As microcápsulas de mangaba foram produzidas através do método de gelificação iônica externa (Xavier et al, 2021). O alginato de sódio foi dissolvido na polpa de mangaba a 1 g/100 mL, e a mistura foi homogeneizada em liquidificador por aproximadamente 2 min.

Com o auxílio de uma Pipeta de *Pasteur*, a mistura foi gotejada sobre uma solução de cloreto de cálcio a concentração 0,5 g/100 mL, a uma distância de 15 cm. As microcápsulas formadas permaneceram na solução por 5 minutos, a fim de garantir a formação da estrutura do hidrogel, seguido de decantação e lavagem das microcápsulas com água destilada. O teor de umidade da microcápsula foi determinado a partir de secagem em estufa à 105 °C (AOAC, 2016).

2.4 Secagem das microcápsulas

As microcápsulas foram submetidas a diferentes técnicas de secagem até a obtenção de umidade final de aproximadamente 0,20 g/g (base úmida), o que corresponde à 0,26 g/g (base seca). Durante o processo, a massa das amostras foi monitorada utilizando uma balança digital (Model IV 2500, Gehaka, São Paulo, Brasil) (precisão de $\pm 0,01$ g), a cada 10 min. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas.

2.4.1 Secagem convectiva (EST)

A secagem convectiva foi realizada em estufa com circulação de ar (Lucadema, 82/882, Brasil) a uma temperatura de 70 °C.

2.4.2 Secagem por micro-ondas (MO)

A secagem por micro-ondas foi realizada em micro-ondas convencional (Philco, PME31, Brasil) com a densidade de potência igual a 1 W/g.

2.4.3 Secagem infravermelho (IR)

A secagem por IR foi realizada em equipamento com fonte de radiação (Model IV 2500, Gehaka, São Paulo, Brasil). Em cada experimento, 20 g de microcápsulas foram desidratadas. A fonte de radiação (potência de IR de 300W) estava localizada a uma distância fixa de aproximadamente 0,10 m das amostras.

2.5 Cinética de Secagem

Para modelagem matemática, seis modelos empíricos foram testados para selecionar o de melhor ajuste aos dados experimentais de cinética de secagem (Tabela 1). A razão de umidade (RX) durante a secagem das microcápsulas foi calculada de acordo com a equação 1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

onde RX é a razão de umidade [adimensional], X é o teor de umidade em um tempo específico [g/100 g base seca], X_0 é o teor de umidade inicial [g/100 g base seca] e X_e é o teor de umidade no equilíbrio [g/100 g matéria seca].

Tabela 1 - Modelos matemáticos aplicados às curvas de secagem.

Modelo	Equação
Newton	$RX = \exp(-kt)$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$
Page modificado	$RX = \exp(-(kt)^n)$
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-kt)$
Wang-Singh	$RX = 1 + at + bt^2$
Aproximação da Difusão	$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kt)$

onde k, n, a, b, c, k_1 e k_2 são constantes de ajuste dos modelos.

O coeficiente de determinação R^2 , raiz média do quadrado do erro (RMQE) e chi-quadrado (χ^2) foram calculados para avaliar a adequabilidade de ajuste dos modelos (Eq. 3-4). Menores valores de RMQE e χ^2 e maiores valores de R^2 indicam melhor qualidade dos modelos (Almeida et al., 2021).

$$RMQE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_{pre,i} - I_{exp,i})^2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(I_{exp,i} - I_{pred,i})^2}{N - n'} \quad (4)$$

onde N é o número de observações, I_{pre} são os valores preditos pelo modelo, I_{exp} são os valores obtidos experimentalmente e n' é o número de constantes do modelo.

2.6 Caracterização das microcápsulas.

Após os processos de secagem, as amostras foram caracterizadas quanto às características físicas e compostos bioativos.

2.6.1 - Caracterização física

2.6.1.1 Dispersibilidade

Na análise de dispersibilidade, 10 ml de água destilada foram adicionados em um béquer de 50 ml, e 1 g de amostra foi adicionada e agitada de maneira vigorosa com espátula por 15 segundo, movimentando-se pelo diâmetro do béquer. Após 15 segundos, a solução foi filtrada em papel manteiga e 1 ml do filtrado foi transferido para placa de Petri e levado para estufa por 4 horas a 105 °C. A equação 3 a seguir mostra como a dispersibilidade foi calculada.

$$Dispersibilidade(\%) = \frac{(100+a) \cdot TS}{a \cdot \left(\frac{100-b}{100}\right)} \quad (5)$$

a = quantidade da amostra pó (g)

b = teor de água no pó (%)

TS = matéria seca na amostra reconstituída após ter passado através do filtro(%)

2.6.1.1 Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada pelo método do molhamento estático, segundo Jinapong, Suphantarika e Jamnong (2008), com algumas modificações, onde 0,1 g de amostra foram uniformemente distribuídas em um béquer de 250 ml com 10 ml de água destilada, a uma altura de 10 cm da superfície da água. O tempo necessário para que as partículas se molhassem completamente representa a sua molhabilidade.

2.6.1.2 Higroscopicidade

A determinação da higroscopicidade consistiu em colocar 0,5 g das amostras em um dessecador contendo uma solução saturada de cloreto de sódio com 75% de umidade relativa, durante 7 dias. Após esse período, as amostras foram pesadas novamente e a higroscopicidade foi calculada pela diferença de peso, e expressa em g/100 g de sólidos secos. A equação 6 indica o cálculo da higroscopicidade.

$$\text{Higroscopicidade (\%)} = \frac{pf - pi}{\text{peso da amostra em base seca}} \cdot 100 \quad (6)$$

pf = peso final após 7 dias

pi = peso inicial

2.6.1.3 Solubilidade e o índice de absorção de água

A solubilidade e o índice de absorção de água foram determinados utilizando a metodologia de Asokapandian et al. (2015), modificado. Em um béquer de 100 ml com 20 ml de água destilada, 1,0 g das amostras foram adicionadas. As soluções foram agitadas por 15 minutos a 250 rpm em uma mesa agitadora. Em seguida, o sobrenadante foi transferido para placas de Petri e ficou em estufa a 70 °C por 24 horas. O peso do sobrenadante seco após a estufa foi utilizado para determinação do índice de absorção de água com a equação 7.

$$IAA = \frac{\text{massa de sólidos úmidos após a centrifugação}}{\text{massa inicial da amostra seca}} \quad (7)$$

2.6.1.4 Densidade aparente

De acordo com a metodologia proposta por Chegini e Ghobadian (2005), com modificações, a densidade aparente foi calculada pesando-se a massa necessária para que as microcápsulas ocupassem 3 ml de uma proveta graduada de 10 ml. A densidade aparente foi calculada pela razão entre a massa e o volume ocupado, conforme a equação 8.

$$Da = \frac{m}{Va} \quad (8)$$

Da = densidade aparente

m = massa da amostra (g)

Va = volume aparente (cm³)

2.6.1.5 Densidade real

Para o cálculo da densidade real, 1 g da amostra foi adicionada em balão volumétrico de 10 ml e com auxílio de uma bureta de 10 ml, 5 ml de éter de petróleo p.a. foram inseridos no balão volumétrico. A solução foi agitada fortemente por 60 segundos para que os espaços vazios entre as microcápsulas fossem preenchidos pelo éter de petróleo. Em seguida, o balão foi deixado em repouso por 15 minutos e após esse tempo, o balão foi completado até o menisco com éter de petróleo. A densidade real foi calculada a partir da razão entre a massa da amostra e o volume real ocupado pelas partículas, como mostra a equação 9 (Kiehl, 1979).

$$Dr = \frac{m}{Vb - Vg} \quad (9)$$

Dr = densidade real

m = massa da amostra (g)

Vb = volume total da bureta (cm³)

Vg = volume de álcool gasto (cm³)

2.6.1.7 Porosidade

A porosidade foi obtida a partir dos valores das densidades aparente e real, em que a diferença entre 1 e a razão entre a densidade aparente e a densidade real corresponde a porosidade (Caparino et al., 2012). A porosidade foi calculada através de equação 10.

$$E = 1 - \frac{Da}{Dr} \quad (10)$$

E = porosidade

Da = densidade aparente (g/cm³)

Dr = densidade real (g/cm³)

2.6.1.8 Cor

A análise de cor foi feita com o uso de um colorímetro (CM 2600D, Konica Minolta), em que o colorímetro mede a cor com base no sistema CIE Lab* (Barboza et al., 2024). As

variáveis são L(: luminosidade (0 = preto, 100 = branco); a*: variação do verde (-a) ao vermelho (+a); b*: variação do azul (-b) ao amarelo (+b).

2.7.2 - Compostos bioativos

2.7.2.1 Determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante por espectrofotometria

Os fenólicos totais e a capacidade antioxidante (IC50) foram avaliados em extratos hidroetanólicos (Roesler et al., 2007) submetidos a reação colorimétrica. A curva padrão de ácido gálico para análise de fenólicos e a leitura dos extratos em espectrofotômetro (Bel, V-M5) em comprimento de onda de 760 nm foi realizada segundo Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999).

O IC50 é definido como a concentração final do extrato integral requerido para decrescer a concentração inicial de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) em 50%, conforme Swain e Hillis (1959). A leitura dos extratos para atividade antioxidante foi realizada em 517 nm segundo Roesler et al. (2007) e Melo et al. (2008).

2.7.2.2 Determinação da vitamina C pelo método de Tillmans

O teor de ácido ascórbico foi quantificado após a maceração das amostras em solução de ácido oxálico 0,5%, através de método titulométrico de Tillmans, utilizando 2,6 diclorofenol-indofenol de sódio a 0,1% (Ranganna, 1977).

2.8. Análises Estatísticas

Para o ajuste dos modelos aos dados de cinética, foram utilizadas técnicas de regressão não-linear, com auxílio do software Statistica 8.0® (Statsoft, Tulsa, OK).

Os resultados encontrados para as variáveis respostas foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA), ao nível de significância de 5%, com auxílio do software SISVAR®. Em caso de significância, foi empregado o Teste de Tukey para avaliação de diferenças entre as médias.

3. Resultados e Discussão

Os dados referentes aos tempos de secagem das microcápsulas em função dos tratamentos empregados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempos de secagem das microcápsulas nos tratamentos.

Tratamentos	Tempo (min)
IR	215
MO	25
EST	95

IR: Infravermelho; MO: Micro-ondas; EST: Estufa.

Fonte: os autores (2025).

3.1 Teores de umidade da polpa e microcápsula de mangaba

O teor de umidade inicial da polpa de mangaba *in natura* foi igual a 85,18 g/100 g. Soares et al. (2012) encontraram valor de umidade de 72,39 g/100 g para polpas de mangaba coletadas no município de Estância no Sergipe, enquanto Silva et al. (2008) encontraram valor mais próximo ao do presente estudo, de 82,40 g/100 g, para frutos coletados no estado de Goiás. Esta diferença está relacionada às condições edafoclimáticas para obtenção e caracterização dos frutos.

O teor de umidade médio das microcápsulas foi igual a 87,5 g/100 g. Através do processo de gelificação iônica, observa-se aumento da umidade. Isso ocorre porque a água fica retida na rede tridimensional formada (Belscak-Cvitanovic et al., 2011).

No processo de encapsulação, o gel formado é capaz de reter tanto os componentes de interesse quanto a água presente na solução. Dessa maneira, os valores de umidade das microcápsulas tendem a ser semelhantes aos da solução original. Estudos anteriores obtiveram valores de umidade semelhantes, como na microencapsulação de óleo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*) por gelificação iônica utilizando alginato de sódio e cloreto de sódio, cuja umidade variou de 85% a 93,70% (Silva et al., 2019).

Uma vez que o teor de umidade das microcápsulas foi elevado, são necessárias técnicas complementares para aumento da vida útil e estabilidade do produto. Desta forma, foram realizados diferentes processos de desidratação.

3.2 - Cinética de Secagem

A cinética de secagem nos diferentes tratamentos para obtenção das microcápsulas de mangaba está apresentada na Figura 1. É aparente que a razão de umidade decresce continuamente com o tempo de secagem.

Em nossos experimentos, o tempo de secagem por estufa (EST) foi de 95 minutos, enquanto o de infravermelho (IR) levou 215 minutos. Em contraste, a secagem por micro-ondas (MO) foi notavelmente mais rápida, completando-se em apenas 25 minutos. Essa diferença é expressiva: o tempo de secagem do MO foi 73,68% menor que o da EST e 88,37% menor em relação ao IR. Tal agilidade se deve, principalmente, ao aquecimento mais uniforme proporcionado pelas micro-ondas e a alta eficiência delas, e também à alta taxa de transferência de calor do equipamento (El-Mesery; Elabd, 2021).

Achados similares de secagem rápida por micro-ondas são corroborados na literatura. Ismail, Kipcak e Doymaz (2019), por exemplo, investigaram a secagem de vagens de quiabo (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) e observaram que o método de micro-ondas resultou no menor tempo de secagem.

Kaveh et al. (2021) registraram tempos de secagem elevados de ervilhas verdes (*Pisum sativum* L.) para estufa convectiva (310 minutos) e infravermelho (170 minutos). De forma variada, ao estudarem frutos de terebinto (*Pistacia terebinthus*) submetidos a diferentes métodos de secagem, incluindo estufa, micro-ondas e infravermelho, Abbaspour-Gilandeh et al. (2020) encontraram um tempo de secagem significativamente menor para o micro-ondas (95 minutos), seguido pelo infravermelho (200 minutos) e pela estufa (300 minutos).

A eficiência das micro-ondas é explicada pelo seu mecanismo de aquecimento volumétrico: o calor é gerado dentro das amostras, formando rapidamente uma pressão de vapor. Esse processo cria um gradiente de pressão entre o interior das microcápsulas e o ambiente, impulsionando o fluxo de água de dentro para fora. Esse fenômeno foi igualmente observado por Wen et al. (2020) em seus estudos com ervilhas verdes (*Pisum sativum* L.).

Adicionalmente, o micro-ondas proporcionou nas microcápsulas um inchaço na textura celular das amostras, levando a formação de poros na parte externa e proporcionando uma fácil remoção de umidade, reduzindo assim, o tempo de secagem. Já na secagem por ar

quente e infravermelho, a camada externa do produto seca primeiro. Essa secagem superficial cria uma camada dura que reduz a permeabilidade e impede a remoção de mais umidade, assim prolongando o tempo de secagem. (Motevali; Hashemi, 2018).

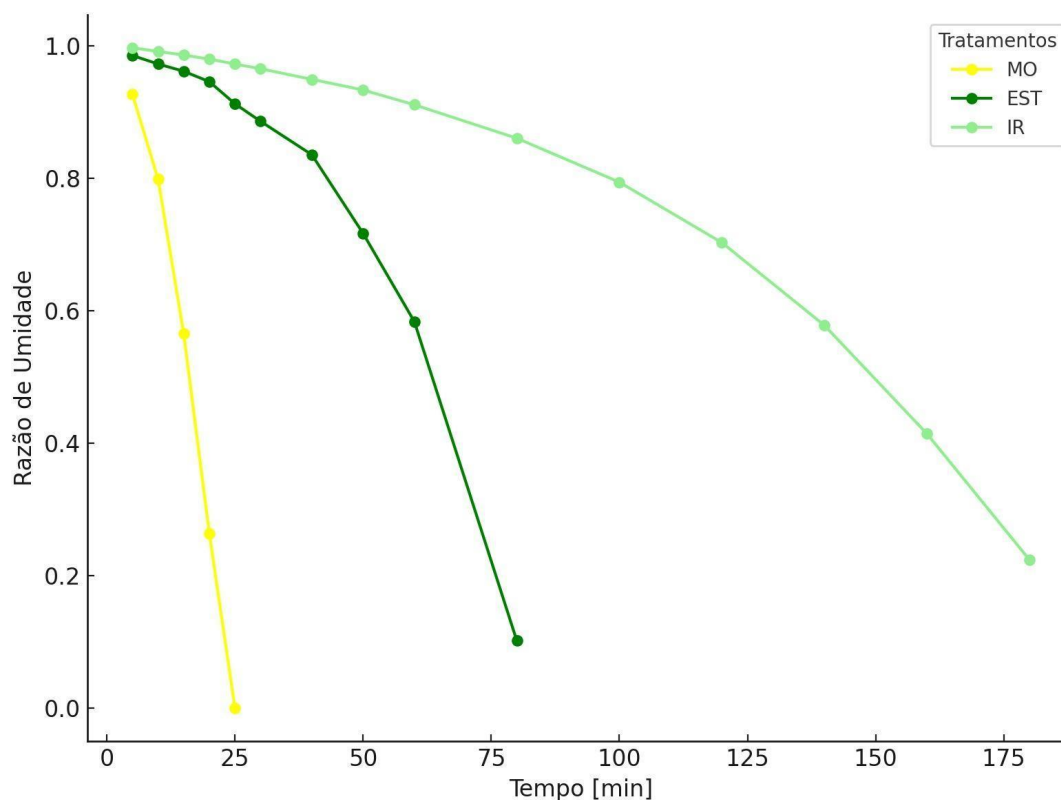


Figura 1 – Razão de umidade versus tempo de secagem de microcápsulas de mangaba em diferentes condições.

Fonte: os autores (2025).

3.3 - Modelagem Matemática

O conhecimento do comportamento do produto durante a secagem e sua modelagem são de extrema importância para a construção de secadores, simulação e otimização dos processos.

Seis diferentes modelos empíricos foram utilizados para determinar o teor de umidade em função do tempo de secagem (Tabela 1). Os valores estatísticos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Modelos matemáticos ajustados para secagem das microcápsulas de mangaba.

Modelo	Tipo de Secagem	k	a	b	R ²	χ^2	RMSE
Newton	EST	$1,98 \times 10^{-4}$	-	-	0,7160	$3,52 \times 10^{-2}$	$1,83 \times 10^{-1}$
	MO	$8,64 \times 10^{-4}$	-	-	0,8017	$3,04 \times 10^{-2}$	$1,59 \times 10^{-1}$
	IR	$8,11 \times 10^{-5}$	-	-	0,7140	$2,82 \times 10^{-2}$	$1,66 \times 10^{-1}$
Page	EST	0,0	1,8781	-	0,9054	$1,64 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$
	MO	0,0	2,3503	-	0,9802	$1,64 \times 10^{-4}$	$1,06 \times 10^{-1}$
	IR	0,0	3,5274	-	0,9851	$1,64 \times 10^{-4}$	$5,03 \times 10^{-2}$
Page modificado	EST	$1,03 \times 10^{-4}$	3,6400	-	0,9885	$1,50 \times 10^{-3}$	$3,95 \times 10^{-2}$
	MO	$9,41 \times 10^{-4}$	2,8392	-	0,9869	$2,49 \times 10^{-3}$	$3,68 \times 10^{-2}$
	IR	$2,42 \times 10^{-4}$	3,5268	-	0,9851	$1,64 \times 10^{-3}$	$4,08 \times 10^{-2}$
Henderson e Pabis	EST	$1,06 \times 10^{-4}$	1,2015	-	0,7791	$2,89 \times 10^{-2}$	$1,61 \times 10^{-1}$
	MO	$9,86 \times 10^{-4}$	1,1210	-	0,8291	$3,28 \times 10^{-2}$	$1,48 \times 10^{-1}$
	IR	$2,53 \times 10^{-4}$	1,2086	-	0,7829	$2,38 \times 10^{-2}$	$1,51 \times 10^{-1}$
Wang-Singh	EST	-	$3,12 \times 10^{-5}$	0,0	0,9870	$4,16 \times 10^{-4}$	$1,67 \times 10^{-2}$
	MO	-	$-1,87 \times 10^{-4}$	0,0	0,9954	$1,70 \times 10^{-3}$	$3,91 \times 10^{-2}$
	IR	-	$7,06 \times 10^{-5}$	0,0	0,9978	$5,01 \times 10^{-4}$	$2,19 \times 10^{-2}$
Aproximação da Difusão	EST	0,0003	-20,7729	0,9316	0,9008	$1,15 \times 10^{-2}$	$1,03 \times 10^{-1}$
	MO	0,0025	-21,0037	0,9340	0,9416	$1,49 \times 10^{-2}$	$8,64 \times 10^{-2}$
	IR	0,0006	-10,4817	0,8747	0,8990	$1,14 \times 10^{-2}$	$1,08 \times 10^{-1}$

IR: Infravermelho; MO: Micro-ondas; EST: Estufa.

Fonte: os autores (2025).

De acordo com a Tabela 3, os valores dos parâmetros dos modelos analisados (R^2 , RMQE e χ^2) variaram entre 0,7160 – 0,9978; $1,64 \times 10^{-4}$ – $1,83 \times 10^{-1}$; $1,64 \times 10^{-4}$ – $3,52 \times 10^{-2}$, respectivamente. O modelo de Wang-Singh apresentou maiores valores de R^2 e menores valores de RMQE e χ^2 . Para esse modelo, o valor de R^2 foi maior que 0,9870 e os valores de RMQE e χ^2 menores que $3,91 \times 10^{-2}$ e $1,70 \times 10^{-3}$,

respectivamente. Quanto menores os valores de RMQE e χ^2 , melhor o ajuste dos dados de cinética.

Çelen et al. (2016) estudando a secagem por micro-ondas e por estufa de óleo de azeitona (*Olea europaea*) bruto, concluíram que os modelos de Wang-Singh e Page apresentaram melhores ajustes em relação a outros modelos empíricos avaliados. Nesse trabalho, eles concluíram que o modelo de Wang-Singh foi o mais adequado para determinar o comportamento de secagem no micro-ondas, e o modelo de Page se sobressaiu na estufa.

Da mesma maneira, ao estudar a secagem de fatias de alho (*Allium sativum*) por infravermelho e estufa, El-Mesery et al. (2022), obtiveram resultados excelentes com os modelos de Wang-Singh, cujo R^2 mais alto foi de 0.997 e χ^2 mais baixo de $5,64 \times 10^{-4}$.

Os modelos de Henderson e Pabis e Newton apresentaram menores valores de R^2 , variando entre 0,7791 – 0,8291 e 0,7140 – 0,8017, respectivamente, apresentando maiores valores de RMQE e χ^2 (Tabela 3). O modelo de Newton é um caso especial do modelo de Henderson e Pabis, e ambos tendem a uma superestimação nos estágios iniciais da secagem e uma subestimação nos estágios de secagem posteriores (Lopez-Quiroga et al., 2020).

Durante a secagem de fatias de cúrcuma (*Curcuma longa* Linn.), Abioye et al. (2021) concluíram que os modelos de Newton e Henderson e Pabis apresentaram os menores valores de coeficiente de correlação, em todas as temperaturas e tamanho de fatias, ou seja foram os dois modelos menos apropriados dentre todos os observados. Comportamento similar foi observado para secagem por bagaço de óleo de palma (*Elaeis guineensis*) por Husin et al. (2022), onde dentre os modelos testados, os propostos por Newton e Henderson e Pabis também apresentaram os menores ajustes aos dados.

3.4 - Caracterização física

Em relação à caracterização física, as Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados obtidos para as microcápsulas de mangaba, após diferentes técnicas de secagem.

Tabela 4 - Resultados obtidos nas análises de dispersibilidade, molhabilidade, higroscopicidade e índice de absorção de água para as microcápsulas de mangaba.

Tratamentos	Dispersibilidade (%)	Molhabilidade (s)	Higroscopicidade (g/100 g)	Índice de Absorção de Água [-]
IR	163,74 ± 5,51ab	43,33 ± 3,78c	203,01 ± 6,26b	2,01 ± 0,01b
MO	121,67 ± 6,77b	115,33 ± 6,35a	380,84 ± 2,29a	1,78 ± 0,03c
EST	248,45 ± 72,1a	87,00 ± 6,55b	398,73 ± 16,34a	2,57 ± 0,04a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). IR: Infravermelho; MO: Micro-ondas; EST: Estufa.

Fonte: os autores (2025).

A dispersibilidade é uma importante característica na reidratação de pós na indústria de alimentos. Ela representa a capacidade de dispersão de pós imersos em água, ou seja, o quão fácil as partículas se distribuem no líquido está diretamente relacionada à qualidade de um produto. Adicionalmente, o tamanho das partículas e a estrutura física são os principais fatores que afetam a dispersibilidade (Ding et al, 2020).

A dispersibilidade das microcápsulas variou de 121,74% a 248,45% e apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$). O tratamento mais benéfico foi a estufa, pois quanto maiores os valores de dispersibilidade, mais fácil é a dissolução das cápsulas em solvente. Não apenas o menor tamanho das partículas importa para a indústria de alimentos, mas também a sua dispersibilidade, para que a vida útil do produto seja estendida, não haja formação de aglomerados e ocorra uma rápida mistura do produto (Saha; Kanja; Yadav, 2020).

Diferentes materiais de parede das microcápsulas impactam diretamente na dispersibilidade, como constatado por Kak et al. (2021), que obtiveram de 63,3% a 76,1% em microcápsulas revestidas por goma arábica por *Spray-drying*.

Outro fator responsável para o aumento da dispersibilidade é a formação de aglomerados das microcápsulas quando dispersas em água. Os aglomerados dificultam a dispersão do produto e consequentemente diminuem a facilidade de espalhá-lo na superfície, mesmo após a agitação (Fernandes; Borges; Botrel, 2013).

Para a molhabilidade na Tabela 4, as microcápsulas foram afetadas de maneira significativa durante a secagem ($p < 0,05$). A molhabilidade indica a velocidade que as partículas levam para se molhar por completo em água. As microcápsulas desidratadas por IR

apresentaram o menor tempo de molhabilidade ($p < 0,05$). Quanto mais rápido é o tempo de molhabilidade, melhores são os atributos físicos para o processamento na indústria de alimentos (Chew; Tan; Nyam, 2018).

Nos estudos feitos por Catelam, Trindade e Romero (2011), o valor de molhabilidade encontrado com polpa de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* fo. *flavicarpa* O. Deg.) e leite condensado foi de 470 segundos, isso aconteceu devido a utilização de goma arábica como material que revestia as microcápsulas. A goma arábica é um material hidrofílico-hidrofóbico, por isso, as propriedades hidrofóbicas na superfície das partículas dificultam a penetração da água, o que aumenta a molhabilidade. Em contrapartida, como o alginato de sódio não é hidrofóbico, todos os tempos de molhabilidade foram melhores em relação a outros materiais de parede (Bae; Lee, 2008).

Foi possível observar um tempo significativamente maior de molhabilidade para estufa e micro-ondas, pois a secagem controlada da estufa e a ação rápida do micro-ondas facilitaram a penetração da água (Dos Santos; Da Silva Filho, 2019).

A higroscopicidade das microcápsulas obtidas nos diferentes experimentos é apresentada na Tabela 4. A análise de variância indicou que o tipo de secagem afetou significativamente este parâmetro ($p < 0,05$). É desejável que alimentos desidratados apresentem baixa higroscopicidade, indicando absorção mínima de água do ambiente, prolongando assim sua vida útil (Nunes; Duarte; Mata, 2009). As microcápsulas desidratadas por IR apresentaram menor higroscopicidade ($p < 0,05$). Esse fato é provavelmente devido à secagem mais lenta obtida neste tratamento. A secagem mais rápida leva ao desenvolvimento de uma estrutura porosa, o que aumenta a capacidade de absorver água (Timaná et al., 2024).

Além disso, maiores temperaturas de secagem resultam em produtos que apresentam maior facilidade em adsorver água (Garcia; Mauro; Kimura, 2007). Este fenômeno está associado ao aumento do gradiente de concentração de água entre as amostras e o ar. Durante a secagem de kuini (*Mangifera odorata* Griff.), por diferentes métodos, Shuen et al. (2021) obtiveram higroscopicidade variando de 18,66% (secagem convectiva) a 22,41% (secagem por atomização).

O índice de absorção de água foi menor para o tratamento do micro-ondas, com diferença significativa para os demais tratamentos ($p < 0,05$). Para a indústria de alimentos, produtos com menores índices de absorção de água são mais desejáveis, evitando aumento da concentração de água dos produtos e assim estendendo a sua vida útil (Fernandes; Borges; Botrel, 2013).

Os valores de índice de absorção de água não foram tão satisfatórios em relação aos resultados de Fernandes et al. (2013) e Nurhidajah et al. (2022), que obtiveram menores de índice de absorção (0,03% a 0,06%) com algas marrons (*Sargassum aquifolium*). Isso aconteceu, pois, a técnica utilizada por eles, o *spray drying*, proporciona partículas menores que as microcápsulas secas deste trabalho, e quanto menor o tamanho delas, melhor as propriedades físicas do pó (Deshmukh; Wagh; Naik, 2016).

Tabela 5 - Resultados obtidos nas análises de densidade aparente, densidade real e porosidade para as microcápsulas de mangaba.

Tratamentos	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Porosidade (%)
IR	0,382 ± 0,01a	1,339 ± 0,20a	73,2a
MO	0,303 ± 0,00b	0,945 ± 0,05b	67,7a
EST	0,296 ± 0,01b	0,927 ± 0,15b	67,4a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). IR: Infravermelho; MO: Micro-ondas; EST: Estufa.

Fonte: os autores (2025).

As propriedades de densidade aparente e densidade real estão apresentadas na Tabela 5, e a ANOVA não indicou diferença estatística significativa entre o micro-ondas e a estufa, mas o infravermelho se diferenciou dos dois tratamentos em ambas as densidades. A densidade aparente foi maior para o infravermelho e menor para estufa, isso se deve ao fato de que as microcápsulas secas pelo IR tinham um menor tamanho em comparação aos demais tratamentos.

Quando se trata de pós, grãos e microcápsulas, a densidade aparente será maior em partículas com tamanhos menores porque ocupam menos espaços, permitindo o armazenamento de uma maior quantidade de produto em uma embalagem pequena. Além disso, microcápsulas de alta densidade são menos suscetíveis à oxidação devido a uma menor disponibilidade de ar próximo, o que é muito benéfico para a indústria de alimentos por serem mais econômicas (Agarry et al., 2023).

De acordo com Venil et al. (2016), um fator fundamental que afeta a densidade aparente é a umidade do produto, ou seja, quanto maior for a umidade do produto, maior será

a umidade aparente. Isso ocorre devido a água ser mais densa em comparação ao material seco.

O peso molecular do agente do material de parede aumenta a densidade aparente das partículas, pois um maior peso molecular facilita a entrada e ocupação do material entre as partículas, aumentando a densidade aparente (Tonon; Brabet; Hubinger, 2010). Esse resultado é demonstrado ao compararmos os valores da densidade aparente das microcápsulas da mangaba revestidas por alginato de sódio, com microcápsulas obtidas de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) com goma arábica por Putri, Nurbaya e Murtini (2021), cujos valores da densidade aparente variaram de 0,68 a 0,74 g/cm³.

A densidade real dos tratamentos foi maior em relação aos respectivos tratamentos da densidade aparente e a ordem do menor para o maior se manteve na densidade real também.

A densidade real aumentou em todos os tratamentos em relação a densidade aparente, o que era esperado, pois a densidade real levou em consideração os volumes dos espaços vazios entre as microcápsulas, dos poros abertos e fechados. Portanto houve a necessidade do uso de uma substância que não interagisse com a amostra, que foi o éter de petróleo (AzoMaterials, 2023).

A porosidade está apresentada na Tabela 5 e não houve diferença significativa entre os tratamentos de acordo com a ANOVA. O infravermelho apresentou uma porosidade maior, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores próximos entre si.

Uma porosidade alta indica a presença de maior espaço vazio entre as microcápsulas, possibilitando mais oxigênio para reações químicas degradantes ocorrerem nas microcápsulas, o que não é benéfico para a indústria de alimentos (Santhalakshmy et al., 2015).

Tonon, Brabet, Hubinger (2010) obtiveram valores altos para a porosidade, variando de 68,33% a 75,49% com seu estudo de pó de F de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Enquanto isso, Bajac et al. (2021), tiveram como resultado uma porosidade de 83,06% com microcápsulas de baga de zimbro (*Juniperus communis* L.) revestidas com alginato de sódio.

A coloração é um atributo importante a ser avaliado, pois está diretamente relacionada com a percepção dos consumidores em relação à qualidade dos frutos (Borges et al., 2022) e seus produtos. Os dados obtidos na análise de coloração para as microcápsulas de mangaba, após diferentes métodos de secagem, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros de coloração das microcápsulas de mangaba.

Tratamento	L*	a*	b*	dE
IR	40,72 ± 2,46a	3,91 ± 0,04b	5,30 ± 0,19b	15,08
MO	41,45 ± 1,63a	4,79 ± 1,01ab	6,22 ± 0,88b	13,92
EST	42,27 ± 0,78a	6,64 ± 0,90a	9,08 ± 0,24a	11,27

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). L*: luminosidade; a*: vermelho (+a*) ao verde (-a*); b*: amarelo (+b*) ao azul (-b*); dE: diferença percebida entre duas cores. IR: Infravermelho; MO: Micro-ondas; EST: Estufa.

Fonte: os autores (2025).

De acordo com a Tabela 6, nenhuma diferença estatística foi observada nos valores de L* ($p > 0,05$). Já os parâmetros a* e b* foram significativamente afetados pelo tipo de secagem ($p \leq 0,05$). Com relação à dE, os maiores valores foram observados para secagem por IR.

Esse comportamento pode ser devido ao maior tempo de processo (760% maior que o MO e 126% maior que EST). O contato intensificado dos compostos sensíveis, como pigmentos, com o oxigênio e o calor ocorre, promovendo assim a oxidação, o que resulta em mudanças de cor.

As microcápsulas tratadas por EST se apresentam “mais amareladas” e “mais avermelhadas” em comparação às demais. Durante seu estudo, os autores Dincer e Temiz (2023) observaram que os parâmetros de cor de microcápsulas de frutos de *Pyracantha coccinea* var (espinheiro de fogo) (concentração de encapsulamento de 15%, maltodextrina e goma arábica 3:2) foram influenciados pelo método de secagem. Os frutos obtiveram valores de L*, a* e b* de 37,91, 22,82 e 37,38, respectivamente, indicando coloração entre vermelho e amarelo, enquanto após a obtenção dos pós por pulverização e liofilização foi observado uma coloração mais clara, de 89,62, 3,02 e 6,71 para L*, a* e b* nos pós obtidos por pulverização e 77,54, 7,05 e 15,75 para L*, a* e b* nos pós obtidos por liofilização, respectivamente.

3.4 - Compostos Bioativos

Os resultados obtidos para as análises de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante e ácido ascórbico das microcápsulas de mangaba, após os diferentes processos de secagem, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados das análises de compostos bioativos nas microcápsulas de mangaba.

Tratamentos	Fenólicos totais (mg EAG/100 g)	Atividade antioxidante (IC50) (µg/mL)	Ácido ascórbico (mg/100 g)
IR	1,677 ± 0,056a	678,053 ± 152,72a	1,96 ± 0,235a
MO	2,698 ± 0,647a	619,639 ± 55,867b	1,41 ± 0,357b
EST	1,806 ± 0,068ab	477,611 ± 78,286ab	1,65 ± 0,410b

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). IR: Infravermelho; MO: Micro-ondas; EST: Estufa.

Fonte: os autores (2025).

Para este fruto, os valores de fenólicos totais variaram entre 0,3 e 440 mg EAG/100 g. (Lima et al., 2015). Estudos feitos por Almeida et al. (2021) obtiveram 4,18 mg EAG/100 g de compostos fenólicos.

De acordo com a Tabela 7, é possível observar valores reduzidos dos compostos fenólicos totais após os processos de desidratação em relação a outros estudos. Estes compostos são suscetíveis à oxidação e hidrólise, e são degradados quando expostos a altas temperaturas, oxigênio e tempos de processo prolongados (Kirca; Özkan; Cemeroğlu, 2007).

A secagem por micro-ondas apresenta como vantagem rapidez de processo, e por isso, geralmente está relacionada à melhor retenção de substâncias sensíveis ao calor e oxigênio, como os compostos fenólicos (An et al., 2016).

Si et al. (2015) estudaram diferentes técnicas de secagem (convectiva, infravermelho, microondas e liofilização) para obtenção de framboesas (*Rubus idaeus*) em pó, e observaram maior retenção de fenólicos nos tratamentos infravermelho-microondas e convectivo (61,42 % e 58,87%, respectivamente), entre as quais não houve diferença significativa.

Si et al. (2015) observaram diferentes valores de DPPH durante a obtenção de pós de framboesa: 50,16 % (infravermelho), 49,38 % (infravermelho-vácuo), e 48,87 %, (convectivo).

O tratamento mais benéfico na preservação dos compostos antioxidantes foi a estufa, pois apresentou o menor valor de IC/50 e valores menores indicam que uma menor

quantidade da substância é suficiente para exercer efeito antioxidante significativo. O micro-ondas devido ao aquecimento muito rápido das microcápsulas, levou a uma maior degradação dos compostos antioxidantes (Morais et al., 2019).

Rufino et al. (2010) obtiveram 890 $\mu\text{g/mL}$ de compostos antioxidantes de mangaba, e em comparação a outros frutos tropicais, os autores encontraram os seguintes valores para compostos antioxidantes em puçá-preto (*Mouriri pusa*) (65,6 $\mu\text{g/mL}$), juçara (*Euterpe edulis*) (70,1 $\mu\text{g/mL}$), açaí (*Euterpe oleracea*) (598 $\mu\text{g/mL}$), acerola (49,2 $\mu\text{g/mL}$) e murici (*Byrsonima crassifolia*) (238 $\mu\text{g/mL}$).

Ao realizar análise de atividade antioxidante de mangaba, Oliveira (2018), obteve resultados 360 $\mu\text{g/mL}$ de compostos oxidantes em meio aquoso e 920 $\mu\text{g/mL}$ em meio hidroalcoólico, indicando o meio alcoólico como mais benéfico para a captura dos compostos antioxidantes, pois mais íons H^+ reagiram com o radical DPPH (Abozed et al., 2014).

O valor de ácido ascórbico nos frutos de mangaba, de acordo com Rufino et al. (2010), foi de 190 mg/100 g, enquanto Silva et al. (2013), encontraram valores mais variados de 80,2 a 431 mg/ 100 g. Em ambos os estudos, as quantidades de ácido ascórbico foram maiores apesar das variações, isso se deve ao fato de que o ácido ascórbico é conhecido por oxidar rapidamente quando exposto ao calor, ar, luz e um pH alcalino (Andrade et al., 2021).

Além de fatores relacionados ao ambiente, o ato de descascar, cortar, armazenamento por longos períodos e congelamento podem causar alterações significativas no teor de ácido ascórbico. Existe também diferença no teor da vitamina C por causa do ácido ascórbico (Paula et al., 2019).

De acordo com Santos e Silva (2008), a degradação de ácido ascórbico é diretamente influenciada pelo tempo de exposição e a temperatura de secagem, o que justifica as perdas significativas para o infravermelho e estufa.

4. Conclusões

O presente trabalho ressaltou diferenças significativas no uso de diferentes tratamentos de secagem nas microcápsulas de mangaba. O modelo de Wang-Singh ajustou os dados de cinética de secagem das microcápsulas de mangaba, apresentando altos valores de R^2 e baixos valores de RMQE e χ^2 , enquanto os modelos menos satisfatórios foram os de Henderson e Pabis e Newton, pois apresentaram valores muito inferiores de R^2 comparados aos outros modelos testados.

O tratamento da estufa apresentou os melhores resultados para as análises físicas de dispersibilidade e porosidade, enquanto o micro-ondas se destacou no índice de absorção de água. As microcápsulas secas no infravermelho apresentaram melhor molhabilidade, higroscopicidade, densidade real e densidade aparente. Para as análises químicas, o infravermelho apresentou maiores níveis de ácido ascórbico, o micro-ondas maior fenólicos totais e estufa maior atividade antioxidante. No geral, mesmo após os diferentes processos térmicos, as microcápsulas de mangaba preservaram uma quantidade de substâncias bioativas.

Portanto, faz-se necessário a realização de mais pesquisas com a microencapsulação de mangaba por gelificação iônica, estudando outros materiais de parede como goma arábica e quitosana, além de otimizar o processo de secagem, para que seja possível utilizar o método de secagem mais benéfico no processamento do fruto e avaliar a quantidade de perdas de compostos bioativos a fim de evitar perdas de substâncias benéficas para a saúde como vitamina C, compostos antioxidantes e compostos fenólicos.

Referências bibliográficas

AzoMaterials. A Full Guide to Powder True Density Analysis. 2023. Disponível em: <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22651>>. Acesso em: 20 maio. 2023.

ABBASPOUR-GILANDEH, Y. et al. Evaluation of the Changes in Thermal, Qualitative, and Antioxidant Properties of Terebinth (*Pistacia atlantica*) Fruit under Different Drying Methods. **Agronomy**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. 1378, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10091378.

ABIOYE, A. O. et al. Modelling the influence of hot air on the drying kinetics of turmeric slices. **Croatian Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 167-175, 2021. DOI: 10.17508/CJFST.2021.13.2.05.

ABOZED, S. S. et al. Total phenolic contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, p. 63–67, 2014. DOI: 10.1016/j.aos.2014.06.009.

AGARRY, I. E. et al. Inulin-whey protein as efficient vehicle carrier system for chlorophyll: Optimization, characterization, and functional food application. **Journal of Food Science**, Chongqing, v. 88, n. 8, p. 3445-3459, 2023. DOI: 10.1111/1750-3841.16703.

ALMEIDA, F. L. C. et al. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) beverage as an alternative wine. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 45, p. e15779, 2021. DOI: 10.1111/jfpp.15779.

ALMEIDA, R. L. J. et al. Mathematical modeling applied to the drying kinetics of black bean starch paste. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e37710111921, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.11921.

AN, K. et al. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 197, p. 1292–1300, 2016. DOI: j.foodchem.2015.11.033.

ANDRADE, F. S. et al. . Degradation kinetics of ascorbic acid from osmotically pre-treated passion fruit mesocarp and the study of its stability. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e47510413112, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13112.

ASGARI, S. et al. Polymeric carriers for enhanced delivery of probiotics. **Advanced Drug Delivery Reviews**, [S. l.], v. 161, p. 1-21, 2020. DOI: 10.1016/j.addr.2020.07.014.

ASOKAPANDIAN, S. et al. Optimization of Foaming Properties and Foam Mat Drying of Muskmelon Using Soy Protein. **Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], v. 39, n. 6, p. 692-701, 2015. DOI: 10.1111/jfpe.12261.

BAE, E. K.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of microencapsulation**, [S. l.], v. 25, n. 8, p. 549–560, 2008. DOI: 10.1080/02652040802075682.

BAJAC, J. et al. Microencapsulation of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L.) by spray drying: microcapsule characterization and release kinetics of the oil. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 125, p. 107430, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.107430.

BARBOZA, T. F. et al. Alimentação saudável: chips de pitaiá obtidos por liofilização e desidratação em estufa. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, [S. l.], v. 17, n. 13, p. e13961, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.13-411.

BELSCAK-CVITANOVIC, A. et al. Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate – chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. **Food Research International**, Misore, v. 44, p. 1094–1101, 2011. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.03.030.

BORGES, P. H. M. et al. Automação de baixo custo na colorimetria de frutas. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 1274-1289, 2022. DOI: 10.34115/basrv6n4-002.

BUREY, P. et al. Hydrocolloid Gel Particles: Formation, Characterization, and Application. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 48, n. 5, p. 361-377, 2008. DOI: 10.1080/10408390701347801. Disponível em: <
http://dx.doi.org/10.1080/10408390701347801>. Acesso em: 28 maio 2025.

CAMPOS, M. G. et al. Infrared Irradiation Drying Impact on Bee Pollen: Case Study on the Phenolic Composition of *Eucalyptus globulus* Labill and *Salix atrocinerea* Brot. Pollens. **Processes**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 890, 2021. DOI: 10.3390/pr9050890. Disponível em: <
https://www.mdpi.com/2227-9717/9/5/890>. Acesso em: 24 maio 2025.

CAPARINO, O. et al. Effect of Drying Methods on the Physical Properties and Microstructures of Mango (Philippine ‘Carabao’ Var.) Powder. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010.

CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600021.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of Spray-Drying Conditions on Physical Properties of Orange Juice Powder. **Drying Technology**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 657-668, 2005. DOI: :10.1081/DRT-200054161.

CHEW, S. C.; TAN, C. P.; NYAM, K. L. Microencapsulation of refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil by spray drying using b-cyclodextrin/gumarabic/sodium caseinate. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 237, p. 78–85, 2018. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.05.016.

CONAB. **Mangaba (fruto)**: conjuntura mensal. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mangaba>. Acesso em: 25 jan. 2018.

ÇELEN, S. et al. Drying behavior of prina (crude olive cake) using different types of dryers. **Drying Technology**, [S. l.], v. 34, n. 7, p. 843-853, 2016. DOI: 10.1080/07373937.2015.1044009.

DANTAS, L. V. B. et al. Avaliação Fitoquímica, quantificação de Fenóis e Flavonóides totais, Atividade antioxidante e antiacetilcolinesterase do extrato etanólico Da *Talísia esculenta* (Pitomba). **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 8, p. 60597–60602, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-467. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15354>>. Acesso em: 24 maio 2025.

DESHMUKH, R.; WAGH, P.; NAIK, J. Solvent evaporation and spray drying technique for micro- and nanospheres/particles preparation: A review. **Drying Technology**, [S. l.], v. 34, n. 15, 1758–1772, 2016. DOI: 10.1080/07373937.2016.1232271.

DINCER, E. I.; TEMIZ, H. Investigation of physicochemical, microstructure and antioxidant properties of firethorn (*Pyracantha coccinea* var. *lalandi*) microcapsules produced by spray-dried and freeze-dried methods. **South African Journal of Botany**, v. 155, p. 340-354, 2023. DOI: 10.1016/j.sajb.2023.02.024.

DING, H. et al. Effects of morphology on the dispersibility of instant whole milk powder. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 276, p. 109841, 2020. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2019.109841.

DOS SANTOS, S. L. M.; DA SILVA FILHO, E. P. Determinação da umidade de solo pelos Métodos Estufa e Forno Micro-Ondas em diferentes texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Sul-Amazônico. **Geografia (Londrina)**, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 41–60, 2019. DOI: 10.5433/2447-1747.2019v28n2p41

EL-MESERY, H. S; ELABD, M. A. Effect of microwave, infrared, and convection hot air on drying kinetics and quality properties of okra pods. **International Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 17, n. 11, p. 909-926, 2021. DOI: 10.1515/ijfe-2021-0125.

EL-MESERY, H. S. et al. Design of low-energy consumption hybrid dryer: A case study of garlic (*Allium sativum*) drying process. **Case Studies in Thermal Engineering**, [S. l.], v. 33, p. 101929, 2022. DOI: 10.1016/j.csite.2022.101929.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 33, p. 171-178, 2013. DOI: 10.1590/S0101-20612013000500025.

FERNANDES, R. V. B. et al. F Microencapsulation of rosemary essential oil: characterization of particles. **Drying Technology**, New York, v. 31, n. 11, p. 1245-1254, 2013. DOI: 10.1080/07373937.2013.785432.

FERREIRA, L. M. M. C. et al. Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds from Tucuma Coproduct (*Astrocaryum vulgare Mart.*) Almonds. **Polymers**, [S. l.], v. 14, n. 14, p. 2095, 2022. DOI: 10.3390/polym14142905.

GARCIA, C. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 82, n. 3, p. 284-291, 2007. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.02.004.

GUO, Q. et al. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, Guangzhou, v. 67, n. 4, p. 236–247, 2017. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.07.007.

HUSIN, A. H. et al. Drying Studies of Oil Palm Decanter Cake for Production of Green Fertilizer. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, [S. l.], v. 97, n. 2, p. 66-79, 2022. DOI: 10.37934/arfmts.97.2.6679.

ISMAIL, O.; KIPCAK, A. S.; DOYMAZ, I. Drying of okra by different drying methods: comparison of drying time, product color quality, energy consumption and rehydration. **Athens Journal of Sciences**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 155-168, 2019. DOI: 10.30958/ajs.6-3-1.

JINAPONG, N.; SUPHANTARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 84, n. 2, p. 194-205, 2008. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032.

KAK, A. et al. Improving the oxygen barrier of microcapsules using cellulose nanofibres. **International Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 56, n. 9, p. 4258-4267, 2021. DOI: 10.1111/ijfs.15013.

KAVEH, M. et al. Impact of different drying methods on the drying time, energy, and quality of green peas. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 45, n. 6, p. e15503, 2021. DOI: 10.1111/jfpp.15503.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIRCA, A.; ÖZKAN, M.; CEMEROĞLU, B. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 101, n. 1, p. 212-218, 2007. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.01.019.

LAO, Y. et al. Efficient plant foods processing based on infrared heating. **Food Reviews International**, Jiangsu, v. 35, n. 7, p. 640-663, 2019. DOI: 10.1080/87559129.2019.1600537.

LIMA, J. P. et al. The antioxidative potential and volatile constituents of mangaba fruit over the storage period. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 194, p. 1-6, 2015. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.05.035.

LOPEZ-QUIROGA, E. et al. Model discrimination for drying and rehydration kinetics of freeze-dried tomatoes. **Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], v. 43, n. 5, p. e13192, 2020. DOI: 10.1111/jfpe.13192.

MapBiomass. (2019). *Project MapBiomass—Collection 4.0 of Brazilian Land Cover & Use Map Series*. <https://mapbiomas.org>.

MARINHO, D. G. et al. The latex obtained from *Hancornia speciosa* Gomes possesses anti-inflammatory activity. **Journal of Ethnopharmacology**, Rio de Janeiro, v. 135, n. 2, p. 530-537, 2011. DOI: 10.1016/j.jep.2011.03.059.

MELO, E. A. et al. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Recife, v. 44, n. 2, p. 193-201, 2008. DOI: /10.1590/S1516-93322008000200005.

MICHALAK, J. et al. Effect of different home-cooking methods on acrylamide formation in pre-prepared croquettes. **Journal of Food Composition and Analysis**, Olzstyn, v. 56, p. 134-139, 2017. DOI: j.jfca.2016.12.006.

MORAIS, D. C. M. et al. Análise de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de casca e polpa de maçã e suas respectivas farinhas. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [S. l.], v. 6, n. Especial, p. 5-9, 2019. DOI: 10.20873/ufc.2359365220196Especialp5

MOTEVALI, A.; HASHEMI, S. J. Investigating the drying parameters of Fijou fruit in a freeze dryer. **Innovative Food Technologies**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 699-713, 2018. DOI: 10.22104/jift.2018.2857.1690.

NUNES, L. S.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. C. Avaliação do comportamento higroscópico de amido de inhame. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 149-158, 2009. DOI: 10.15871/1517-8595/rbpa.v11n2p149-158.

NURHIDAJAH, N. et al. Microencapsulation of Umami Flavor Enhancer from Indonesian Waters Brown Seaweed. **Current Search in Nutrition and Food Science Journal**, [S. l.], v. 10, p. 349-359, 2022. DOI: 10.12944/CRNFSJ.10.1.29.

PAULA, D. A. et al. Use of gelatin and gum arabic for microencapsulation of probiotic cells from *Lactobacillus plantarum* by a dual process combining double emulsification followed by

complex coacervation. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 133, p 722–731, 2019. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.110.

PAULA, L. C. et al. Influence of preservation methods on the bioactivity of mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) from the Brazilian savannah. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 39, n. 3, p. 403-309, 2019. DOI: 10.1590/fst.31917.

PEREIRA A. C. et al. Hancorni aspeciosa Gomes (Apocynaceae) as a potential anti-diabetic drug. **Journal of Ethnopharmacology**, Lausanne, v. 161. n. 23, p. 30-35, 2015. DOI: 10.1016/j.jep.2014.11.050.

PERFEITO, D. G. A. et al. Caracterização de frutos de mangabas (*Hancornia speciosa* GOMES) e estudo de processos de extração da polpa. **Revista de Agricultura Neotropical**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 1–7, 2015. DOI: 10.32404/rean.v2i3.269. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/269>>. Acesso em: 26 maio 2025.

PUTRI W. D. R.; NURBAYA S. R.; MURTINI E. S. Microencapsulation of Betacyanin Extract from Red Dragon Fruit Peel. **Current Research in Nutrition and Food Science**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 953-960, 2021. DOI: 10.12944/CRANFSJ.9.3.22.

RANGANNA, S. Manual of analysis of fruit and vegetable products. N. Delhi: McGraw-Hill, 1977, 634p.

REIS, A. F.; SCHMIELE, M. Characteristics and potentialities of Savanna fruits in the food industry. **Brazilian Journal of Food Technology**. [S. l.], v 22, p. e2017150. DOI: 10.1590/1981-6723.15017.

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Food Science and Technology**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 53-60, 2007. DOI: 10.1590/S0101-20612007000100010.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S. l.], v. 49, p. 65-75, 2018. DOI: 10.1016/j.ifset.2018.08.005.

RUFINO, M. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037.

SAHA, D.; KANJA, S. K.; YADAV, D. N. Shelf-life study of spray-dried groundnut milk powder. **Food Process Engineering**. [S. l.], v. 43, n. 3, p. e13259, 2020. DOI: 10.1111/jfpe.13259.

SANTHALAKSHMY, S. et al. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder, **Powder Technology**, [S. l.], v 274, 2015. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.01.016.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Retention of Vitamin C inDrying Processes of Fruits And Vegetables - A Review. **Drying Technology**, [S. l.], v. 26, n. 12, p. 1421–1437, 2008. DOI: 10.1080/07373930802458911.

SANTOS, P. S. et al. Genetic diversity and the quality of Mangabeira tree fruits (*Hancornia speciosa* Gomes – Apocynaceae), a native species from Brazil. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 226, 372-378, 2017. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.09.008.

SCHOUBBEN, A. et al. Development of a scalable procedure for fine calcium alginate particle preparation. **Chemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 160, p. 363-369, 2010. DOI: 10.1016/j.cej.2010.02.062.

SHUEN, G. W. et al. Effects of drying methods on the physicochemical properties and antioxidant capacity of Kuini powder. **Brazilian Journal of Food Technology**, [S. l.], v. 24, n. 3, 2021. DOI: 10.1590/1981-6723.08620.

SI, X. et al. Effect of infrared drying on the drying characteristics, quality and antioxidant activity of raspberry. **Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 377-390, 2015. DOI: 10.1111/jfpe.12230.

SILVA, M. R. et al. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1790- 1793, 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008000600051.

SILVA, S. A. et al. Caracterização morfológica e molecular de genótipos de mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 1093–1100, 2013. DOI: 10.1590/S0100-29452013000400021.

SILVA, K. F. C. et al. Sacha inchi oil encapsulation: Emulsion and alginate beads characterization. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 116, p. 118-129, 2019. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.05.001.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: **Methods in enzymology**. Academic press, [S. l.], v. 299, p. 152-178, 1999. DOI: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1.

SOARES, D. S. C. et al. Avaliação do tempo de congelamento da mangaba (*Hancornia Speciosa* Gomes) em ultrafreezer através dos modelos matemáticos de Planck e Pham. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 8, n. 4, 2012. DOI: 10.13041/scientiaplena.8.4.1-6. Disponível em: <<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/539/439>>. Acesso em: 26 maio. 2025.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The Phenolic Constituents of *Prunus domestica*. I.—The Quantitative Analysis of Phenolic Constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 10, p. 63-68, 1959. DOI: 10.1002/jsfa.2740100110.

TIMANÁ, R. et al. Effect of different drying methods on the physicochemical characteristics and volatile compound profile of *Pleurotus ostreatus*. **Engenharia Agrícola**, [S. l.], v. 44, n. 2, 2024. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v44e20240026/2024.

OLIVEIRA, A. K. S. Efeito antioxidante e hepatoprotetor de mangaba (*Hancornia speciosa* G.) em modelo de estresse oxidativo induzido por tetracloreto de carbono. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) — Universidade Federal de Pernambuco, São Cristóvão, 2018.

OGUNDELE, O. M.; KAYITESI, E. Influence of infrared heating processing technology on the cooking characteristics and function-ality of African legumes: A review. **Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 56, n. 4, p. 1669-1682, 2019. DOI: 10.1007/s13197-019-03661-5.

TONON, R.V.; BRABET C.; HUBINGER M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, [S. l.], v. 43, n. 3, p. 907-914, 2010. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.12.013.

TSAL, S. R.; HAMBLIM, M. R. Biological effects and medical ap-plications of infrared radiation. **Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology**, [S. l.], v. 170, p. 197-207, 2017. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2017.04.014.

VASCO, C.; RUALES, J. KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 111, p. 816–823, 2008.

VENIL, C. K. et al. A. Microencapsulation of flexirubin-type pigment by spray drying: Characterization and antioxidant activity. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [S. l.], v. 116, p. 350-356, 2016. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.01.014.

VENTURIN, A. C. Z.; SILVA, L. C. Modeling and simulation of paddy drying: a bibliometric analysis. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. e4881658, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i1.658. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/658>>. Acesso em: 26 maio. 2025.

XAVIER, A. C. R. et al. Evaluation of the Viability of Probiotic Microorganisms in Microcapsules with Passion Fruit Pulp Resulting From the Ionic Gelation Process. **Food Science & Nutrition Technology**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 1-8, 2021. DOI: 10.23880/FSNT16000265.

WEN, A. et al. Comprehensive evaluation of physicochemical properties and antioxidant activity of *B. subtilis*-fermented polished adlay subjected to different drying methods. **Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 2124-2133, 2020. DOI: 10.1002/fsn3.1508.

ZUBERNIK J. et al. The impact of the pre-treatment in ethanol solution on the drying kinetics and selected properties of convective dried apples. **International Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 16, n. 1-2, p. 20180338, 2020. DOI: 10.1515/ijfe-2018-0338.