

**Secagem da biomassa de levedura *Rhodotorula glutinis* em camada de espuma**

**Drying of yeast biomass *Rhodotorula glutinis* in foam-mat drying**

**Secado de biomasa de levadura *Rhodotorula glutinis* en la capa de espuma**

Recebido: 19/10/2020 | Revisado: 23/10/2020 | Aceito: 03/11/2020 | Publicado: 06/11/2020

**Williane Silva Pinheiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2393-1743>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [willianepinheiro@live.com](mailto:willianepinheiro@live.com)

**Flávio Luiz Honorato da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1307-3324>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [flavioluizh@yahoo.com.br](mailto:flavioluizh@yahoo.com.br)

**Josilene de Assis Cavalcante**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1179-1576>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [Josy\\_cavalcante@yahoo.com.br](mailto:Josy_cavalcante@yahoo.com.br)

**Sharline Florentino de Melo Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5901-8892>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [sharlinefm@hotmail.com](mailto:sharlinefm@hotmail.com)

**Débora Jamila Nóbrega de Melo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7694-1024>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [deborajamila@gmail.com](mailto:deborajamila@gmail.com)

**Brunno Stefano Oliveira Gadelha**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6386-1471>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [brunno123gadelha@gmail.com](mailto:brunno123gadelha@gmail.com)

**Lucas Vítor de Araújo Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5376-443X>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [lucasvitorjpa@gmail.com](mailto:lucasvitorjpa@gmail.com)

## Resumo

As leveduras, em especial o gênero *Rhodotorula*, tem a capacidade de produzir quantidades consideráveis de compostos de alto valor agregado, como pigmentos carotenoides e lipídeos, além de proteínas. Dessa forma o objetivo desse trabalho foi estudar a secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* para obtenção do pó. Foi avaliada a influência da temperatura, da concentração do espumante e do tempo de agitação no tempo de secagem e na umidade final. Assim como também foi avaliada a caracterização física da espuma: estabilidade; densidade; incorporação de ar e expansão. A produção de biomassa da *Rhodotorula glutinis* (CTT 2182) teve um rendimento médio de 60 g por batelada. Na caracterização física da espuma o tempo de agitação foi responsável pelos melhores resultados para a densidade, expansão volumétrica e incorporação de ar. A estabilidade da espuma foi favorecida pelo aumento da concentração do espumante. Na secagem, a temperatura se apresentou como única variável que teve influência no tempo de secagem. Nas caracterizações físico-químicas do pó da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* foi obtido um rendimento teórico médio para os experimentos do ponto central de 22,36%, um teor médio de ácido ascórbico de 41,36 mg/ 100 g de pó e solubilidade superior a 20% em todas as condições estudadas. Na análise de atividade de água, todos os experimentos obtiveram valores acima de 0,6 assegurando assim a viabilidade do produto produzido. O processo de secagem em camada de espuma da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* mostrou-se viável.

**Palavras-chave:** Processo fermentativo; Atividade de água; Ácido ascórbico.

## Abstract

Yeasts, especially the genus *Rhodotorula*, have the capacity to produce considerable amounts of compounds with high added value, such as carotenoid pigments and lipids, in addition to proteins. Thus, the objective of this work was to study the drying in foam layer (*foam-mat drying*) of the biomass of the yeast *Rhodotorula glutinis* to obtain the powder. The influence of temperature, concentration of sparkling wine and stirring time, drying time and final humidity was evaluated. The physical characterization of the foam was also evaluated: stability; density; air incorporation and expansion. The production of biomass from *Rhodotorula glutinis* (CTT 2182) had an average yield of 60 g per batch. In the physical characterization of the foam, the agitation time was responsible for the best results for density, volumetric expansion and air incorporation. The foam stability was favored by the increase in the concentration of the sparkling wine. In drying, temperature was the only variable that had

an influence on drying time. In the physico-chemical characterizations of the biomass powder of the yeast *Rhodotorula glutinis*, an average theoretical yield was obtained for the experiments of the central point of 22.36%, an average ascorbic acid content of 41.36 mg / 100 g of powder and solubility greater than 20% in all conditions studied. In the analysis of water activity, all experiments obtained values above 0.6, thus ensuring the viability of the product produced. The drying process in foam- mat drying of the biomass of the yeast *Rhodotorula glutinis* proved to be viable.

**Keywords:** Fermentative process; Water activity; Ascorbic acid.

### Resumen

Las levaduras, especialmente el género *Rhodotorula*, tienen la capacidad de producir cantidades considerables de compuestos de alto valor añadido, como pigmentos carotenoides y lípidos, además de proteínas. Así, el objetivo de este trabajo fue estudiar el secado en capa de espuma (secado espuma-esterilla) de la biomasa de la levadura *Rhodotorula glutinis* para la obtención del polvo. Se evaluó la influencia de la temperatura, concentración de vino espumoso y tiempo de agitación, tiempo de secado y humedad final. También se evaluó la caracterización física de la espuma: estabilidad; densidad; Incorporación y expansión de aire. La producción de biomasa de *Rhodotorula glutinis* (CTT 2182) tuvo un rendimiento promedio de 60 g por lote. En la caracterización física de la espuma, el tiempo de agitación fue responsable de los mejores resultados de densidad, expansión volumétrica e incorporación de aire. La estabilidad de la espuma se vio favorecida por el aumento de la concentración del vino espumoso. En el secado, la temperatura fue la única variable que influyó en el tiempo de secado. En las caracterizaciones físico-químicas de la biomasa en polvo de la levadura *Rhodotorula glutinis*, se obtuvo un rendimiento teórico promedio para los experimentos del punto central de 22.36%, un contenido promedio de ácido ascórbico de 41.36 mg / 100 g de polvo y solubilidad superior al 20% en todas las condiciones estudiadas. En el análisis de la actividad del agua, todos los experimentos obtuvieron valores superiores a 0,6, asegurando así la viabilidad del producto elaborado. El proceso de secado en la capa de espuma de la biomasa de levadura *Rhodotorula glutinis* resultó viable.

**Palabras clave:** Proceso fermentativo; Actividad del agua; Ácido ascórbico.

## 1. Introdução

Os microrganismos estão presentes em todas as partes, solo, água, ar, alimentos, insetos e animais, exercendo grandes influências nas atividades humanas. Entre a vasta diversidade de microrganismos, a levedura tem destaque há muitos séculos, sendo usada na fermentação de sucos a base de frutas e para levedar pães, há cerca de 30 mil anos. Dada a diversidade de atividades biológicas, as leveduras se tornaram candidatas promissoras para uma ampla gama de aplicações (Rima et al., 2012; Bortoli, 2013).

O gênero *Rhodotorula* tem sido estudado devido a seu potencial para produção industrial de carotenoides, uma vez que oferece vantagens significativas sobre os outros gêneros: elevada taxa de crescimento e capacidade de utilizar substratos de baixo custo, como aveia, trigo, cevada, milho, caldo ou melaço de cana-de-açúcar, soro do leite, soro de queijo, farinha de feijão hidrolisada, extratos de soja e farinha de milho (Almanza et al., 2014; Malisorn & Suntornsuk, 2008; Aksu & Eren, 2005; Park et al., 2005).

Os carotenoides são pigmentos naturais da classe dos terpenos (tetraterpenoides com 40 átomos de carbono) que apresentam coloração vermelha, amarela e laranja, amplamente encontrados nas frutas, flores, raízes, algas, invertebrados, peixes, aves, bactérias, fungos e leveduras. Na natureza seu papel está associado à fotossíntese, como pigmentos acessórios à clorofila, à polinização, proteção dos tecidos devido as suas propriedades antioxidantes e produção de substâncias voláteis para a atração de polinizadores e defesa da espécie (Lamers et al., 2008).

Os carotenoides também se destacam pela ação na prevenção e no tratamento do envelhecimento celular, inflamações, obesidade, doenças cardiovasculares, catarata e alguns tipos de câncer, especialmente relacionados à sua ação antioxidante no combate aos radicais livres (Pangestuti & Kim, 2011).

Na produção de carotenoides por processos microbiológicos (biotecnológicos), o metabolismo dos microrganismos é intracelular e para a extração dos bioativos se faz necessário à lise das células de leveduras (ruptura ou dissolução da parede celular, que leva à morte da célula e à liberação de seu conteúdo) (Cheng et al., 2016).

A secagem é uma das alternativas para a conservação das células de leveduras lisadas (resíduo do processo fermentativo de produção de bioativos como carotenoides), pois possui a capacidade de reduzir consideravelmente a atividade de água e conseqüentemente a ação microbiológica, prolongando a vida útil do produto.

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) é uma técnica empregada a líquidos e semilíquidos, no qual é produzido uma estável utilizando o processo de batidura e incorporação de ar ou outro gás, através da adição de uma agente espumante, sendo esta submetida a secagem com ar aquecido até uma baixa atividade de água que impeça o crescimento de microrganismos, reações enzimáticas (Pereira et al., 2017).

Dessa forma, pretende-se recuperar a biomassa oriunda do cultivo da *Rhodotorula glutinis* para fins de produção de bioativos, secando-a pelo método em camada de espuma, para futuramente ser utilizada como um suplemento proteico e vitamínico.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Matéria-prima**

Nesse estudo foi utilizada a levedura *Rhodotorula glutinis* (CTT 2182) que foi adquirida da coleção da Fundação André Tosello, em Campinas, São Paulo, Brasil.

### **2.2 Processo de cultivo do microrganismo**

No processo de cultivo, a *R. glutinis* foi previamente tratada em meio YM (Yeast, Malt), composto por 10 g/L de Dextrose, 3 g/L de Extrato de levedura, 3 g/L de Extrato de malte, 5 g/L de Bacto peptona a 25° C e 180 rpm por 48 horas. O cultivo foi realizado em biorreator de bancada de capacidade de 4,0 L, com vazão de aeração de 0,5 vvm. As células de *R. glutinis* foram inoculadas em meio a base de melão de cana (80 g/L), extrato de levedura (3 g/L); MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (0,5 g/L); KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (8,0 g/L) e pH de 6,54, com °Brix de 9,2. Após a fermentação, o meio do cultivo foi centrifugado para obtenção da matéria-prima, a biomassa úmida.

### **2.3 Produção da espuma**

Utilizou-se o agente espumante entrecasca de juá (*Ziziphus joazeiro* Mart) em pó, que é um produto desenvolvido pela equipe de secagem do laboratório de Termodinâmica da UFPB, que têm pedido de depósito de patente registrado sob o números BR 10 2017 023344.

A espuma foi produzida a partir da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* diluída em água destilada, na proporção de 1:2, formando um composto que em seguida foi

homogeneizado e adicionado o agente espumante, foi então batido em batedeira Planetária Deluxe da Arno para a produção da espuma, em velocidade máxima fixada para a realização de todos os experimentos.

## 2.4 Planejamento Experimental Fatorial Completo

A partir dos testes iniciais, foram definidas como variáveis independentes do processo: temperatura de secagem (T); tempo de agitação ( $t_{ag}$ ) para produção da espuma e concentração do espumante (C). E assim foi desenvolvido um planejamento experimental fatorial completo  $2^3$  com três repetições no ponto central, totalizando assim 11 experimentos.

**Tabela 1** – Valores codificados e reais das variáveis independentes.

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	1
Concentração do espumante (%)	10	15	20
Tempo de agitação (min)	4	5	6
Temperatura de secagem (°C)	50	60	70

Fonte: Autores.

Na Tabela 1, estão representadas as variáveis independentes (variáveis de entrada), assim como seus níveis, os quais foram definidos em ensaios preliminares, onde foram utilizados diferentes agentes espumantes em diversos tempo de agitação, com o propósito de definir o mais adequado para o processo de secagem. A temperatura escolhida foi baseada em trabalhos da literatura.

O Objetivo do planejamento experimental é verificar a influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (variáveis de saída) do processo, nesse caso, tempo de secagem e umidade final.

**Tabela 2** – Matriz do planejamento experimental fatorial completo  $2^3 + 3$  pontos centrais.

N° do Experimento	Variáveis independentes		
	C (%)	t <sub>ag</sub> (min)	T (°C)
1	10(-1)	4 (-1)	50 (-1)
2	20(1)	4 (-1)	50 (-1)
3	10 (-1)	6 (1)	50 (-1)
4	20 (1)	6 (1)	50 (-1)
5	10 (-1)	4 (-1)	70 (1)
6	20 (1)	4 (-1)	70 (1)
7	10 (-1)	6 (1)	70 (1)
8	20 (1)	6 (1)	70 (1)
9	15 (0)	5 (0)	60 (0)
10	15 (0)	5 (0)	60 (0)
11	15 (0)	5 (0)	60 (0)

C- Concentração do espumante; tag= Tempo de agitação; T- Temperatura de secagem  
Fonte: Autores.

Na Tabela 2 está apresentada a matriz do planejamento experimental adotado no estudo, e para que a aleatoriedade do planejamento seja cumprida, os experimentos não foram realizados na mesma ordem em que estão dispostos.

Na análise estatística do planejamento experimental foi utilizado o software STATISTICA 7.0. O programa foi utilizado para os cálculos dos efeitos principais, bem como das interações das variáveis independentes do processo sobre as variáveis dependentes (tempo de secagem e umidade final). Utilizou-se também para analisar a influência das variáveis independentes sobre as características físico-química do pó obtido.

## 2.5 Secagem

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) foi feita depois de estabelecidas, experimentalmente, as variáveis do processo: concentração do agente espumante, tempo de agitação e temperatura de secagem. No preparo e secagem da espuma a seguinte metodologia foi adotada: descongelamento, pesagem e diluição da matéria-prima, adição do juá, como

agente espumante. Logo após, agitação em batedeira doméstica, em velocidade máxima de modo a formar uma espuma com características adequadas a secagem; distribuição da espuma em placa de alumínio; de espessura fixada em 0,5 cm, secagem em estufa com circulação de ar, com acompanhamento da perda de água através da pesagem sistemática da placa até alcançar peso constante.

## 2.6 Análises das propriedades da espuma

### 2.6.1 Densidade

A determinação da densidade da espuma foi realizada pela medição da massa e do volume ocupado pela mesma e em temperatura ambiente ( $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Araújo et al., 2017, Brock et al., 2008). O valor da densidade é obtido pela Equação 1:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:  $m$  = massa (g);  $V$  = volume (mL).

### 2.6.2 Porcentagem de expansão da espuma

A expansão de cada espuma foi calculada utilizando os valores encontrados previamente para as densidades da espuma e do composto da *Rhodotorula glutinis*, utilizando a Equação 2, segundo a metodologia de Feitosa et al. (2017):

$$\text{Expansão}(\%) = \frac{\left( \frac{1}{\rho_{\text{espuma}}} - \frac{1}{\rho_{\text{suco}}} \right)}{\frac{1}{\rho_{\text{suco}}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Onde:  $\rho_{\text{espuma}}$  = densidade da espuma ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $\rho_{\text{suco}}$  = densidade do suco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).



### 2.6.3 Estabilidade da espuma

A metodologia utilizada foi a descrita por Sauter & Montoure (1972) e adaptado por Karim & Wai (1999), onde a cada 10 minutos eram medidos o volume de líquido desprendido da espuma.

## 2.7 Caracterização do pó obtido por secagem em camada de espuma

### 2.7.1 Determinação de atividade de água ( $A_w$ )

A atividade de água ( $A_w$ ) foi determinada através de leitura direta da amostra no medidor de água, modelo Novasina, na temperatura 30 °C.

### 2.7.2 Solubilidade

A metodologia utilizada foi baseada nas modificações que Cano-Chauca et al. (2005) realizaram para o método de Eastman & Moore (1984), onde foram adicionados 50 mL de água destilada em 0,5 g do pó, em seguida a mistura foi homogeneizada e centrifugada e uma alíquota de 12,5 mL do sobrenadante foi levada, em placa de Petri, para a estufa a temperatura de 105 °C até toda evaporação do líquido. A determinação da porcentagem de solubilidade foi dada a partir da Equação 3.

$$\text{Solubilidade(\%)} = \frac{(m_{\text{residual}} - m_{\text{tara}}) V_{\text{solução}}}{V_{\text{aliquota}} m_{\text{inicial}}} \quad (3)$$

Onde:  $m_{\text{residual}}$  = massa do sistema após a evaporação (g);  $m_{\text{tara}}$  = massa da placa de Petri vazia (g);  $m_{\text{inicial}}$  = massa inicial de pó que foi diluído (g);  $V_{\text{solução}}$  = volume total da solução (mL);  $V_{\text{aliquota}}$  = volume de sobrenadante adicionados à placa.

### 2.7.3 Ácido ascórbico

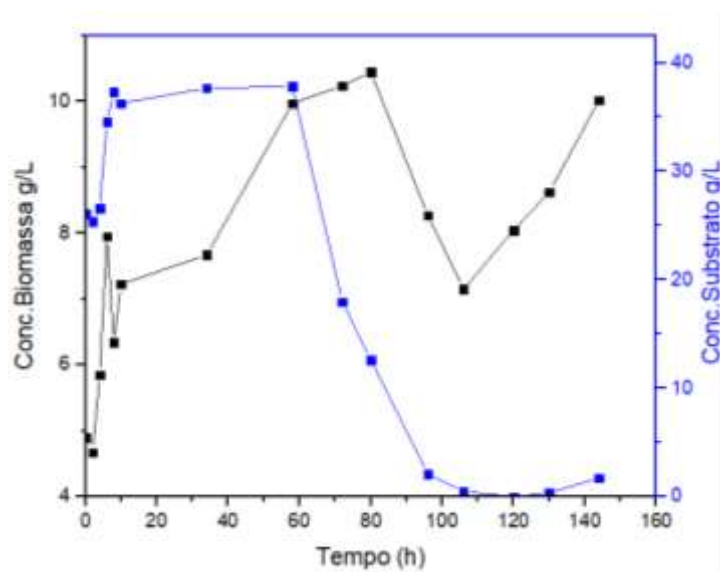
Determinou-se o ácido ascórbico segundo o método da AOAC (1997), modificado por Benassi e Antunes (1988).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Cultivo

Os perfis de crescimento celular e consumo de substrato para a *Rhodotorula glutinis* utilizando melão de cana-de-açúcar como fonte de carbono são mostrados na Figura 1.

**Figura 1** - Perfis de crescimento celular e consumo de substrato para a *Rhodotorula glutinis* utilizando melão de cana-de-açúcar como fonte de carbono.



Fonte: Autores.

Pela Figura 1 foi observado que a fase inicial de crescimento da levedura ocorreu 4 h após o início da fermentação, sendo o ponto máximo correspondente ao tempo de 80 horas, com biomassa produzida equivalente a  $10,45 \text{ g.L}^{-1}$ . Foi verificado uma pequena fase estacionária, durando poucas horas, seguida da fase de declínio acentuada e ao final um pico de crescimento correspondente a biomassa produzida de  $10,05 \text{ g.L}^{-1}$ . Ao final do processo fermentativo o °Brix do substrato correspondeu a 4,16.

Em relação ao consumo de açúcares, a concentração de células no tempo 0 no fermentador foi de  $26,09 \text{ g.L}^{-1}$ . No início da fermentação foi perceptível um aumento na concentração de açúcares, durante o período de adaptação do microrganismo ao meio, isso é devido a transformação de açúcares não redutores em açúcares redutores (AR) durante o período de adaptação do microrganismo.

O cultivo apresentou uma maior taxa de consumo de açúcar a partir de 48 horas do início do processo, correspondendo ao período de maior produção de biomassa. Dessa forma o maior uso da fonte de carbono foi responsável pela maior quantidade de biomassa produzida, assim como a menor taxa de consumo de açúcar originou uma menor produção de biomassa.

Barbosa (2017) aplicou um meio à base de manipueira para produção de biomassa de leveduras. A autora verificou uma produção máxima de biomassa pela *Rhodotorula glutinis* de 3,018 g.L<sup>-1</sup> em 72 h de fermentação, também notou-se uma faixa ótima de crescimento de 28 a 30 °C, faixa de temperatura que também foi observada neste trabalho.

Bhosale & Gadre (2001) estudou a produção de carotenoides pela levedura *Rhodotorula glutinis* em meio formado por melaço de cana suplementado com extrato de levedura. A fermentação foi realizada em biorreator, alcançou uma concentração máxima de biomassa de 0,13 g.L<sup>-1</sup> (em 32 horas).

Dessa forma foi observado que o uso do melaço suplementado com nutrientes possibilitou uma boa produção da biomassa *Rhodotorula glutinis*, quando comparado com os trabalhos supracitados.

### **3.2 Densidade e Expansão da Espuma**

Na Tabela 3 são apresentados os valores das densidades e dos percentuais de expansão das espumas para as condições mínimas, centrais e máximas do planejamento experimental.

**Tabela 3** – Valores das densidades e dos percentuais de expansão das espumas para as condições mínimas, centrais e máximas do planejamento experimental.

Condições	Densidade (g/mL)	Percentual de Expansão (%)
10 % e 4 min (-1)	0,109 ± 0,05	827,8 ± 42,5
15% e 5 min (0)	0,105 ± 0,052	861,7 ± 23,7
20% e 6 min (1)	0,072 ± 0,04	1306 ± 39,05

Fonte: Autores.

Conforme observado na Tabela 3, os maiores valores para a densidade correspondem ao nível mínimo do estudo (10% de espumante e 4 minutos de agitação), e o menor valor corresponde ao ponto máximo do planejamento (20% de espumante e 6 minutos de agitação).

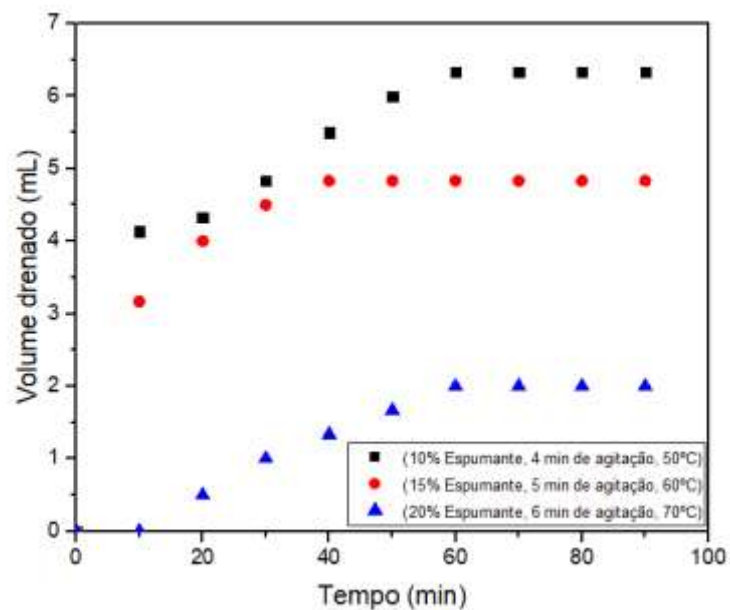
Ao analisar a expansão da espuma, verificou-se que a maior expansão ocorreu para a amostra com maior concentração de espumante e maior tempo de agitação, e o menor valor corresponde á amostra com menor concentração de espumante e menor tempo de agitação, 1306 % e 827,8 %, respectivamente.

### 3.3 Estabilidade da espuma

A estabilidade é influenciada pela densidade, espessura e permeabilidade da interface líquido-agente espumante, pela distribuição do tamanho das bolhas de ar e pela tensão superficial, porém a natureza e concentração do agente utilizado é um dos principais fatores que alteram esta propriedade (Kandasamy et al., 2012).

A análise foi realizada para as condições extremas do planejamento experimental (ponto de máximo, mínimo e central). O comportamento da estabilidade foi avaliado por 90 minutos, como observado na Figura 2.

**Figura 2** - Resultados do teste de estabilidade para os níveis máximo, mínimo e central do planejamento experimental fatorial completo.



Fonte: Autores.

Sabendo que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado, na Figura 2, para o ponto máximo do estudo, Exp. 8 (20% de espuma; 6 minutos de agitação; 70 °C), houve um desprendimento de líquido a partir dos 20 minutos, sendo seu volume máximo de 2 mL de líquido drenado aos 70 minutos e se manteve constante até o final do tempo de análise.

Para as condições centrais do estudo, Exp. 9 (15% de espuma; 5 minutos de agitação; 60 °C), foi observado uma drenagem de aproximadamente 4,5 mL de líquido. Para o nível mínimo do estudo, Exp. 1 (10% de espuma; 4 minutos de agitação; 50 °C), o volume drenado foi o maior dentre os três apresentados, obteve 6,5 mL.

De maneira geral, considera-se o resultado de estabilidade da espuma da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* satisfatório, visto que o maior volume drenado foi de 6,5 mL, nas condições mínimas de produção da espuma e temperatura.

### 3.4. Secagem em camada de espuma

Na Tabela 4 são mostrados os resultados obtidos para a secagem em camada de espuma da biomassa da levedura *R. glutinis*

**Tabela 4** - Resultados finais da secagem em camada de espuma da biomassa da levedura *R. glutinis*.

Experimentos	Variáveis independentes			Variável dependente
	C (%)	t <sub>ag</sub> (min)	T (°C)	t <sub>secagem</sub> (min)
1	10(-1)	4 (-1)	50 (-1)	120
2	20(1)	4 (-1)	50 (-1)	160
3	10 (-1)	6 (1)	50 (-1)	180
4	20 (1)	6 (1)	50 (-1)	180
5	10 (-1)	4 (-1)	70 (1)	100
6	20 (1)	4 (-1)	70 (1)	100
7	10 (-1)	6 (1)	70 (1)	100
8	20 (1)	6 (1)	70 (1)	130
9	15 (0)	5 (0)	60 (0)	140
10	15 (0)	5 (0)	60 (0)	130
11	15 (0)	5 (0)	60 (0)	120

C – concentração; tag – tempo de agitação; T – temperatura;; t<sub>secagem</sub> – tempo de secagem.  
Fonte: Autores.

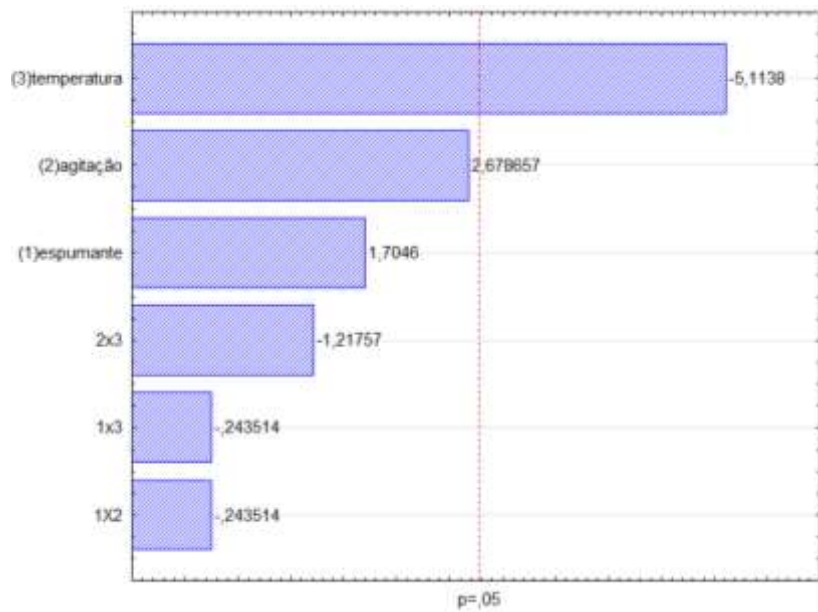
Conforme os resultados apresentados na Tabela 4 foi observado que a variação do tempo de secagem nos experimentos ocorreu de acordo com as temperaturas a que foram submetidas, ou seja, à medida que a temperatura aumenta o tempo de secagem diminui, uma vez que há maior quantidade de calor transferido do ar para o material.

Os experimentos tiveram tempo mínimo de 100 min para os experimentos realizados a 70 °C, e tempo máximo de 180 min para os experimentos realizados a 50 °C.

### 3.5 Análise estatística dos resultados da secagem

O Diagrama de Pareto para o tempo de secagem da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* é mostrado na Figura 3.

**Figura 3** - Diagrama de Pareto para o tempo de secagem da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis*.



Fonte: Autores.

Pela Figura 3 foi verificado que apenas a variável independente temperatura de secagem foi significativa para o processo, a qual exerce uma influência de sinal negativo sobre a variável resposta, ou seja, quanto maior a temperatura, menor será o tempo de secagem.

A partir da análise estatística foi possível gerar um modelo, por intermédio de regressão linear dos dados experimentais do processo, com a variável independente que foi estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Esse modelo pode ser representado pela Equação 4.

$$t_{\text{secagem}} = 132,7273 - 52,500T \quad (4)$$

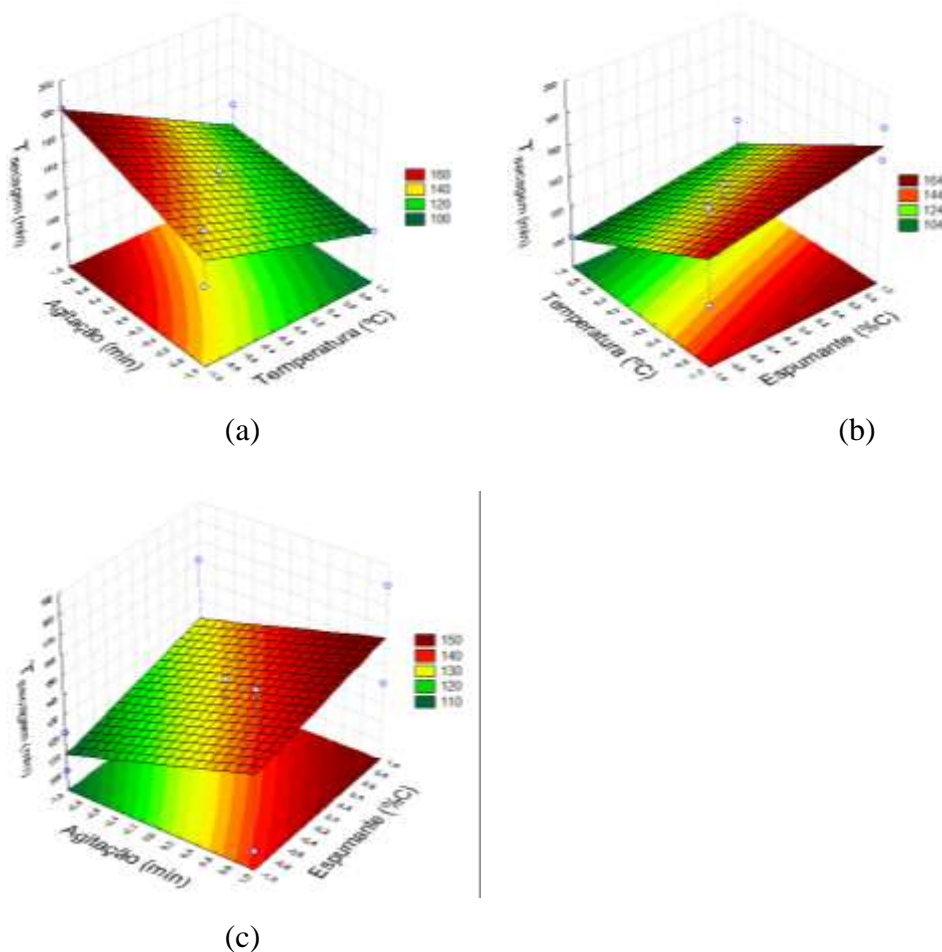
Ao realizar a análise de variância (ANOVA) dos dados para a variável tempo de secagem ( $t_{\text{secagem}}$ ) foi observado que, ao nível de 95% de confiança, o modelo representado pela Equação 5 é estatisticamente significativo. Ainda com base no Teste F foi perceptível que o modelo não apresenta falta de ajuste.

Nas Figuras 4, 5, e 6 são apresentadas as superfícies de resposta que comparam as variáveis independentes do processo em relação a resposta tempo de secagem. Foi possível verificar que a temperatura exerce influência significativa na resposta, de sinal negativo, indicando que quanto maior a temperatura menor o tempo de secagem.

Foi observado que o tempo de agitação não apresentou influência significativa nesta análise, mas para os menores níveis há uma tendência em menores tempos de secagem, enquanto que a concentração do agente espumante não apresentou influência significativa sobre a resposta, mantendo-se praticamente constante ao longo da faixa de trabalho.

A partir da análise das superfícies de resposta, pode-se confirmar o resultado apresentado no diagrama de Pareto (Figura 3) que a variável temperatura foi a única que apresentou influência significativa para o tempo de secagem, e que os maiores níveis de temperatura são obtidos os menores tempos de secagem.

**Figura 4** - Superfícies de resposta para a variável tempo de secagem, mantendo fixo nos níveis médios: a) concentração; b) tempo de agitação; c) temperatura.



Fonte: Autores.



### 3.6 Caracterização do pó

Os resultados do rendimento teórico, da solubilidade em água, do teor de ácido ascórbico e da atividade de água do pó da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Resultados do rendimento teórico, da solubilidade em água, do teor de ácido ascórbico e da atividade de água do pó da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis*.

Experimento	Rendimento (%)	Solubilidade (%)	Ácido ascórbico (mg/100 g)	Aw
1(10%, 4 mim, 50°C)	29,73	27,55 ± 2,75	36,46 ± 6,04	0,398± 0,026
2(20%, 4 mim, 50°C)	22,24	29,96 ± 0,62	36,07 ± 5,78	0,375 ± 0,009
3(10%, 6 mim, 50°C)	14,29	33,09 ± 2,08	54,54 ± 0,24	0,253 ± 0,021
4(20%, 6 mim, 50°C)	17,70	31,08 ± 2,23	36,10 ± 3,84	0,319 ± 0,005
5(10%, 4 mim, 70°C)	28,07	37,22 ± 0,97	36,60 ± 3,64	0,230 ± 0,017
6(20%, 4 mim, 70°C)	34,96	30,37 ± 2,60	42,64 ± 6,93	0,455 ± 0,033
7(10%, 6 mim, 70°C)	25,37	27,70 ± 2,63	42,58 ± 6,81	0,281 ± 0,022
8(20%, 6 mim, 70°C)	16,74	32,44 ± 5,55	42,52 ± 3,62	0,207 ± 0,017
9(15%, 5 mim, 60°C)	24,31	24,88 ± 0,60	48,24 ± 3,48	0,277 ± 0,022
10(15%, 5 mim, 60°C)	22,33	30,82 ± 2,46	42,69 ± 7,00	0,364 ± 0,022
11(15%, 5 mim, 60°C)	20,46	20,51 ± 0,68	36,57 ± 7,07	0,277 ± 0,026

Fonte: Autores.

Pela Tabela 5 foi observado que a produção da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* pela técnica de secagem em camada de espuma apresentou maior rendimento teórico no experimento 6 (20% de espumante; 4 minutos de agitação; 70 °C), e menor valor no

experimento 3 (10% de espumante; 6 minutos de agitação; 50 °C). Seus valores foram 34,96% e 14,29 %, respectivamente.

O maior valor de solubilidade obtido foi de  $37,22 \pm 0,97$  no experimento 5 (10% de espumante; 4 minutos de agitação; 70 °C) e a menor solubilidade foi de  $20,51 \pm 0,68$  no experimento 11 (15% de espumante; 5 minutos de agitação; 60 °C) que representa o ponto central dos experimentos.

Para teor de ácido ascórbico foi observado que o maior valor obtido foi de 54,54 mg/100 g de pó no experimento 3 (10% de espumante; 6 minutos de agitação; 50 °C), que pode ser classificado como um ótimo resultado, tendo em vista que o ácido ascórbico é uma substância que apresenta alta instabilidade, sendo frequentemente utilizado como um índice da qualidade global de nutrientes dos alimentos durante o processamento e armazenamento. (Hiatt; Taylor; Mauer, 2010).

Ainda de acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, para a análise de atividade de água nos pós obtidos por secagem em camada de espuma, foi observado que o menor valor de  $a_w$  foi de  $0,207 \pm 0,012$  no experimento 8 (20% de espumante, 6 minutos de agitação; 70 °C) e o maior de  $a_w$  foi de  $0,455 \pm 0,033$  do experimento 6 (20% de espumante; 4 minutos de agitação; 70 °C). Sendo esses valores de atividade de água para os pós da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* aceitáveis, haja vista que em todos os experimentos realizados foi mantido um teor de  $a_w$  abaixo de 0,6, assegurando que o produto final da secagem está nas condições satisfatórias para conservação e armazenamento (Celestino, 2010).

#### 4. Considerações Finais

A partir dos dados obtidos, pode-se concluir que:

O processo de fermentação da levedura *R. glutinis* com um meio a base de melão de cana, suplementada com nutrientes: extrato de levedura, sulfato de magnésio e fosfato monopotássico, sendo aproximadamente uma batelada por ensaio de secagem, as quais tiveram em média um rendimento de 62 g de biomassa úmida.

As caracterizações físicas da espuma, estabilidade, densidade, percentual de expansão e capacidade de incorporação apresentaram bons resultados técnicos. Dentre as variáveis independentes do processo, o tempo de agitação foi a variável de maior destaque, em particular o nível superior do planejamento experimental, que foi responsável pela menor

densidade, maior expansão volumétrica e maior capacidade de incorporação. A estabilidade da espuma foi favorecida pelo aumento da concentração do agente espumante.

Em relação à secagem, das variáveis do estudo a única que apresentou notável influência sobre os resultados foi a temperatura, sendo que com a elevação da temperatura foi reduzido o tempo de secagem.

Nas caracterizações físicas e físico-químicas do pó da levedura, observou-se que quanto menor o tempo de agitação maior será o rendimento do pó. A solubilidade em água obtida variou de  $20,51 \pm 0,68$  a  $37,22 \pm 0,97$ . A atividade de água do pó apresentou resultados abaixo de 0,6, se mantendo dessa forma na faixa considerada segura para conservação de alimentos. O teor de ácido ascórbico foi em média de 41,36 mg/ 100 g de pó.

Em termos de tempo de secagem, a melhor condição de secagem foi a do experimento 06 (20% do agente espumante; 4 min de agitação; 70 °C), onde o tempo de secagem foi de 100 min e a umidade em base seca de 0,013.

O pó da biomassa da levedura *Rhodotorula glutinis* apresenta muitos aspectos a serem estudados, tendo um grande potencial para pesquisas. A partir deste trabalho sugere-se a continuação da pesquisa, fazendo a caracterização física, química e físico-química.

## Referências

Hernández-Almanza, A., Montanez, J. C., Aguilar-Gonzalez, M. A., Martínez-Ávila, C., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2014). *Rhodotorula glutinis* as source of pigments and metabolites for food industry. *Food Bioscience*, 5, 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.11.007>

Araújo, C. D. S., Macedo, L. L., Vimercati, W. C., Saraiva, S. H., Oliveira, A. D. N., & Teixeira, L. J. Q. (2017). Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15216>

Aksu, Z., & Eren, A. T. (2005). Carotenoids production by the yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: use of agricultural wastes as a carbon source. *Process Biochemistry*, 40 (9), 2985-2991. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.01.011>

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. *Oficial Methods of Analysis*. (1997), Williams, S. (ed) 14.ed. Arlington. 1141 p.

Barbosa, A. F. S. (2017) cultivo de *Rhodotorula glutinis* em manipueira para a produção de suplemento vitamínico e proteico. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal da Bahia-UFBA, Bahia, BA, Brasil. Recuperado de [https://biocienciasims.ufba.br/sites/biocienciasims.ufba.br/files/ana\\_flavia\\_souto\\_barbosa.pdf](https://biocienciasims.ufba.br/sites/biocienciasims.ufba.br/files/ana_flavia_souto_barbosa.pdf)

Benassi, M. D. T., & Antunes, A. J. (1988). A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arq. Biol. Tecnol*, 507-13.

Bhosale, P., & Gadre, R. V. (2001).  $\beta$ -carotene production in sugarcane molasses by a *Rhodotorula glutinis* mutant. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 26(6), 327-332. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000138>

Bortoli, D. A. D. S., dos Santos, F., Stocco, N. M., Orelli Jr, A. A., Ton, A., Neme, F. F., & do Nascimento, D. D. (2013). Leveduras e produção de cervejas-Revisão. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, 31 (3), 2236-9171), 45-58. Recuperado de <http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/77>

Brock, J., Nogueira, M. R., Zakrzewski, C., Corazza, F. C., Corazza, M. L., & Oliveira, J. V. (2008). Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 564-570. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

Celestino, S. M. C. (2010). Princípios de secagem de alimentos. *Embrapa cerrados-documentos (infoteca-e)*.

Cheng, Y. T., & Yang, C. F. (2016). Usando a cepa *Rhodotorula mucilaginosa* para produzir carotenóides a partir de resíduos alimentares. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61, 270-275. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.12.027>

Eastman, J. E., & Moore, C. O. (1984). Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702.

Feitosa, R. M., Figueirêdo, R. M. F., Queiroz, A. J. M., Lima, F. C. S., & Oliveira, E. N. A. (2017). Drying and characterization of myrtle pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(12), 858-864. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p858-864>

Rima, H., Steve, L., & Ismail, F. (2012). Propriedades antimicrobianas e probióticas das leveduras: das aplicações fundamentais às novas. *Fronteiras em microbiologia*, 3, 421. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00421>

Hiatt, A. N., Taylor, L. S., & Mauer, L. J. (2010). Influence of simultaneous variations in temperature and relative humidity on chemical stability of two vitamin C forms and implications for shelf life models. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(6), 3532-3540. doi:10.1021/jf903342f

Abd Karim, A., & Wai, C. C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry*, 64(3), 337-343. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00119-8)

Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S., & Ranabir, M. (2012). Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 5(5), 374-387. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.07.002>

Malisorn, C., & Suntornsuk, W. (2008). Otimização da produção de  $\beta$ -caroteno por *Rhodotorula glutinis* DM28 em salmoura fermentada de rabanete. *Bioresource Technology*, 99 (7), 2281-2287. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.019>

Pangestuti, R., & Kim, S. K. (2011). Biological activities and health benefit effects of natural pigments derived from marine algae. *Journal of functional foods*, 3(4), 255-266. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.07.001>

Park, P. K., Cho, D. H., Kim, E. Y., & Chu, K. H. (2005). Optimization of carotenoid production by *Rhodotorula glutinis* using statistical experimental design. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(4), 429-434. doi: 10.1007/s11274-004-1891-3

Perreira, T. S., Pinheiro, W. S., Negreiros, J. K. S., Sousa, C. C., Cavalcante, J. A. (2017). Caracterização de clara de ovo e do seu pó obtido por secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 19(2), 167-175. Recuperado de <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev192/rev1926.pdf>

Sauter, E. A., Montoure, J. E. (1972). The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. *Journal of Food Science*, 37(6), 918-920. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03703.x>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Williane Silva Pinheiro – 14,2%

Flávio Luiz Honorato da Silva – 14,2%

Josilene de Assis Cavalcante – 14,2%

Sharline Florentino de Melo Santos – 14,2%

Débora Jamila Nóbrega de Melo – 14,2%

Brunno Stefano Oliveira Gadelha – 14,2%

Lucas Vítor de Araújo Santos – 14,2%