

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

GENIELLEN MARIA PAIVA COSTA DE MELO

**OBTENÇÃO DA LEVEDURA *Saccharomyces cerevisiae* EM PÓ PELO
MÉTODO DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA**

JOÃO PESSOA – PB

2025

GENIELLEN MARIA PAIVA COSTA DE MELO

**OBTENÇÃO DA LEVEDURA *Saccharomyces cerevisiae* EM PÓ PELO MÉTODO DA
SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

JOÃO PESSOA – PB

2025

GENIELLEN MARIA PAIVA COSTA DE MELO

**OBTENÇÃO DA LEVEDURA *Saccharomyces cerevisiae* EM PÓ PELO
MÉTODO DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOSILENE DE ASSIS CAVALCANTE
Data: 26/02/2025 10:38:57-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante - PPGEQ/CT/UFPB
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
gov.br
FLÁVIO LUIZ HONORATO DA SILVA
Data: 26/02/2025 19:22:12-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva - PPGEQ/CT/UFPB
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
SHARLINE FLORENTINO DE MELO SANTOS
Data: 26/02/2025 11:02:08-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Profa. Dra. Sharline Florentino de Melo Santos - PPGEQ/CT/UFPB
(Examinadora Interna)

Documento assinado digitalmente
gov.br
RAIMUNDA VALDENICE DA SILVA FREITAS
Data: 26/02/2025 14:03:34-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Dra. Raimunda Valdenice da Silva Freitas – Pós-Doc CNPQ/UFPB
(Examinadora Externa)

M528o Melo, Geniellen Maria Paiva Costa de.

Obtenção da levedura *Saccharomyces cerevisiae* em pó
pelo método da secagem em camada de espuma / Geniellen
Maria Paiva Costa de Melo. - João Pessoa, 2025.

69 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.

Coorientação: Flávio Luiz Honorato da Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Resíduos industriais.
2. Processos fermentativos.
3. Suplementação nutricional. I. Cavalcante, Josilene
de Assis. II. Silva, Flávio Luiz Honorato da. III.
Título.

UFPB/BC

CDU 628.4.034 (043)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, por suas bênçãos e proteção. Por iluminar o meu caminho para seguir adiante.

Aos meus pais, Célio e Suzane, por me apoiar em todas as minhas escolhas e necessidades. Obrigada pelo amor, educação, cuidado, paciência e carinho que me deram em todos os momentos da minha vida.

A minha querida irmã Hérica e aos meus sobrinhos Célio Neto e Arthur Filho, pelo amparo e apoio nos momentos difíceis e que, mesmo sem perceberem, trazem mais luz pra minha vida, tornando meus dias mais felizes.

Ao meu companheiro, José Alberto por todo amor, carinho e compreensão.

À minha orientadora, Professora Josilene de Assis Cavalcante, por toda sua orientação durante a graduação e no mestrado. Pela paciência e dedicação com a qual me orientou, por todas as discussões e conselhos que serviram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Professor Flávio Luiz Honorato da Silva e aos professores das bancas de qualificação e defesa por participarem da banca de defesa da dissertação e por todas as sugestões de melhoria deste trabalho.

A Thiago e a Aquiles, e a todos que compõem o Engenho Triunfo e o Vitória, respectivamente por toda parceria.

Aos amigos e companheiros de pós-graduação Camila, Giovanna e Alan pela ajuda e grande parceria, pelo apoio nos momentos de desânimo e pelos grandes momentos de descontração e bate papos.

Aos amigos do laboratório de Bioengenharia e Termodinâmica, Gabriel, Sabryna e Larissa pela ajuda nas análises.

Aos funcionários do PPGEQ, LABTERMO, e LABIO pela disponibilidade e atenção.

A UFPB e CAPES pela oportunidade e a todos muito obrigada!

É preciso força pra sonhar e perceber que a estrada vai além do que se vê
Los Hermanos

RESUMO

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é uma importante matéria-prima na indústria alimentícia e de bebidas, gerando grandes quantidades de biomassa residual. Com o objetivo de agregar valor a esse resíduo, o presente trabalho propõe a utilização da técnica de secagem em camada de espuma para produzir pó de levedura a partir da biomassa descartada da fermentação da cachaça. O trabalho também visa avaliar as características físico-químicas do pó de levedura obtido por essa técnica. A produção da espuma seguiu um planejamento experimental fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais avaliou a influência da diluição da biomassa, concentração do agente espumante Portogel® e tempo de agitação na caracterização física da espuma. Os resultados indicaram que a combinação ótima para obter uma espuma estável e de alta qualidade é: diluição de $1/2$ relação m/m, concentração do espumante de 20% e tempo de agitação de 16 minutos. Sob essas condições, a espuma apresentou excelentes propriedades, incluindo incorporação de ar de 283%, densidade de 0,232 g/cm³ e estabilidade excelente, sem colapso após 2 horas. Além disso, foi observada uma relação inversa entre a densidade da espuma e a incorporação de ar, sugerindo que espumas mais leves e porosas tendem a ser mais estáveis. Para a secagem foi traçado um novo planejamento experimental fatorial $2^2 + 2$ pontos centrais, fixando a diluição máxima de 1:2 e o tempo de agitação em 16 minutos, sendo a concentração do agente espumante e a temperatura de secagem as variáveis de entrada e o tempo de secagem e umidade final as variáveis de resposta. Os experimentos realizados evidenciaram que a temperatura é o principal fator que influencia a cinética de secagem do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Foram realizados testes físico-químicos abrangentes para caracterizar o pó obtido após a secagem, incluindo análises de umidade, sólidos solúveis, atividade de água, pH, teor de cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos, granulometria e rendimento do processo. Os resultados mostraram que o material apresentou baixa umidade de 7,06% e atividade de água de 0,195 para a temperatura de 45°C, indicando estabilidade para armazenamento prolongado, teor médio de 13% de proteínas, 12% de lipídeos e 38% de carboidratos sugerindo potencial como suplemento nutricional para animais e alto teor de cinzas (20%), indicando presença de sais minerais essenciais para a dieta animal. A análise granulométrica classificou o pó da levedura como ultrafino. Os resultados alcançados definem um novo paradigma para o uso da biomassa de levedura em processos de secagem e criam perspectivas promissoras para aplicações como Suplementação nutricional animal.

Palavras-chave: Processos fermentativos; Resíduos industriais; Suplementação nutricional.

ABSTRACT

The yeast *Saccharomyces cerevisiae* is an important raw material in the food and beverage industry, generating large amounts of residual biomass. In order to add value to this residue, this study proposes the use of the foam layer drying technique to produce yeast powder from biomass discarded from the fermentation of cachaça. This technique employs thickening and stabilizing agents to form a stable foam that resists dehydration under increasing temperature. The study also aims to evaluate the physicochemical characteristics of the yeast powder obtained by this technique. The foam production followed a $2^3 + 3$ central points factorial experimental design that evaluated the influence of biomass dilution, foaming agent concentration (Porto gel) and agitation time on the physical characterization of the foam. The results indicated that the optimal combination to obtain a stable and high-quality foam is: $\frac{1}{2}$ dilution, 20% foaming agent concentration and agitation time of 16 minutes. Under these conditions, the foam showed excellent properties, including air entrainment of 283%, density of 0.232 g/cm^3 and excellent stability, with no collapse after 2 hours. Furthermore, an inverse relationship was observed between foam density and air entrainment, suggesting that lighter and more porous foams tend to be more stable. For powder production, since dilution is a crucial factor in foam production, a new $2^2 + 2$ central points factorial experimental design was designed, setting the maximum dilution at 1:2 and the agitation time at 16 minutes, with the foaming agent concentration and drying temperature as inputs variables and the drying time and final moisture content as response variables. The experiments performed showed that temperature is the main factor influencing the drying kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* yeast powder. Comprehensive physical-chemical tests were performed to characterize the powder obtained after drying, including analyses of moisture, soluble solids, water activity, pH, ash content, lipids, proteins, carbohydrates, granulometry and process yield. The results showed that the material presented low moisture content of 7.06% and water activity of 0.195 at a temperature of 45°C, indicating stability for prolonged storage, average content of 13% proteins, 12% lipids and 38% carbohydrates suggesting potential as a nutritional supplement for animals and high ash content (20%), indicating the presence of mineral salts and vitamins essential for animal diet. The granulometric analysis classified the yeast powder as ultrafine. The results achieved define a new paradigm for the use of yeast biomass in drying processes and create promising perspectives for applications such as animals nutritional supplementation.

Keywords: Fermentation processes; Industrial waste; Nutritional supplementation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVOS GERAIS	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1	LEVEDURA <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	22
3.2	UTILIZAÇÃO DA <i>Saccharomyces cerevisiae</i> COMO FONTE NUTRIENTES	23
3.3	AGENTES ESPUMANTES	24
3.4	SECAGEM	25
3.4.1	Secagem em camada de espuma	26
3.4.2	Cinética de secagem	27
4	METODOLOGIA	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

A cachaça desempenha um papel fundamental na economia, sociedade e cultura brasileira (LIZ et al., 2016). A cachaça é uma bebida incontestavelmente brasileira, destacando-se como uma das mais produzidas e consumidas no país, ficando apenas atrás da cerveja em termos de consumo nacional (IBRAC, 2022). Sua reputação evoluiu ao longo dos anos, passando a ser considerada um produto de alta qualidade, comparável aos mais refinados destilados globais, como uísque e vodca (ALCARDE, 2014). Atualmente, a cachaça atende a uma ampla gama de consumidores, tanto no mercado interno quanto no exterior, onde é exportada para diversos países (STECH; PANDOLFI, 2019). De acordo com a Instrução Normativa nº 13 do MAPA, a cachaça é definida como uma bebida típica brasileira, produzida a partir da aguardente de cana, resultante da destilação do mosto fermentado da cana-de-açúcar. Caracteriza-se por apresentar características sensoriais únicas e um teor alcoólico entre 38% e 48%, com a possibilidade de adicionar até 6g/l de açúcares, expressos em sacarose (BRASIL, 2005).

O Brasil é considerado como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (CONAB, 2024). A Paraíba concluiu a safra 2023/2024 com 7,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar moídas (CONAB, 2024). De acordo com a Ibrac (2024), o Brasil produz anualmente cerca de 800 milhões de litros de cachaça, tendo como principais produtores São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e Paraíba. Sendo a Paraíba responsável pela produção de 25 milhões de litros de Cachaça. Esse crescimento está relacionado ao aumento de área colhida e consequentemente uma maior produção impulsionando a expansão do setor sucroalcooleiro. Nesse contexto, surge a preocupação na indústria sucroalcooleira sobre a utilização dos seus subprodutos e resíduos dentre eles o bagaço, a vinhaça, o óleo fúsel, o melaço e a levedura.

Segundo Weetman (2019), o conceito de economia circular integra desenvolvimento econômico e uso sustentável de recursos, por meio de inovações tecnológicas, modelos de negócio colaborativos e uma abordagem mais circular. Seu objetivo é minimizar o desperdício, promover a reutilização e manter materiais, produtos e subprodutos e resíduos em circulação por mais tempo, gerando benefícios socioeconômicos e ambientais.

De acordo com PACHECO (2010), as leveduras são os microrganismos mais relevantes na indústria sucroalcooleira, sendo o gênero *Saccharomyces* um dos grupos mais amplamente estudados pela comunidade científica. Nas plantas industriais, a conversão dos açúcares em etanol é realizada pela ação das leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, um processo denominado fermentação alcóolica (MADALENO et al., 2016). No entanto, apesar

sucessivos ciclos de fermentação, a levedura perde suas características originais, tornando necessário seu descarte (HELLBORG; PISKUR, 2009).

A biomassa de levedura representa, assim, um dos principais resíduos do processo de fermentação. A levedura residual possui em sua composição, quantidades significativas de compostos nitrogenados, proteínas e carboidratos, que viabilizam o seu reaproveitamento para outras atividades (RECH et al., 2017).

Diante do seu valor nutricional e visando conter o excedente e reduzir as perdas com as leveduras que são descartadas por se depositarem ao fundo da dorna, algumas indústrias foram em busca de novas tecnologias para fazer desse coproduto da fermentação, um produto para ser comercializado (SANTOS, 2009).

Vários estudos vêm sendo desenvolvidos ao longo de muitos anos para que se pudesse chegar na melhor forma de aproveitamento das leveduras residuais. Dentre os processos empregados temos a secagem para obtenção do extrato de leveduras secas.

Entre os tipos de secagem, tem-se a secagem em camada de espuma que é uma técnica na qual os alimentos líquidos podem ser transformados em pó utilizando agentes emulsificantes, com vantagens de ser mais simples, secagem mais rápida, custo operacional menor, possibilita o uso de temperaturas mais baixas durante a secagem, preservando melhor o sabor e o valor nutricional (MARQUES, 2009).

A secagem tem como objetivo conservar as leveduras através da redução da atividade de água com o propósito de inibir o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis ao produto. Esta redução deve ser realizada até o ponto onde não venha comprometer a qualidade nutricional do produto, ou seja, uma desnaturação proteica.

Este processo é tradicionalmente utilizado para preservação de alimentos pois diminui a disponibilidade de água (atividade de água) para reações de deterioração, aumenta a estabilidade e reduz o volume. Combinando a economia de volume e massa no transporte e no armazenamento em razão da compactação e da leveza, com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química permitindo que o produto tenha maior durabilidade. Também agrupa valor ao produto e origina uma nova opção para o mercado (MELO et al., 2013).

Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar o processo de secagem da levedura *Saccharomyces cerevisiae* pelo método de secagem em camada de espuma para a avaliação das suas características físicas e químicas bem como sua qualidade nutricional para posterior aproveitamento em ração animal.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Obter o pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae* pelo método de secagem em camada de espuma realizar análises físicas e químicas do pó obtido para futuro uso como suplemento proteico e vitamínico em ração animal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir parâmetros operacionais para produção da espuma e secagem da mesma;
- Realizar a caracterização física da espuma a partir de um planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais (11 experimentos); e avaliar a influência das variáveis de entrada (concentração de emulsificante; temperatura de secagem; tempo de agitação);
- Estudar a cinética de secagem da levedura, em leito de espuma, baseado no planejamento experimental fatorial completo $2^2 + 2$ pontos centrais (6 experimentos) e avaliar a influência das variáveis de entrada (concentração de emulsificante e temperatura de secagem) sobre a resposta (tempo de secagem; umidade final em base seca);
- Realizar caracterizações físico-químicas e físicas do pó obtido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LEVEDURAS *Saccharomyces cerevisiae*

As leveduras *Saccharomyces cerevisiae* são microrganismos unicelulares e eucariontes, pertencentes ao Reino Fungi que metabolizam matéria orgânica para obter energia, processo que é denominado de fermentação e se reproduzem por bipartição ou gemulação (NITZKE e BIEDRZYCKI, 2019). Esses organismos aclorofilados podem sobreviver em ambientes com ou sem oxigênio, apresentando uma rápida reprodução em meios ricos em oxigênio (TORTORA, FUNKE e CASE, 2012; BONATO et al., 2015).

Em termos de morfologia, elas apresentam formatos variados, incluindo oval, arredondado e elíptico, dependendo do processo reprodutivo, condições de cultivo e idade da cultura. Seu tamanho varia de 5-16 µm de comprimento e 3-7 µm de largura (AMORIM, 2005; CARVALHO et. al., 2006; BONATO et al., 2015). Esses microrganismos possuem elevada velocidade de crescimento, e possibilidade de serem cultivados em diversos tipos de substratos (ROCHA, 2002).

A *Saccharomyces cerevisiae*, apresentam elevado teor em proteína (30% a 70%), os produtos de levedura são ricos em vitaminas do complexo B (B1, B2, B6, ácido pantotênico, niacina, ácido fólico e biotina), e minerais, em macro e microelementos, particularmente selênio e fibra dietética, representados por carboidratos da parede celular, principalmente mananas e glicanas (YAMADA et. al., 2003).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é amplamente utilizada na indústria de alimentos e bebidas em duas formas principais. Em sua forma ativa, é empregada na produção de pão, fermentação alcoólica e outros processos fermentativos (PEIXOTO, 1996). Já em sua forma inativa, devido à sua riqueza em proteínas, peptídeos e aminoácidos digestíveis, as leveduras podem ser utilizadas como uma alternativa às fontes proteicas de origem animal nas dietas (CRAIG; McLEAN, 2005; LYONS, 2007; EUSEBIO; TORERO, 2007). Além disso, elas podem atuar como palatabilizantes da ração, devido à presença do glutamato em sua composição (TIBBETS, 2000). Adicionalmente, o extrato de levedura é uma fonte de inositol, substância essencial para o funcionamento adequado dos nervos, do cérebro e dos músculos do organismo (D'SOUZA; FRIO, 2007).

3.2 UTILIZAÇÃO DA *Saccharomyces cerevisiae* COMO FONTE NUTRIENTES

Os constantes aumentos nos preços de grãos de cereais e suplementos proteicos vegetais utilizados na alimentação animal têm despertado grande interesse pela utilização de alimentos não convencionais na indústria animal brasileira. Dentre os produtos que podem substituir os suplementos proteicos convencionais, destacam-se os microrganismos, como algas, bactérias, fungos e leveduras, que são considerados fontes de proteína unicelular. O interesse pela utilização desses microrganismos na alimentação animal deve-se à sua alta velocidade de crescimento, capacidade de cultivo em substratos variados e de baixo custo, além de seu elevado teor proteico (VIEIRA, 2016).

O uso de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* na alimentação animal é muito antigo. Encontra-se na literatura trabalhos do início do século passado sobre a adição deste produto em ração de animais domésticos. A levedura inativada, pela ação do calor, é usada como fonte de nutrientes, tanto na forma de levedura íntegra ou de derivados de levedura (DZIEZAK, 1987).

A adição de leveduras em suplemento nutricional é principalmente devido à sua composição nutricional rica, que inclui: proteínas (30% a 70%) vitaminas do complexo B (B, niacina, ácido pantotênico, ácido fólico e biotina), minerais (macro elementos como Ca, Mg, K, Na, Al e Fe, e microelementos como Mn, Cu, B, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb, Si e Se) e carboidratos (25-35%) (SANTUCCI et al., 2003).

A composição das leveduras pode variar significativamente em função de diversos fatores, incluindo a natureza da biomassa utilizada, o grau de aeração do meio de cultura, a espécie de levedura empregada, o tratamento imposto ao meio de cultura, a concentração de sais e tampões que otimizam a fermentação, e o processamento utilizado para beneficiar os produtos, como o método de secagem (BAPTISTA, 2001).

As destilarias brasileiras aumentaram a produção de levedura de cana-de-açúcar nos últimos anos, favorecendo a inclusão de novas fontes de proteína na ração animal e abriu a oportunidade para o setor sucroalcooleiro (FREITAS et al., 2015).

Existe uma demanda crescente para a comercialização da levedura seca, considerada um produto de excelente valor nutricional, uma vez que é uma das fontes mais seguras de proteína para rações animais. O processo de secagem foi a técnica que permitiu agregar valor nutricional a esse produto, mantendo os nutrientes e possibilitando o abastecimento tanto do mercado interno quanto do externo (ICON TECH, 2009).

O aproveitamento da biomassa da levedura pode ser realizado de forma integral (ativa e inativa) ou apenas alguns dos seus componentes, como produtos derivados da parede

celular e do conteúdo celular. Na forma inativa, as leveduras se caracterizam pelo seu valor nutricional, com teor de proteína bruta variando de 30,8% a 70%, e alta concentração de vitaminas do complexo B. Além disso, para que a levedura possa apresentar um bom valor nutricional como fonte proteica, é necessário que tenha um bom perfil de aminoácidos (COSTA, 2004). As dietas devem conter quantidades adequadas de proteínas, carboidratos e minerais, sendo que a quantidade de cada ingrediente depende de vários fatores, incluindo os requerimentos da espécie em estudo, a palatabilidade do ingrediente, custo, disponibilidade e qualidade deste (COLDEBELLA, 2002).

Vários estudos investigaram a secagem de leveduras para uso como suplemento proteico na alimentação animal, destacando suas propriedades nutricionais e custo-efetividade. Pádua (1996) verificou na piscicultura a utilização de leveduras e seus derivados apresentaram resultados positivos como substitutos da farinha de peixe. Sá (2002) estudou a cinética de secagem da *Saccharomyces cerevisiae* para uso como fonte proteica; Ollé et al. (2017) exploraram sobre a suplementação com leveduras na alimentação de bovinos; Santos (2023) trabalhou com a obtenção da levedura seca através do método *Spray –Dryer* e Melo (2010) estudou sobre a secagem de biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) em um secador atmosférico condutivo com agitação mecânica para complementação nutricional.

3.3 AGENTES ESPUMANTES

As espumas podem ser definidas como uma fase gasosa (ar) dispersa em uma fase contínua aquosa, sendo que estas pequenas bolhas de ar dispersas na matriz garantem que o alimento possua propriedades sensoriais singulares e muito desejadas. Os agentes tensoativos principais que auxiliam na formação e na estabilização da fase dispersa gasosa, são as proteínas (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010; LAJOLO; MERCADANTE, 2017).

De forma geral, ao realizar o batimento ou a agitação de uma solução proteica, obtém-se uma espuma estabilizada por proteínas. Essa propriedade das proteínas decorre de sua capacidade de formar uma película fina e resistente entre o gás e o líquido, reduzindo a tensão superficial entre as interfaces e permitindo a incorporação de grandes quantidades de bolhas à matriz (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

No entanto, muitos alimentos não possuem propriedades espumantes e não formam espumas estáveis, mesmo após agitação mecânica ou injeção de gás. Portanto, o emprego de agentes espumantes e estabilizantes é fundamental para a formação de espumas estáveis. Um bom agente espumante ajuda a formar uma película forte, viscoelástica e coesiva entre o gás e

o líquido, promovendo excelente estabilidade térmica e mecânica. Já os estabilizantes permitem que a espuma mantenha sua estrutura por mais tempo e retardam a coalescência (SANGAMITHRA et al., 2014).

Segundo FIGUEIREDO (1999), três fenômenos podem ocorrer simultaneamente a partir do momento de formação de uma espuma: rearranjo das células, devido à difusão de gás entre as bolhas; drenagem do líquido intralamelar pelos filmes, levando ao afinamento do filme; e ruptura da célula. O conjunto desses três fenômenos define o tempo de vida útil de uma espuma, que pode ser medido pela variação de volume da mesma ao longo do tempo.

O avanço desses fenômenos determina o tempo de vida da espuma. Dessa forma, um critério eficaz para avaliar a estabilidade da espuma é medir o tempo necessário para que ocorra algum evento significativo, como o tempo decorrido desde a formação até a ruptura total das bolhas. Diante disso, obtém-se o tempo de vida da espuma, que é determinado por dois fenômenos principais: o afinamento e o colapso dos filmes (FIGUEIREDO, 1999).

O Porto gel é uma mistura estabilizante para fins alimentícios que apresenta na sua composição água, propileno glicol e emulsificantes (monoglicerídeos destilados, éster de poliglicerol e estearato de potássio). Os emulsificantes são substâncias, em sua maioria, derivadas de gorduras ou ácidos graxos – mais conhecidos como “ácidos gordos” – capazes de modificar as propriedades de superfícies sólidas ou líquidas. São responsáveis por aumentar a aeração dos produtos, melhorar a qualidade e a consistência dos produtos e incorporar ar as massas.

3.4 SECAGEM

A secagem é uma das técnicas de conservação mais antigas, e baseia-se na retirada de água de um produto por evaporação ou sublimação, através da aplicação de calor em condições controladas (FERREIRA et al., 2024; BALBAY et al., 2011).

A secagem é uma operação unitária que se baseia na remoção de parte da água de um alimento pela aplicação de calor sob condições controladas. Esta operação tem como principal objetivo prolongar a vida útil de alimentos, por meio da redução da umidade e da atividade de água. Isso permite que ocorra a redução do crescimento microbiano e das taxas de reações químicas e/ou enzimáticas, diminuindo também, a deterioração do produto durante o período de armazenamento e comercialização (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2006; FOUST et al., 2011).

Na secagem ocorrem dois processos simultâneos: a transferência de calor, que ocorre para evaporar o líquido presente no sólido, e a transferência de massa, que pode ocorrer na

forma de líquido ou vapor no interior e na forma de vapor a partir da superfície do sólido (CAVALCANTE, 2003; SILVA, 2008; CELESTINO, 2010). Os fatores que governam esse mecanismo de transferência determinam a taxa de secagem. Os principais fatores são as condições psicrométricas, a velocidade do ar de secagem, o tempo de residência e a condição do produto e suas características (BOEIRA, STRINGARI e LAURINDO, 2007).

A secagem e desidratação de produtos alimentícios são usadas como técnicas de preservação. Os microrganismos que provocam a decomposição dos alimentos não podem crescer e se multiplicar na ausência de água. Além disso, muitas enzimas que causam mudanças químicas nos alimentos, não podem reagir sem a presença da água (ROMERO et al, 1997).

O peso e volume dos alimentos são alterados quando os mesmos são secos, podendo facilitar o processo de embalagem, transporte e armazenamento, além destas, podem ser citadas como vantagens do processo de secagem dos alimentos a conservação, a proteção contra a degradação enzimática e oxidativa, a economia de energia por não precisar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante todo o ano independente do período sazonal (PARK, YADO e BROWD, 2001; MORAES, 2006).

3.4.1. Secagem em camada de espuma

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) foi desenvolvida por Arthur Morgan Júnior e seus colaboradores, em 1959, na Califórnia – EUA, e patenteada em 1961 (MORGAN et al., 1959). O método foi criado com o intuito de aumentar a taxa de secagem de alimentos líquidos e semilíquidos (SOARES, 2009).

Essa técnica que está cada vez mais sendo utilizada devido à facilidade de implantação e, também, por conta da sua habilidade em transformar matérias primas de difícil secagem em produtos com qualidade e características finais desejáveis, como a fácil reidratação, preservação da cor e sabor e retenção de compostos voláteis que geralmente são perdidos quando aplicado outro método de secagem. Sendo ela um dos principais meios utilizados para a obtenção de produtos alimentícios em pó (FRANCO, 2015; SILVA, 2008).

Neste tipo de secagem, os alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, a partir da utilização de agentes espumantes e estabilizantes, com o auxílio da incorporação de ar ou nitrogênio pelo processo de batedura. Após a formação da espuma, a mesma é disposta em uma esteira ou bandejas de secagem com uma espessura de 2 a 3mm, onde a desidratação acontece rapidamente, por meio da aplicação de fluxos de ar em paralelo

ou em contracorrente (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998; FELLOWS, 2000; MOUNIR, 2017). Esse método de secagem com ar aquecido é dado até o ponto em que impeça o crescimento de microrganismos, reações químicas e/ou enzimáticas no material (MELO et al., 2013).

A secagem em camada de espuma é considerada um processo relativamente simples, de baixo custo e como principais vantagens: ocorre em baixas temperaturas, em um menor tempo de desidratação do material devido à maior superfície de contato exposta ao ar, remoção mais rápida da água do produto e obtenção de um produto poroso facilmente reidratável (SILVA FILHO et al., 2016).

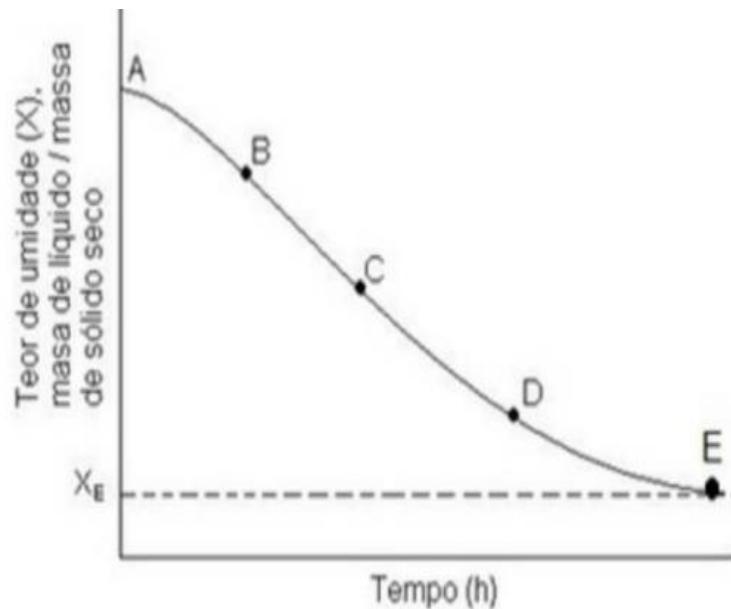
O menor tempo de exposição do produto a alta temperatura permite a obtenção de produtos em pó com suas características nutricionais preservadas. O que pode gerar grandes possibilidades comerciais (SOUZA, 2011).

O método de secagem em camada de espuma apresenta algumas desvantagens em relação a outras técnicas, principalmente em relação à grande área de superfície necessária para realizar o processo, o que resulta em um custo inicial elevado para a instalação da planta. Além disso, é fundamental que a espuma seja estável durante a secagem para garantir a eficiência da desidratação. No entanto, a adição de aditivos para estabilizar as espumas pode afetar negativamente as características sensoriais do alimento. Essa perda sensorial e, em alguns casos, nutricional pode ser mais acentuada quando a secagem é realizada com ar quente (FELLOWS, 2000; FRANCIS, 2000).

3.4.2 Cinética de secagem

Os resultados de uma secagem experimental são comumente apresentados em gráficos que relacionam o teor de umidade com o tempo. Esses gráficos geralmente exibem três fases distintas no processo de desidratação: Período de indução: Fase inicial onde a perda de umidade é lenta; Período de taxa constante: Fase em que a perda de umidade ocorre a uma taxa estável; Período de taxa decrescente e fase final onde a perda de umidade diminui gradualmente (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Cinética de secagem



Fonte: Park et al. (2001)

Na Figura 3.1, a curva de secagem pode ser dividida em quatro etapas: A-B: Aquecimento inicial do material, desde sua temperatura inicial até a temperatura de bulbo úmido do ar, acompanhado da perda de água livre; B-C: Período de secagem constante, onde a temperatura de bulbo úmido e a taxa de secagem permanecem estáveis, até que o material atinja sua umidade crítica; C-D: Fase de secagem com superfície insaturada, marcada pelo início da queda da taxa de secagem devido ao aumento da temperatura; D-E: Etapa final, onde o processo é controlado pela evaporação do líquido no interior do material, até que a secagem seja concluída e a umidade de equilíbrio seja alcançada.(PARK, YADO e BROWD, 2001; MORAES, 2006).

A secagem de alimentos é um processo complexo que requer modelos matemáticos para previsão e otimização. Esses modelos são essenciais para estimar o tempo de secagem, representar o processo, reduzir ensaios laboratoriais, desenvolver novos sistemas e melhorar sistemas existentes (FRANCO 2015; WAUGHON; PENA, 2008).

4 METODOLOGIA

A Metodologia produzida durante o desenvolvimento desse trabalho está apresentada em forma de pedido de depósito de patente, resumo expandido submetido e artigo científico a ser submetidos em congresso e periódicos, respectivamente, mostrados a seguir:

Pedido de Depósito de Patente: PROCESSO DE OBTENÇÃO DO PÓ DA LEVEDURA *SACCHAROMYCES CEREVIAE* ATRAVÉS DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA. (Pedido de Depósito de Patente junto à INOVA – Processo: 23074.091833/2024-81)

Resumo expandido: YEAST FOAM PRODUCTION AND PHYSICAL CHARACTERIZATION: A STUDY OF THE FOAM-MAT DRYING OPERATIONAL PARAMETERS (Submetido. Congresso: I Congresso Brasileiro de Biotecnologia Industrial – I COBBIND).

Artigo 1: SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA LEVEDURA *Saccharomyces cerevisiae* OBTIDA DO MOSTO FERMENTADO (A ser submetido. Periódico: Revista Observatorio de La Economía Latino-americana. Qualis: A4 em Engenharias II).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Resultados e Discussão produzidos durante o desenvolvimento desse trabalho estão apresentados em forma de pedido de depósito de patente, resumo expandido submetido e artigo científico a ser submetidos em congresso e periódicos, respectivamente, mostrados a seguir:

Pedido de Depósito de Patente: PROCESSO DE OBTENÇÃO DO PÓ DA LEVEDURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ATRAVÉS DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA. (Pedido de Depósito de Patente junto à INOVA – Processo: 23074.091833/2024-81)

Resumo expandido: YEAST FOAM PRODUCTION AND PHYSICAL CHARACTERIZATION: A STUDY OF THE FOAM-MAT DRYING OPERATIONAL PARAMETERS (Submetido. Congresso: I Congresso Brasileiro de Biotecnologia Industrial – I COBBIND).

Artigo 1: SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA LEVEDURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* OBTIDA DO MOSTO FERMENTADO (A ser submetido. Periódico: Revista Observatorio de La Economía Latino-americana. Qualis: A4 em Engenharias II).

● SIPAC - Informativo Movimentação de Processo 23074.091833/2024-81

Yahoo/Entrada ☆



Sistemas/UFPB

De: nao_responda@avisos.ufpb.br

Para: SIPAC - PROCESSOS

ter, 15 de out. às 12:48



Prezado(a) JOSILENE DE ASSIS CAVALCANTE, Uma nova movimentação foi efetuada para o processo 23074.091833/2024-81 do qual o sr(a). faz parte como interessado. Dados Gerais do Processo: Processo: 23074.091833/2024-81

Tipo do Processo: SOLICITAÇÃO

Assunto Detalhado: PEDIDO DE DEPÓSITO DE PATENTE PARA A LEVEDURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE Natureza do Processo: OSTENSIVO Dados Gerais da Movimentação: Tipo de Movimentação: ENVIO

Data de Envio: 15/10/2024 12:45

Usuário de Envio: JOSILENE DE ASSIS CAVALCANTE

Unidade de Origem: CT-DEQ - LABORATÓRIO DE TERMODINÂMICA (11.01.17.14.09)

Unidade de Destino: AGÊNCIA UFPB DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (INOVA UFPB) (11.00.02.01.04)

-- Esta mensagem foi gerada automaticamente pelo sistema e não deve ser respondida.



YEAST FOAM PRODUCTION AND PHYSICAL CHARACTERIZATION: A STUDY OF THE FOAM-MAT DRYING OPERATIONAL PARAMETERS

Sabryna J. V. Bastos^{1*}, Gabriel J. R. Lemos^{2*}, Geniellen M. P. C. de Melo³, Flávio L. H. da Silva⁴, Josilene A. Cavalcante⁵.

^{1,4,5} Biotechnology, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brazil.

Course/Center/Department/Program, University/Institute, City, Country.

^{2,6} Chemical Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brazil.

³ Chemical Engineering Post Graduation Program, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brazil.

⁷ Professor of the Chemical Engineering Department, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Brazil.

*sabryna.bastos@academico.ufpb.br, gabriel@comunica@academico.ufpb.br

ABSTRACT

The objective is foam drying yeast foam to valorize the co-product of cachaça production. Foam-mat drying makes use of thickening and stabilizing agents to form a stable foam of a liquid or semi-liquid material, which will resist dehydration caused by increased temperature. The yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) used was obtained in a cachaça plant during the production process. To characterize the foam, density, stability and over run tests were carried out, according to the variables defined in the experimental planning. The final foam significantly increased in volume and density, especially at higher concentrations of emulsifier. Dilution in foam formation was a crucial factor, with better results in more diluted yeast solutions. Dilution reduces the density of the material, making it easier for the emulsifier to form foam. The results will assist in future studies to investigate the drying parameters of this foam to produce a powder.

Keywords: Drying. *Saccharomyces cerevisiae*. Waste valorization. Biotechnology.

1 INTRODUCTION

Saccharomyces cerevisiae is a fungus that is used for a variety of biotechnological applications, mostly utilized in fermentation, some of those processes are beer and liquor production, this feature is caused by its biological capacity, transforming sugar in ethyl alcohol¹. At the end of the fermentative processes, part of the biomass produced, which ages over time, is discarded to allow cell renewal, so younger cells can have more space to grow and the process to be continued.

Studies have already shown several ways of reusing this material, including drying methods to get an animal food supplement². Drying is seen as a technique that aims to reduce biological activity and chemical reactions in organic material, facilitating its storage for longer periods³.

From this, innovations emerged such as optimizing this process and reducing its costs, such as foam-mat drying, which is a foaming technique using a liquid or semi-liquid material with or without the addition of foaming and/or stabilizing agents, so the foam supports dehydration in shorter times than common and low temperatures. Foam-mat drying offers a low-cost, simple process that returns a product with higher biological quality when compared to other drying processes⁴.

Therefore, this study aimed to find better parameters for a foam production and with that, stable physical properties that facilitate the yeast drying process.

2 MATERIAL & METHODS

The foam mixture was prepared using the yeast biomass (*S. cerevisiae*) collected from the production of cachaça at a mill located in Areia, Paraíba, Brazil (altitude of 623 meters above sea level, with longitude and latitude approximately 7° 28' south latitude and 36° 29' west longitude). It was centrifuged during 5 minutes at 5000 rpm, then the pellet was subjected to rigorous agitation in a planetary mixer together with the emulsifier and the supernatant (sugarcane juice) in the established proportions. The agitation time, the concentration of the Porto gel emulsifier from the Du Porto® brand and the proportion of dilution of the centrifuged biomass were the controlled variables and the main response, from the experimental planning factorial 2³ was the stability of the foam formed (foam density).

The methodology described by⁵ was used to analyze the density of the foam formed. Regarding the over run parameter, the methodology was described by⁶.

3 RESULTS & DISCUSSION

The obtained foams showed a significant increase in final volume as well as a substantial reduction in density, especially at higher concentrations of the emulsifying agent. A determining factor for the increase in final volume was the dilution used in foam formation, with more favorable results observed in more diluted yeast solutions.

Table 1: Experimental planning and experimental values obtained for density.

Experiment	Dilution	Concentration (%)	Time (min)	Density (g/cm ³)
1	+1 (1:2)	-1 (10)	-1 (8)	0.298
2	-1 (2:1)	-1 (10)	-1 (8)	0.276
3	+1 (1:2)	+1 (20)	-1 (8)	0.455
4	-1 (2:1)	+1 (20)	-1 (8)	0.281
5	+1 (1:2)	-1 (10)	+1 (16)	0.385
6	-1 (2:1)	-1 (10)	+1 (16)	0.416
7	+1 (1:2)	+1 (20)	+1 (16)	0.450
8	-1 (2:1)	+1 (20)	+1 (16)	0.232
9	0 (1:1)	0 (15)	0 (12)	0.276
10	0 (1:1)	0 (15)	0 (12)	0.450
11	0 (1:1)	0 (15)	0 (12)	0.401

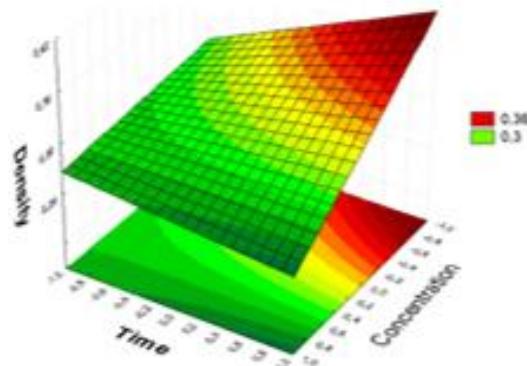


Figure 1: Influence of foaming agent concentration and agitation time on foam density reduction for fixed dilution of 1:2.

The analysis of the optimization surface, derived from experimental data, reveals results consistent with the findings of⁹, indicating that increasing the concentration of the emulsifier in the process results in a significant reduction in the density of the produced foam. The minimum value found for density, 0.23 g/cm³, exceeds that obtained by⁹ of 0.148 g/cm³ when using the Emustab® emulsifier at a concentration of 10% in acerola juice. However, the results obtained in the experiments are promising, considering the high density of the raw material and the presence of dense contaminants such as clay and sand.

Preliminary foam-mat drying tests, obtained based on the identified optimal points for its production, demonstrate a stable and uniform layer throughout the moisture loss process, which highlights its viability for the drying process.

4 CONCLUSION

Based on the experiments conducted and the data obtained, it can be concluded that foam production from residual yeast biomass from cachaca production along with Du Porto® emulsifier resulted in the formation of stable foam. Dilution during foam formation was identified as a crucial factor for optimizing the process, with more diluted yeast solutions exhibiting more favorable performance. Thus, the most favorable operating conditions for parameters found for stable foam are of main importance for enhancing the drying process to obtain yeast powder.

REFERENCES

- 1 PARAPOULI, M., VASILEIADIS, A., AFENDRA, A., HATZILOUKAS, E. 2020. AIMS Microbiol. 6(1). 1-31.
- 2 DAVENPORT, G. M., BLOCK, S. S., ADOLPHE J. L. *Transl Anim Biol*. 2023. 7(1). Taxd107.
- 3 SAGAR, V. R., SURESH KUMAR P. 2010. *J Food Sci Technol*. 47(1). 15-26
- 4 KADAM, D. M., WILSON, R. A., KAUR, S., MANISHA. 2012. *Int J Food Prop*. 15. 211-220.
- 5 BROCK, J., NOGUEIRA, M. R., ZAKRZEWSKI, C., CORAZZA, F. C., CORAZZA, M. L., OLIVEIRA, J. V. 2008. 28(3). 564-570.
- 6 KATO, A., TAKAHASHI, A., MATSUDOMI, N., & KOBAYASHI, K. 1983. *J Food Sci*. 48(1). 62-65.
- 7 SAUTER, E. A., MONTOURÉ J. E. 1972. *J Food Sci*. 37(6). 918-920.
- 8 KARIM, A. A., WAI C. C. 1999. *Food Chem*. 64(3). 337-343.
- 9 ARAÚJO, C. S., MACEDO, L. L., VIMERCATI, W. C., SARAIVA, S. H., OLIVEIRA, A. N., TEIXEIRA, L. J. Q. 2017. *Braz J Food Technol*. 20.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank FAPESQ-FAPESP – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba/Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (Brazil) (Process: FAPESQ-FAPESP 024/2023)

Secagem em camada de espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtida da produção de cachaça

RESUMO

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é o alicerce da fermentação alcoólica, e seu resíduo pode ser transformado em suplemento alimentar animal por meio da secagem. A secagem é uma técnica eficaz para aumentar a vida útil de materiais, reduzindo o crescimento microbiano. A secagem em camada de espuma é um processo que transforma líquidos ou semilíquidos em espuma estável, incorporando ar ou gás, e subsequentemente secando-a com ar aquecido. Este estudo buscou avaliar a secagem em camada de espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae* para futuro uso como suplemento em rações animais, analisando suas características físico-químicas e valor nutricional. As leveduras formam obtidas do pé de cuba das dornas de fermentação dos Engenhos de Cachaça localizados no município de Areia – PB. Após os experimentos revelou-se que a espuma com melhor estabilidade foi alcançada com 20% de espumante, diluição de 1/2 e 16 minutos de agitação, visto que é a diluição é um fator chave na produção de espuma. A temperatura é o principal fator que influencia a cinética de secagem. Análises físico-químicas mostraram que os pós apresentam 13% de proteínas, 12% de lipídeos, e 38 % de carboidratos, baixa atividade de água e umidade e alto teor de cinzas, indicando bom valor nutricional. No entanto, estudos adicionais são necessários para comprovar a eficácia do produto como suplemento para rações animais.

Palavras-chave: Processos fermentativos; Resíduos industriais; suplemento ração animal;

ABSTRACT

The yeast *Saccharomyces cerevisiae* is the foundation of alcoholic fermentation, and its residue can be transformed into an animal feed supplement through drying. Drying is an effective technique for increasing the shelf life of materials by reducing microbial growth. Foam layer drying is a process that transforms liquids or semi-liquids into stable foam by incorporating air or gas, and subsequently drying it with heated air. The yeasts are obtained from the fermentation vats of Engenhos de Cachaça located in the municipality of areia – PB. In view of the above, this study seeks to evaluate the foam layer drying of *Saccharomyces cerevisiae* yeast for future use as a supplement in animal feed, analyzing its physicochemical characteristics and nutritional value. After the experiments it was revealed that the best stable foam was achieved with 20% sparkling wine, 1/2 dilution and 16 minutes of agitation, as dilution is a key factor in foam production. Temperature is the main factor that influences drying kinetics. Physicochemical analyzes showed that the powders have 13% proteins, 12% lipids, e 38% and carbohydrates low water and moisture activity and high ash content, indicating good nutritional value. However, additional studies are needed to prove the product's effectiveness as a supplement to animal feed.

Keywords: Fermentation processes; industrial waste; *Saccharomyces cerevisiae*; Foam bed drying.

1 INTRODUÇÃO

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é amplamente utilizada na indústria de fermentação alcoólica para produção de alimentos e bebidas, destacando-se como o principal micro-organismo nesse contexto (KURTZMAN, 2011; BORNEMAN; PRETORIUS, 2015).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é amplamente utilizada na indústria de alimentos e bebidas como agente fermentador em produções de cervejas, vinhos, sidras e destilados, como a cachaça. Além disso, essa levedura contribui para o desenvolvimento de fatores sensoriais, como compostos ésteres, que enriquecem o aroma dos vinhos com notas florais e frutadas, ampliando a variedade de produtos no mercado. Ademais, esses microrganismos são passíveis de manipulação genética, o que possibilita melhorar ainda mais os processos em que são mediadores (PARAPOULI et al., 2021)

Durante a fermentação de bebidas, a biomassa gerada é renovada por meio da purga, um processo que remove o material acumulado. Embora grande parte desse material seja descartada, pesquisas recentes vêm explorando formas de aproveitamento, como a secagem para produzir suplemento alimentar para animais (DAVENPORT et al., 2023).

A secagem é um método amplamente utilizado na indústria que reduz a atividade de água, sendo uma das formas mais eficientes de aumentar a vida útil de determinado material, uma vez que diminui o crescimento microbiano, facilitando assim sua comercialização. A secagem em camada de espuma consiste em um processo de conservação, onde o material líquido ou semilíquido é transformado numa espuma estável, através da incorporação de ar ou outro gás, que é submetido à secagem com ar aquecido (FALADE; ADEYANJU; UZO-PETERS, 2003). Trata-se de um método relativamente simples e barato, que utiliza aditivos cuja finalidade é manter a espuma estável durante o processo (FRANCO et al., 2015; WIDYASTUTIL; SRIANTA, 2011; KUDRA; RATTI, 2008).

Portanto, este trabalho tem o intuito de estudar a viabilidade da secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtida da produção de cachaça, e fazer a caracterização físico-química e qualidade nutricional do pó após a secagem para um posterior uso com suplemento de rações de animal.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO DAS LEVEDURAS

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* proveniente do processo fermentativo (Figura 1) da produção de cachaça foi adquirida no Engenho Triunfo (Areia, Paraíba, Brasil) e no Engenho Vitória (Alagoa Grande, Paraíba, Brasil). A levedura obtida foi armazenada em bombonas e transportadas sob refrigeração em caixas térmicas. E posteriormente ao chegar nos laboratórios foi armazenada em geladeiras.

Figura 1. Levedura *Saccharomyces cerevisiae* proveniente do processo fermentativo da produção de cachaça



Fonte: Autor

2.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E VARIÁVEIS OPERACIONAIS

No estágio inicial, é essencial realizar um estudo para determinar as melhores práticas de processamento da matéria-prima, a fim de produzir a espuma necessária para a secagem. A obtenção de uma espuma estável é crucial para o sucesso do processo de secagem. Com esse objetivo, foram realizados testes para definir e padronizar as etapas seguintes:

Obtenção do creme de levedura: Para a obtenção do creme foram testadas diferentes condições de diluição com o sobrenadante obtido junto com as leveduras e diferentes tempos de centrifugação. A fim de obter as melhores condições para a otimização do processo.

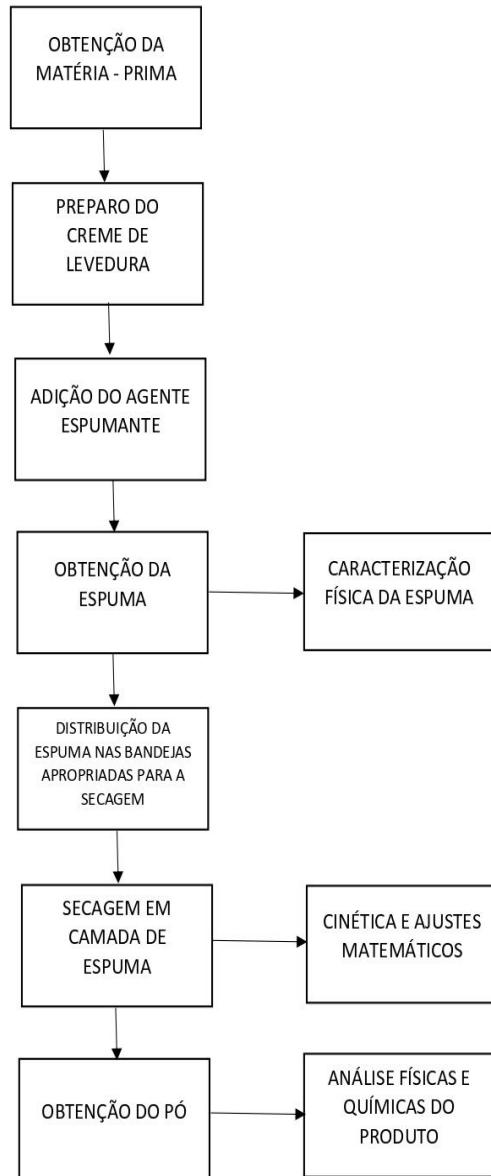
Formação da Espuma: Foram testados diferentes agentes espumantes para definir o mais adequado para o processo. O creme de levedura foi misturado ao agente espumante e

submetido à vigorosa agitação em batedura. Nos testes foram utilizados três agentes espumantes, o Portogel que é utilizado na indústria de alimentos e também em receitas caseiras para melhorar a textura, estabilidade e qualidade dos produtos; a albumina, uma proteína encontrada em ovos, leite e entre outras fontes. Como agente emulsificante desempenha um papel importante na estabilização de emulsões; e o CMC (carboximetilcelulose) produto derivado da celulose amplamente utilizado como espessante, estabilizante e agente de controle de viscosidade nas indústrias de alimentos, cosméticos e fármacos. Foram testadas diferentes concentrações do agente espumante e diferentes tempos de agitação, com o objetivo de obter os menores valores onde houvesse a formação da espuma mais estável.

Produção do pó: Foi estabelecida a melhor condição para a diluição com o sobrenadante. Foram testadas novas condições de concentração do emulsificante e diferentes tempos de agitação e temperaturas de secagem. Com a intenção de conseguir as melhores condições para a produção do pó.

Após os testes preliminares, foram definidas todas as etapas do processo a ser desenvolvido para a produção da *Saccharomyces cerevisiae* em pó pelo método de secagem em camada de espuma como mostrada no fluxograma da Figura 2.

Figura 2. Fluxograma para a obtenção da *Saccharomyces Cerevisiae* em pó pelo método da secagem em camada de espuma.



Fonte: Autor

2.3 PREPARO DO CREME DE LEVEDURA

Para a obtenção do creme de levedura as células foram submetidas a separação utilizando a centrífuga NT 812 da marca Novatecnica, a 5000 rpm por 5 minutos, de modo a obter uma concentração de células maior como ilustra a Figura 3.

Figura 3. Biomassa da levedura *S. cerevisiae* obtida após a centrifugação



Fonte: Autor.

2.4 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO ESPUMANTE, TEMPO DE AGITAÇÃO E DILUIÇÃO NA PRODUÇÃO DA ESPUMA

Para verificar a influência das variáveis de processo (variáveis controladas) sobre as variáveis dependentes (respostas) foi utilizada metodologia de planejamento fatorial e análise de superfície de resposta.

Trata-se de um planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais, totalizando 11 experimentos, nos quais as variáveis de entrada foram escolhidas como: concentração do agente espumante, tempo de agitação e diluição. Nas Tabelas 1 e 2 são mostrados os valores codificados e reais das variáveis independentes e a matriz do planejamento experimental, respectivamente.

Tabela 1. Valores codificados e reais das variáveis independentes.

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração do agente espumante (%)	10	15	20
Tempo de agitação (min)	8	12	16
Diluição (levedura/água)	2:1	1:1	1:2

Tabela 2. Matriz do planejamento experimental fatorial completo

Experimentos	Variáveis independentes		
	D (mL)	C (%)	tag (min)
1	(-1)	(-1)	(-1)
2	(+1)	(-1)	(-1)
3	(-1)	(+1)	(-1)
4	(+1)	(+1)	(-1)
5	(-1)	(-1)	(+1)
6	(+1)	(-1)	(+1)
7	(-1)	(+1)	(+1)
8	(+1)	(+1)	(+1)
9	(0)	(0)	(0)
10	(0)	(0)	(0)
11	(0)	(0)	(0)

C- Concentração do espumante; tag= Tempo de agitação; D - Diluição

A diluição foi realizada de acordo com a proporção mássica, massa do creme em relação a massa do sobrenadante, conforme as especificações apresentadas na tabela 1. A percentagem da concentração do agente espumante foi estabelecida em relação massa total (massa do creme mais massa do sobrenadante).

Os tempos de agitação para a produção da espuma forma determinados de acordo, com os testes preliminares.

2.4.1 Produção da espuma

Para produzir a espuma utilizou-se uma combinação de creme de levedura com sobrenadante obtido no processo de centrifugação. A espuma como ilustrada na Figura 4 foi produzida a partir de agitação vigorosa em batedeira planetária deluxe inox – SX 84 da marca Arno, com a adição do agente espumante escolhido, o Portogel®, e com os tempos de agitação definidos no planejamento experimental.

Figura 4. Sistema de formação da espuma



Fonte: Autor.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

2.5.1 Estabilidade

A análise foi feita através do método descrito por Karim e Wai (1999) com adaptações, onde 10g da espuma foi depositada sobre um funil de vidro com um filtro de nylon que estavam apoiados em uma proveta de 25 mL, onde foi medido o volume drenado depois de 60 min de observação.

2.5.2 Incorporação de ar (*over run*)

Para a determinação da capacidade de incorporação de ar, foi avaliado o volume da levedura junto com o agente espumante, espumante? em um bêquer antes e depois de ser submetida à rigorosa agitação. A análise foi realizada para diferentes concentrações de levedura, agente espumante e tempo de agitação.

2.5.3 Densidade

A determinação da densidade foi realizada segundo a metodologia de Brock (2008) a partir da medição da massa da espuma (g) em relação ao volume ocupado pela mesma em uma proveta de 25mL.

2.5.4 Porcentagem de expansão da espuma

Com os valores das densidades, do creme de levedura e da espuma da levedura, foi possível determinar o valor de percentual de expansão da espuma utilizando a Equação 1.

$$\% \text{ expansão} = \frac{\frac{1}{\rho_{\text{espuma}}} - \frac{1}{\rho_{\text{creme de levedura}}}}{\frac{1}{\rho_{\text{creme de levedura}}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Em que,

$\rho_{\text{sucreme de levedura}}$ = densidade do creme de levedura (g/mL);
 ρ_{espuma} = densidade da espuma (g/mL).

2.6 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

Os testes para produção da espuma revelaram que, entre as três variáveis independentes: diluição, concentração do emulsificante e tempo de agitação, a diluição teve um impacto significativo no processo de obtenção do produto final. Para avaliar as variáveis temperatura de secagem e concentração do agente espumante foi feito um planejamento experimental fatorial completo $2^2 + 2$, com pontos centrais, totalizando 6 experimentos apresentado na Tabela 3. Nesse planejamento, a diluição foi fixada na proporção de 1:2 e o tempo de agitação foi mantido em 16 minutos, pois tempos de agitação mais longos resultaram em espumas mais estáveis. Além disso, os valores da concentração do emulsificante foram modificados e as temperaturas de secagem foram definidas com base na literatura, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3. Matriz do planejamento experimental fatorial completo $2^2 + 2$ para avaliar a influência da concentração do espumante e temperatura na secagem da levedura.

Experimentos	C (%)	T (°C)
1	(-1)	(-1)
2	(+1)	(-1)
3	(-1)	(+1)
4	(+1)	(+1)
5	(0)	(0)
6	(0)	(0)

C- Concentração do espumante; T.: temperatura de secagem

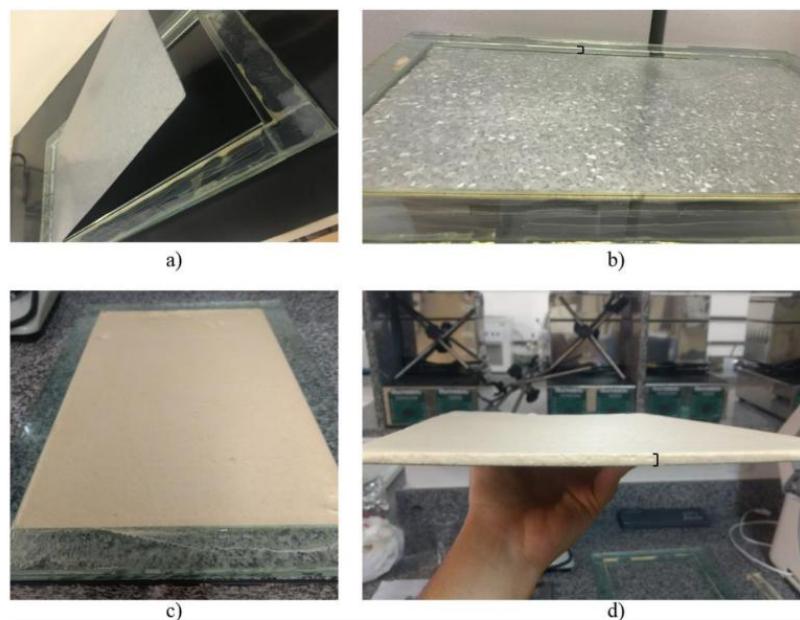
Tabela 4. Valores codificados e reais das variáveis independentes.

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração do agente espumante (%)	5	10	15
Temperatura (°C)	50	60	70

2.7 ENSAIOS DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

A espuma foi colocada em uma bandeja de zinco galvanizado, com 1 mm de espessura, sem bordas laterais e fundo removível, previamente tarada (Figura 5). A camada de espuma foi mantida em 5 mm de espessura e espalhada uniformemente. Em seguida, a bandeja foi pesada e colocada na estufa Solab SL102 com circulação e renovação de ar, na temperatura definida pelo planejamento experimental. Foram realizadas pesagens periódicas até que não houvesse mais variação na massa, indicando que o equilíbrio havia sido alcançado. Ao final da secagem, o pó obtido foi armazenado em sacos plásticos com fechamento hermético.

Figura 5. Bandeja utilizada para o processo de secagem: a) bandeja de fundo removível; b) espessura da bandeja; c) espuma disposta na bandeja; d) espessura da camada de espuma



Fonte: Negreiros (2019).

2.8 CINÉTICA DE SECAGEM

A partir dos dados experimentais da perda de umidade da espuma obtidos durante a secagem, obteve-se a Razão de Umidade Adimensional (RU), fundamental para a modelagem cinética, por meio da Equação 2.

$$RU = \frac{X_{bs}}{X_{bs0}} \quad (2)$$

Em que:

X_{bs} = umidade em base seca;

X_{bs0} = umidade em base seca inicial.

A umidade em base seca é determinada pela razão entre a água eliminada e a massa seca presente na amostra a equação 3:

$$X_{bs} = \frac{(m_i - m_f)}{m_{ss}} \quad (3)$$

Em que:

m_i = massa inicial da amostra (g);

m_f = massa final (g);

m_{ss} = massa de sólidos secos da amostra (g).

Com os valores calculados, plota-se a curva de cinética de secagem (um gráfico RU versus Tempo) onde é possível observar o comportamento do processo.

2.9 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA LEVEDURA OBTIDO

Todas as análises foram realizadas em triplicata para aumentar a confiabilidade dos resultados e minimizar possíveis erros operacionais durante os experimentos.

2.9.1 Rendimento teórico

O rendimento teórico foi calculado com base na relação entre a massa de espuma inicial e a massa do pó obtido após a secagem, conforme demonstrado na Equação 4. As pesagens foram realizadas utilizando uma balança semi-analítica.

$$Rendimento(\%) = \frac{M_{p0}}{M_{esp}} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

$M_{Pó}$ = Massa do pó obtido;

M_{esp} = Massa de espuma utilizada.

2.9.2 Teor de umidade

A caracterização físico-química teor de umidade foi realizada pelo método gravimétrico (LUTZ, 2008), onde 1 g da amostra foi levada à estufa a 105 °C e deixada por 24 horas. Após o tempo determinado, a umidade foi calculada pela diferença de massa no início e fim da análise, de acordo com a Equação 5.

$$Teor\ de\ Umidade\ (%) = \frac{Mi - (Mf - Mc)}{Mi} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

Mi = Massa inicial do pó (g);

Mf = Massa do cadinho + massa do pó ao fim do procedimento (g);

Mc = Massa do cadinho seco (g).

2.9.3 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)

A verificação do pH foi realizada a partir de uma solução feita com 10 mL de água destilada adicionados com 1 g de pó, sendo homogeneizado sob agitação magnética por 5 minutos. Posteriormente, o pH foi medido em pHmetro de bancada da marca MS Tecnopon modelo Mpa-210, calibrado com soluções tampão de pH 4 e 7.

2.9.4 Determinação dos sólidos solúveis totais (º BRIX)

As análises de refratometria para a determinação dos sólidos solúveis totais (ºBrix) do pó da levedura foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Lutz (2008).

2.9.5 Teor de cinza

A análise de cinzas foi conduzida seguindo o método padrão descrito por Lutz (2008).

2.9.6 Atividade de água

A atividade de água foi determinada através de leitura direta no medidor de atividade de água Novasina Lab Master-aw. Foram pesados em cápsulas 0,5 g da amostra do pó de levedura realizando a medida no equipamento nas temperaturas de 15°C, 30°C e 45°C.

2.9.7 Determinação da fração lipídica

A fração lipídica foi determinada pelo método de Folch.

2.9.8 Granulometria

A distribuição granulométrica das amostras foi determinada seguindo um método adaptado da AOAC (2000). Cinco gramas do pó foram peneirados por 15 minutos em um conjunto de seis peneiras com malhas de mesh específicas (42, 60, 80, 100, 115, 400) e uma bandeja coletora.

2.9.9 Determinação de proteína bruta

O método de Kjeldahl foi utilizado para analisar o teor de proteínas, determinando o nitrogênio orgânico total na amostra.

2.9.10 Carboidratos

O teor de carboidrato foi calculado pela diferença entre o total da amostra (100%) e os teores de proteína, lipídeos umidade e cinza obtidos conforme descritos anteriormente.

2.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se o programa STATISTICA 7.0 para calcular os efeitos principais e as interações das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes da secagem (tempo de secagem e umidade final do produto). O programa também foi utilizado para analisar a influência das variáveis independentes sobre as características físicas e químicas da espuma e do pó.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

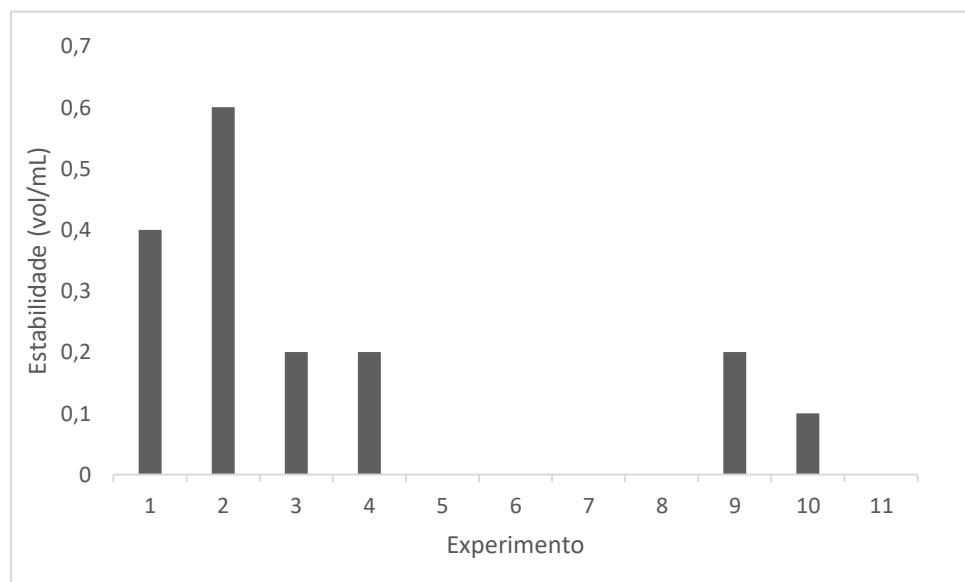
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPUMA

Na caracterização física da espuma, buscou-se avaliar a interferência das variáveis independentes descritas na Tabela 1 nas características físicas da espuma obtida. Essas características são fundamentais para garantir uma boa eficiência no processo de secagem.

3.1.1 Estabilidade da espuma

Os resultados da estabilidade das espumas das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Volume drenado nas análises de estabilidade das espumas das leveduras *Saccharomyces cerevisiae*.



O sucesso da secagem em camada e a qualidade do produto final estão intimamente relacionados à estabilidade da espuma durante o processo (CRUZ, 2013). Devido à instabilidade termodinâmica inerente às espumas, é crucial avaliar sua capacidade de manter as bolhas de ar estáveis (LAU e DICKINSON, 2004).

Espumas que permanecem estáveis por pelo menos uma hora são consideradas ideais para secagem (KUDRA e RATTI, 2006). A falta de estabilidade pode causar problemas significativos. Segundo Kadam e Balasubramanian (2010), fatores como tempo de agitação, tipo e quantidade de agentes espumantes influenciam a estabilidade.

Além disso, a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume drenado ao longo do tempo. Os resultados das análises mostraram que todos os pontos apresentaram

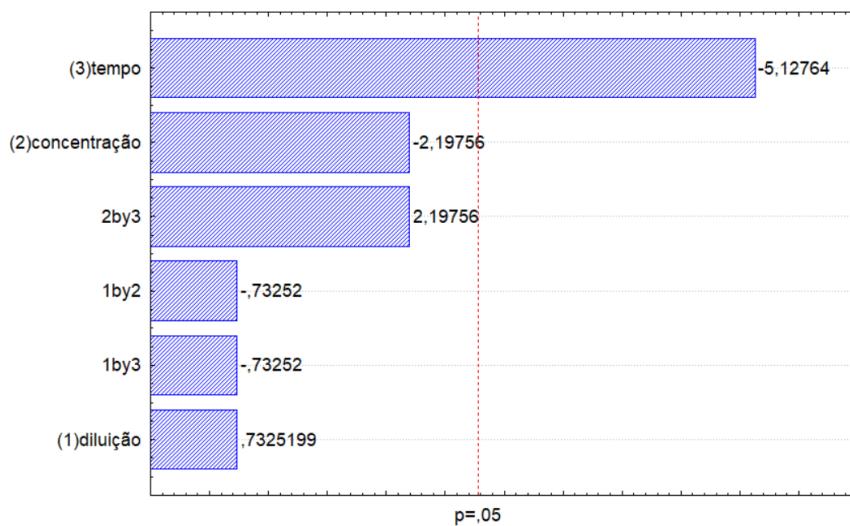
boa estabilidade, com volume drenado inferior a 0,7 mL após 2 horas, indicando que a espuma é estável em todas as condições experimentais.

Bastos (2024) estudando a secagem em camada de espuma da levedura cervejeira descartada obteve na análise de estabilidade de espuma, o ponto máximo (½, 6%, 8 min) com melhor resposta, sendo o volume drenado de 0,25 mL.

Na Figura 6 foi possível observar que os experimentos 5,6,7 e 8 não apresentaram volume drenado. Para esses pontos o tempo de agitação de formação da espuma foi máximo. Logo, observamos que o tempo de agitação é uma variável que influencia na estabilidade da espuma.

Com a análise do diagrama de Pareto na Figura 7 observou-se que o tempo de agitação (3) afeta de uma forma significativa a estabilidade da espuma em um intervalo de 95% de confiança. Sendo essa influência de sinal negativo (-5,12764), o que indica que quanto maior o tempo de agitação menor será o volume drenado, portanto melhor será a estabilidade da espuma. Ainda foi possível observar na Figura 7 que as variáveis concentração do agente espumante (2), diluição (1) e as interações concentração (2) e tempo (3); diluição (1) e concentração (2); diluição (1) e tempo de agitação (3) não foram estaticamente significativas para o nível de confiança de 95%.

Figura 7. Diagrama de Pareto para a estabilidade da espuma



De maneira geral, considera-se o resultado de estabilidade da espuma levedura *Saccharomyces cerevisiae* satisfatório, visto que o maior volume drenado foi de 0,7 (2:1 diluição; 10 % de agente espumante; 8 min de tempo de agitação).

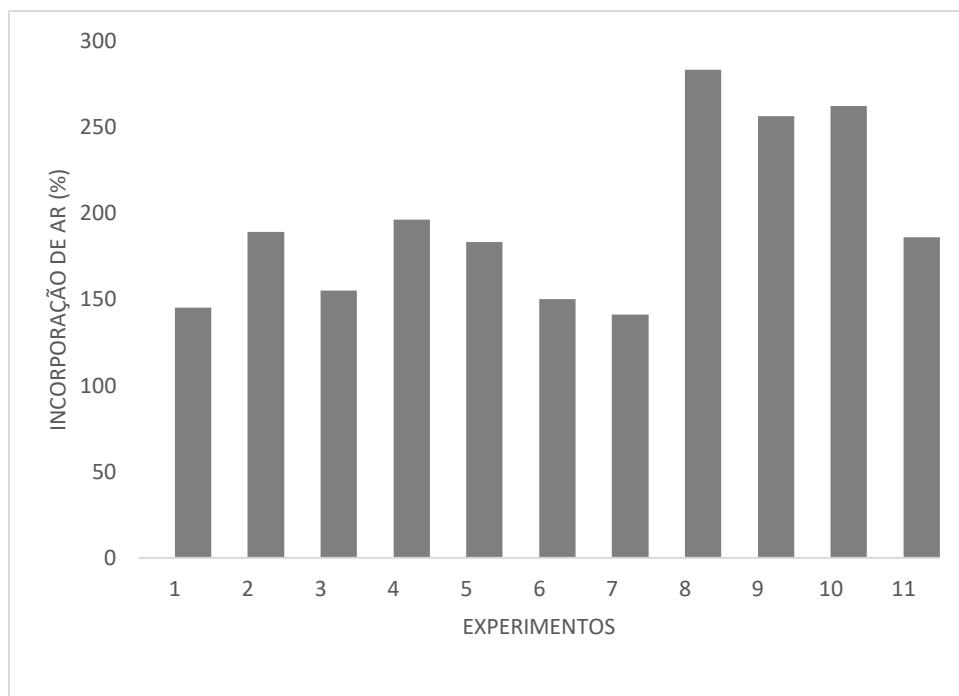
3.1.2 Incorporação de ar (*over run*)

A capacidade de incorporação de ar é uma propriedade física da espuma que está relacionada com a quantidade de ar que pode ser incorporado durante a sua mudança de estrutura, que passa de líquida-viscosa para sua estrutura semissólida. Na Figura 9 estão dispostos os valores correspondentes a porcentagem de incorporação de ar da espuma.

De acordo com a Figura 8, foi possível observar que o ponto 8, correspondente ao ponto máximo, apresentou o maior percentual de incorporação de ar. Em contraste, o ponto 1, que representa o ponto mínimo, apresentou a menor incorporação de ar.

A agitação promove a dispersão do gás na mistura (FIGUEREDO, RIBEIRO e SABADINI, 1999). Agitando a mistura por mais tempo é possível obter uma maior dispersão de gás no sistema e isso explica a maior incorporação de ar, aumentar no maior tempo de agitação.

Figura 8. Resultado da análise de Incorporação de ar da espuma



Pinheiro (2020) trabalhando com a secagem em camada de espuma da levedura *Rhodotorula glutinis* constatou que para as maiores concentrações do espumante e maiores tempo de agitação, maior é o percentual de incorporação de ar.

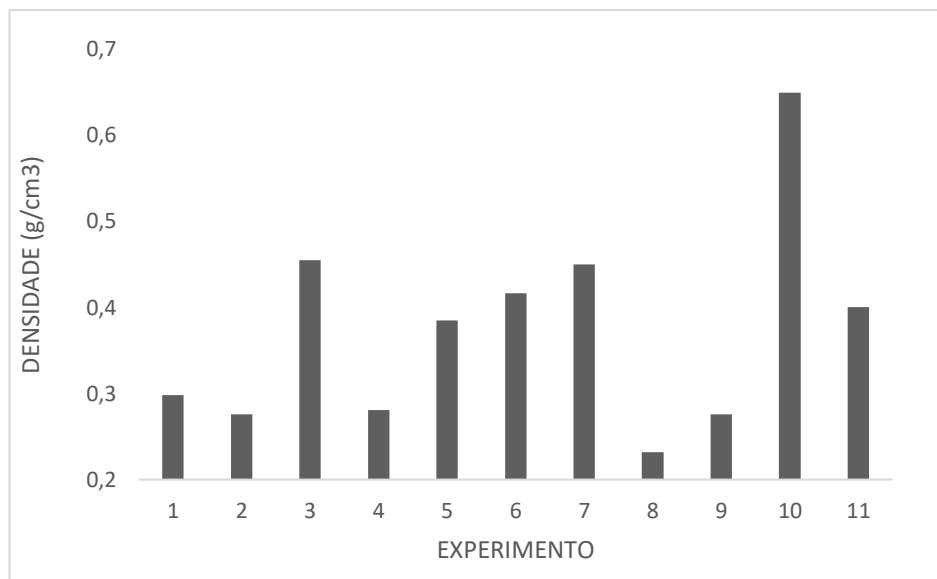
3.1.3 Densidade

Para a secagem em camada de espuma, a densidade é um dos principais parâmetros que devem ser avaliados em razão desta propriedade estar relacionada com formação de uma espuma estável (MELO, 2013).

A análise foi realizada à temperatura ambiente (25 °C), para todos os pontos do planejamento experimental. Os valores das densidades das espumas são verificados na Figura 9.

Os melhores resultados para densidade e incorporação de ar foram obtidos no experimento 8, com valores de 0,232 g/cm³ e 283%, respectivamente. Esse experimento correspondeu ao ponto máximo do planejamento experimental, onde os parâmetros foram otimizados com diluição de 1:2, concentração do agente espumante de 20% e tempo de agitação de 16 minutos. O ponto central apresentou um desvio muito grande devido esse fato pode ser explicado devido a grande quantidade de impurezas presente no material.

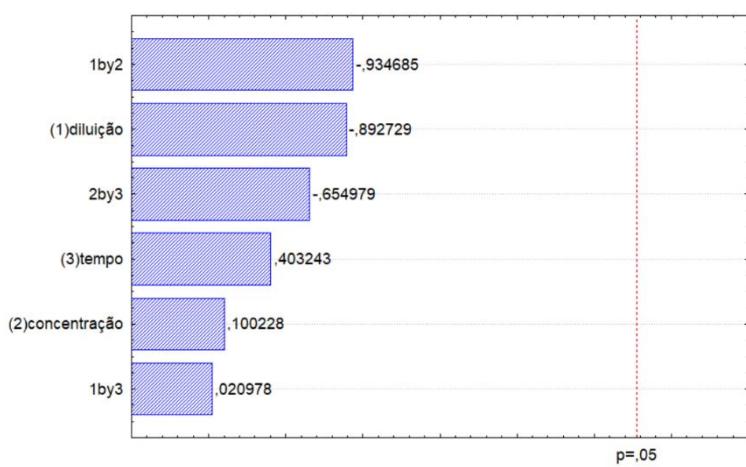
Figura 9. Resultado dos experimentos de densidade da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



Cruz (2013) afirma que a redução na densidade das espumas ocorre devido à incorporação de ar durante a etapa de agitação, uma vez que a alta velocidade de agitação promove um aumento na taxa de cisalhamento, favorecendo a divisão das bolhas de ar, resultando na incorporação de maior quantidade de gás à mistura e, portanto, na diminuição da densidade da espuma.

Na Figura 10, o diagrama de Pareto para as densidades da espuma revela que, embora a melhor densidade da espuma tenha sido obtida para o nível máximo, não há evidências estatísticas significativas de que as variáveis de entrada (diluição, concentração do agente espumante e tempo de agitação) e suas interações tenham influenciado a densidade da espuma, considerando um nível de confiança de 95%.

Figura 10– Diagrama de Pareto para a densidade da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



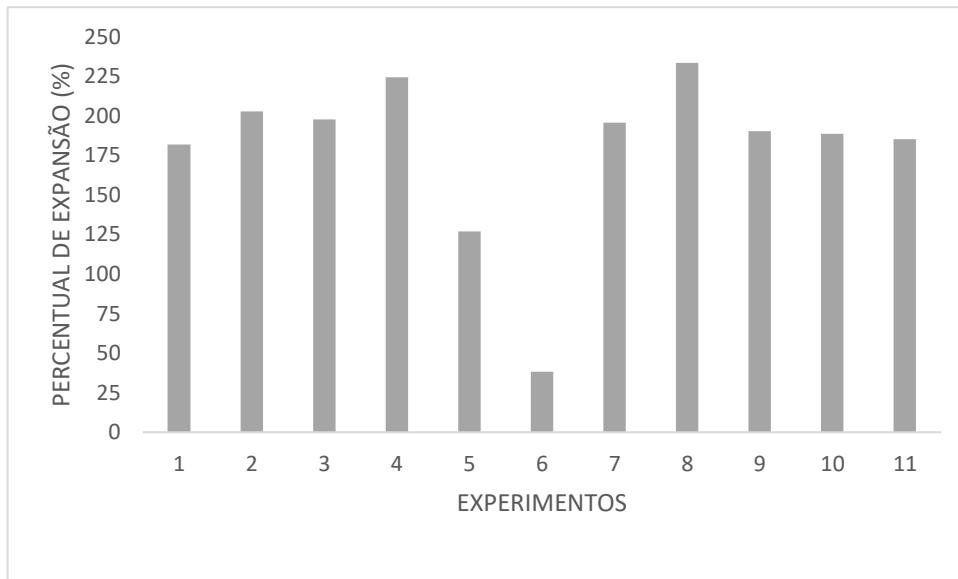
3.1.4 Porcentagem de expansão

O maior valor de expansão da espuma foi encontrado no experimento 8 que possui a maior diluição (1:2), maior concentração do agente espumante (20%) e o maior tempo de agitação (16 minutos). Nesse experimento a expansão foi de 233,26%.

O menor valor de expansão da espuma foi observado no experimento 6 que possui a maior diluição (1:2), menor concentração do agente espumante (10%) e o maior tempo de agitação (16 minutos). Nesse experimento a expansão foi de 38,29%, este valor pode ser justificado pela baixa concentração do agente espumante usado e maior diluição da levedura. Os valores dos experimentos da porcentagem de expansão das espumas estão expostos na Figura 11.

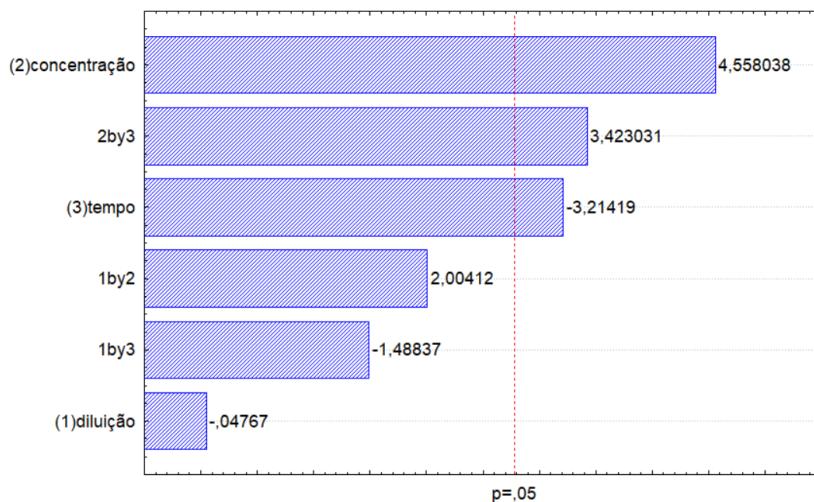
Segundo Cruz (2013) menores valores de densidade indicam uma maior incorporação e retenção de ar, aumentando assim a expansão da espuma. O menor valor de densidades foi obtido nos experimentos 8, o mesmo experimento no qual se observou a maior expansão da espuma.

Figura 11. Resultados da porcentagem de expansão da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.



A análise estatística foi realizada para avaliar a influência da concentração do agente espumante, da diluição e do tempo de agitação sobre a expansão da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, em um nível de confiança de 95% e o resultado pode ser observado na Figura 12.

Figura 12. Diagrama de Pareto para a expansão da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



No diagrama de Pareto pode ser observado que a concentração do agente espumante (2) e tempo de agitação (3), assim como a interação entre eles, são estaticamente significativos para o nível de confiança de 95%, indicando que seus valores afetam de forma significativa a formação da espuma.

A concentração do agente espumante tem a maior influência sobre a expansão da espuma, sendo essa influência de sinal positivo (4,558038), o que mostra que a expansão da espuma aumenta com o aumento da concentração do agente espumante. O mesmo comportamento foi observado por Pinheiro (2020) trabalhando com a secagem em camada de espuma da levedura *Rhodotorula glutinis* verificou-se que a maior expansão ocorreu para a amostra com maior concentração de espumante.

O tempo de agitação apresentou uma influência de sinal negativo (-3,21419), portanto, a expansão da espuma aumenta com a diminuição do tempo. A influência negativa do tempo de agitação sobre a expansão da espuma pode ser explicada pela redução da quantidade de bolhas e pelo aumento da tensão superficial da mistura, que ocorrem quando o tempo de agitação é prolongado.

A interação entre a concentração do agente espumante (3) e o tempo de agitação (2) tem uma influência de sinal positivo (3,423041) o mesmo que ocorre na interação entre a diluição (1) e a concentração do agente espumante (3), sendo esses comportamentos diferente do que acontece na interação entre a diluição (1) e o tempo de agitação (3).

3.2 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

3.2.1 Análise da influência da concentração do espumante e temperatura na secagem

A análise estatística foi realizada para avaliar a influência das variáveis independentes concentração do agente emulsificante e temperatura de secagem sobre as variáveis dependentes do processo de secagem: o tempo final de secagem e a umidade final. Os resultados do tempo final de secagem e da umidade final em base seca (X_{bs}) obtidos no término de cada ensaio de secagem podem ser observados na Tabela 5.

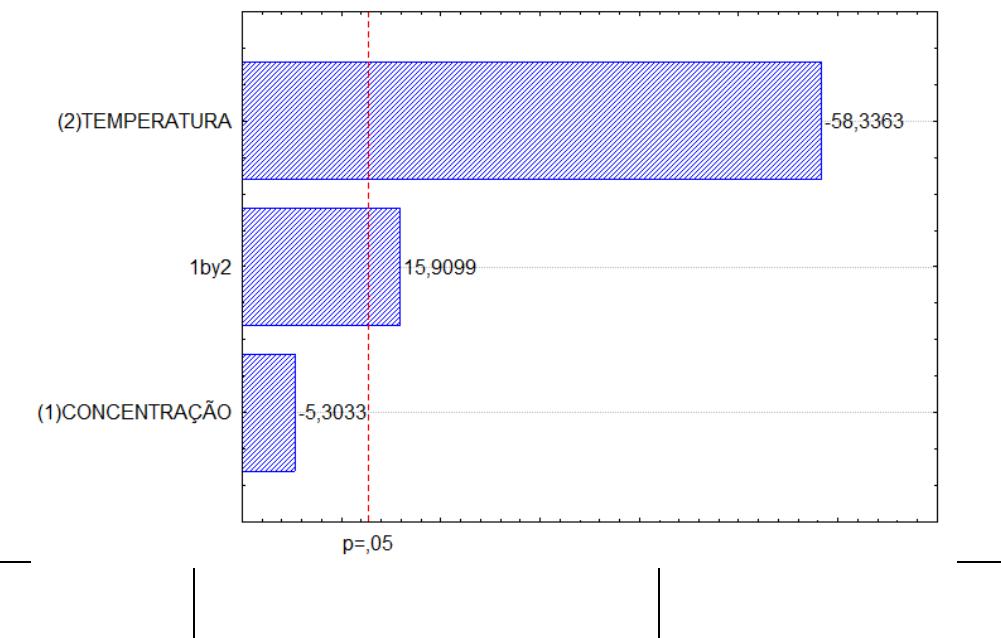
Tabela 5. Resultado final para o tempo de secagem e umidade final.

NºExp	Tempo de secagem(min)	Umidade final
1	230	0,170
2	200	0,132
3	125	0,123
4	140	0,134
5	220	0,128
6	218	0,132

3.2.1.1 Tempo final de secagem

Para avaliar a influência da concentração do agente espumante e da temperatura sobre o tempo final de secagem da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, foi realizada uma análise estatística com um nível de confiança de 95%. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 13 abaixo:

Figura 13. Diagrama de Pareto para o tempo final de secagem



Analisando o diagrama de Pareto, observou-se que a variável temperatura de secagem e a interação entre a temperatura de secagem (2) e a concentração do agente espumante (1) afetam de forma significativa o tempo final de secagem da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, considerando um intervalo de confiança de 95% .

A temperatura possui uma maior influência sobre o tempo, sendo essa influência final de sinal negativo (-58,3363), indicando que quanto maior for a temperatura, menor será o tempo de secagem. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que temperaturas mais altas promovem uma transferência de calor mais intensa, o que, por sua vez, acelera a evaporação da umidade presente no material. Como resultado, a umidade é removida de forma mais rápida e eficiente.

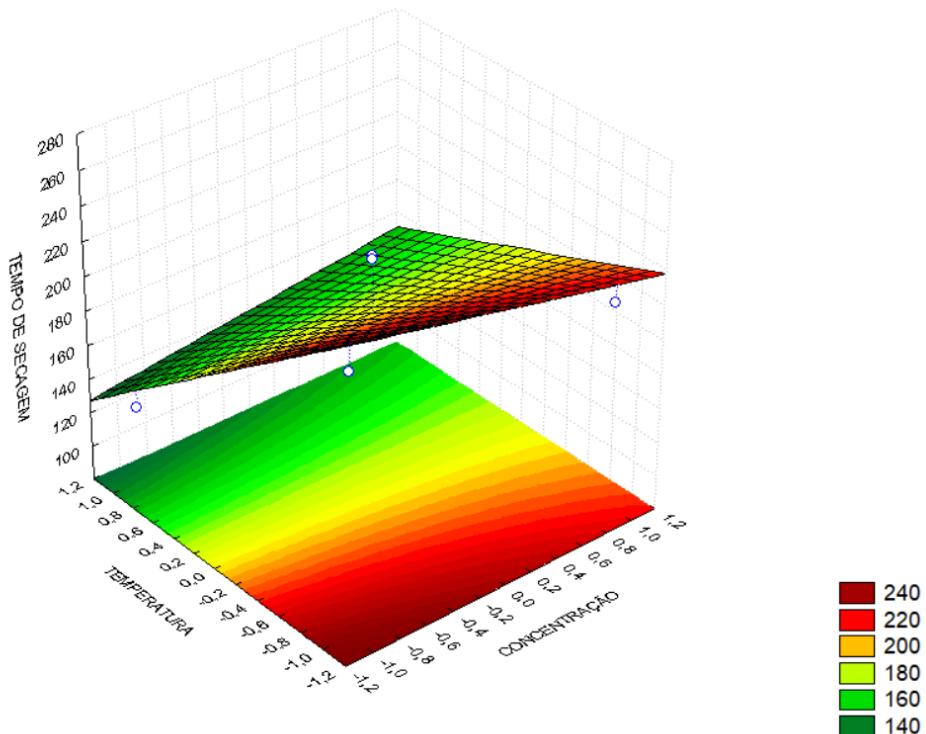
A combinação da temperatura de secagem (2) e da concentração do agente espumante (1) tem um efeito significativo sobre o tempo final de secagem. Especificamente, essa interação apresenta uma influência positiva (15,9099), o que significa que, à medida que a temperatura de secagem e a concentração do agente espumante aumentam juntas, o tempo final de secagem também aumenta.

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 estaticamente significativa ($p < 0,05$). Esse modelo possui coeficiente de determinação de 0,73 e pode ser representado pela Equação 6.

$$T_S = 188,833 - 41,2500T \quad (6)$$

Na Figura 14 está representada a superfície de resposta para o tempo final de secagem de acordo, com suas variáveis de entrada. Analisando a superfície foi possível perceber que a temperatura de secagem possui grande influência sobre o tempo de secagem, onde observa-se seus menores valores nas maiores temperaturas. Comprovando o sinal de influência negativo dessa variável já observada no diagrama de Pareto. A concentração do agente espumante não apresentou influência significativa sobre a resposta, mantendo-se praticamente constante ao longo da faixa de trabalho. Dessa forma, é possível a aplicação dos seus níveis mínimos na operação de secagem sem interferências nos resultados.

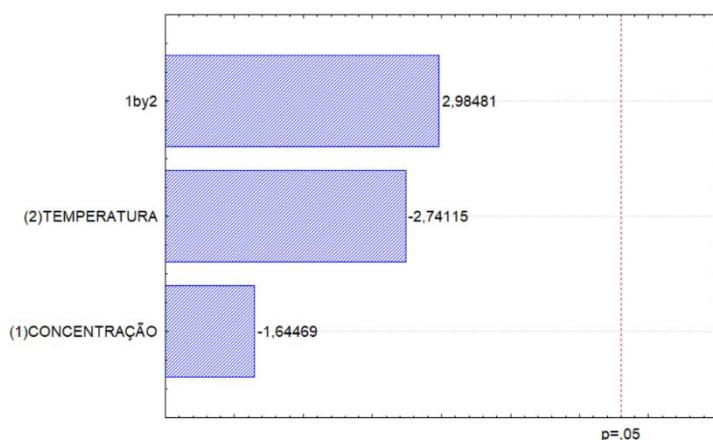
Figura 14. Superfície de resposta para a variável tempo de secagem da espuma da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



3.2.1.2 Umidade final

Na Tabela 5 observou-se que a menor umidade de equilíbrio alcançada foi de 0,123 no experimento 3 e a maior foi de 0,170, no experimento 1. Com a análise estatística da influência das variáveis independentes sobre a umidade final da secagem foi possível verificar que nenhuma das variáveis, assim como suas interações, afetaram a umidade de equilíbrio. Esse resultado pode ser observado no diagrama de Pareto na Figura 15.

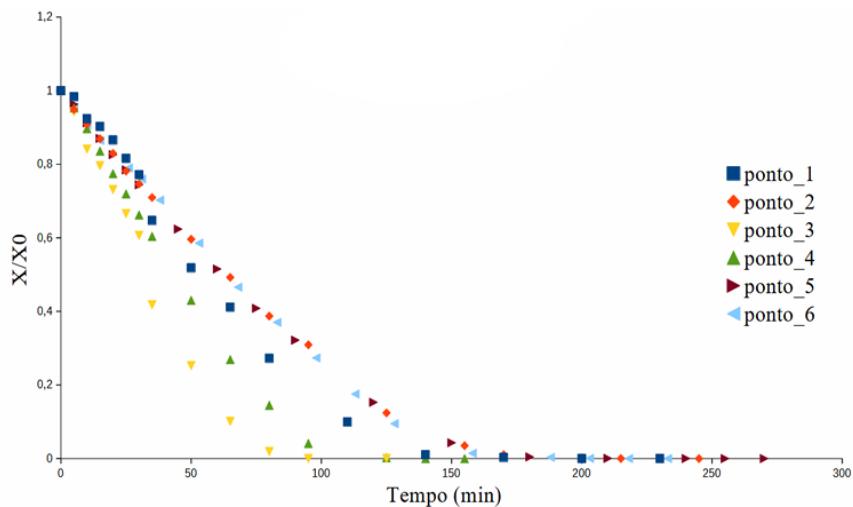
Figura 15. Diagrama de Pareto para a umidade de equilíbrio



3.2.2 Cinética de Secagem

Na Figura 16 estão apresentadas as curvas de cinética de secagem da biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Os dados estão dispostos na forma de umidade adimensional (X/X_0) em função do tempo de secagem (min) para as temperaturas definidas pelo planejamento experimental, de 50 °C, 70 °C e 60 °C.

Figura 16. Curvas de cinética de secagem do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



De acordo com a Figura 16 os resultados indicam que a temperatura foi o fator mais significativo no processo de secagem, apresentando uma relação inversa com o tempo total necessário. Essa tendência está alinhada com pesquisas prévias sobre secagem de polpas e sucos de frutas, como observado por Karim e Waii (1999), confirmando a eficácia desse método amplamente adotado.

As cinéticas de secagem para cada temperatura estudada estão ilustradas nas Figuras 17, 18 e 19, respectivamente, nas quais a variação na concentração de emulsificante na formulação das espumas é o parâmetro diferencial entre as curvas.

Figura17. Curva de cinética de secagem para a temperatura de 50°C

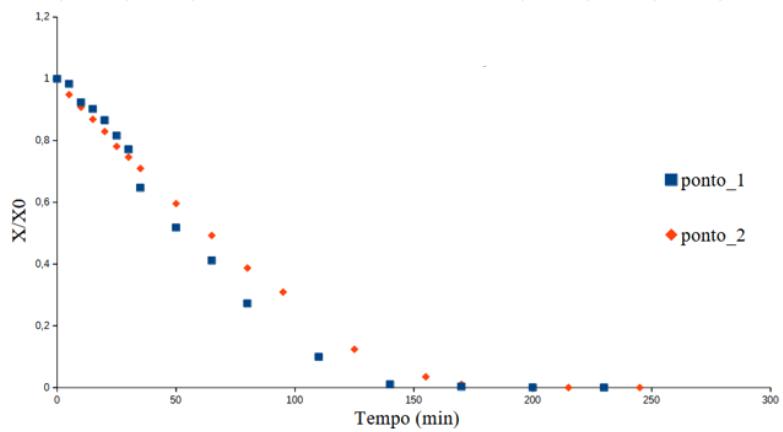


Figura18.Curva de cinética de secagem para a temperatura de 60°C

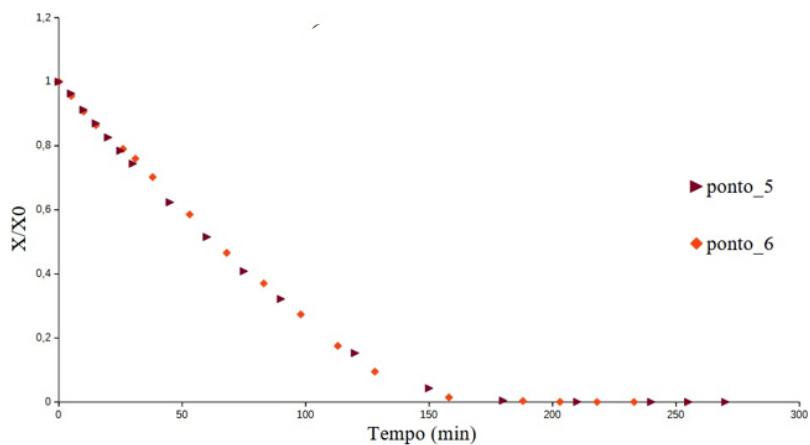
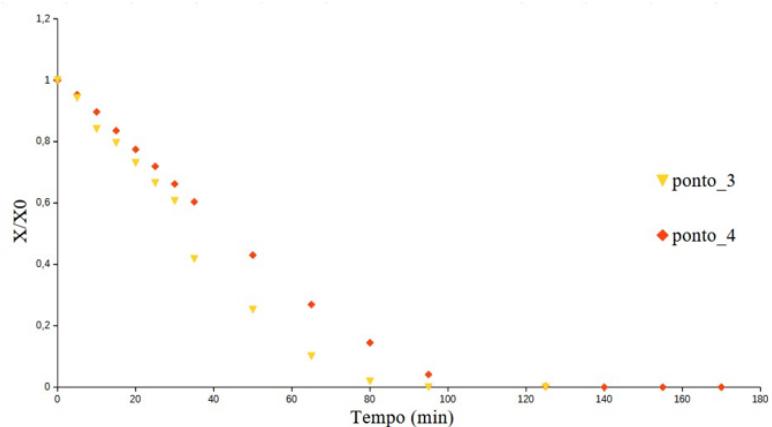


Figura19. Curva de cinética de secagem para a temperatura de 70°C



Nas Figuras 17, 18 e 19 foram observados que o tempo de secagem e o comportamento dos experimentos variam de acordo com as temperaturas empregadas. Conforme a temperatura aumenta, o tempo de secagem reduz e as curvas tornam-se mais acentuadas, refletindo o aumento de transferência de calor para o material.

Os resultados dos experimentos mostraram que o tempo mínimo necessário para secagem foi de 125 minutos a 70 °C, enquanto o tempo máximo foi de 230 minutos a 50 °C. Além disso, as curvas de secagem revelaram dois períodos distintos: taxa constante e decrescente. Foi também observada uma boa reproduzibilidade nos resultados de secagem para o ponto central dos experimentos.

Os dados indicam que a variação na concentração de emulsificante tem um impacto mínimo nas curvas de secagem, resultando em mudanças sutis na inclinação. O menor tempo de secagem foi de 125 minutos a 70°C, valor compatível com o estudo de Pinheiro (2020) sobre secagem da levedura *Rhodotorula glutinis*, apesar de ser superior ao observado em outras frutas e materiais vegetais.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA LEVEDURA

3.3.1 Rendimento teórico

Na Tabela 6 é mostrado o rendimento percentual do pó (Figura 20) para cada um dos ensaios do planejamento experimental fatorial utilizado na secagem.

Tabela 6. Resultados do rendimento teórico do pó da biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae*

Experimento	Rendimento teórico(%)
1	16,74
2	13,69
3	12,49
4	13,72
5	12,79
6	13,67

Figura 20. Pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtido por secagem em camada de espuma



Fonte: Autor.

A produção da biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae* em pó pela técnica de secagem em camada de espuma apresentou maior rendimento teórico no experimento 1 (5% de espumante, 50 °C), e menor valor no experimento 3 (5% de espumante; 70 °C). Seus valores foram 16,74% e 12,49 %, respectivamente.

Apesar da semelhança nos rendimentos dos experimentos, o baixo valor obtido pode ser atribuído à diluição empregada na formulação da espuma e sua baixa densidade. Ao final do processo de secagem, observou-se uma redução significativa na massa restante na bandeja em comparação com a quantidade de água evaporada.

3.3.2 Análises físico-químicas do pó

Na Tabela 7 são mostrados os resultados das análises de atividade de água ,umidade das amostras, sólidos solúveis totais (°Brix) e potencial hidrogeniônico (pH).

Tabela 7. Resultados da análises de atividade de água, umidade, °Brix e pH .

Exp	aw 15°C	aw 30°C	aw 45°C	Umidade (%)	°Brix	pH
1	0,264	0,287	0,238	12,74	25,33	4,16
2	0,262	0,225	0,249	14,59	28,67	4,19
3	0,246	0,176	0,204	8,2	15,33	4,23
4	0,224	0,199	0,195	7,71	12,67	4,10
5	0,320	0,363	0,336	7,06	25,6	4,12
6	0,263	0,270	0,230	7,40	25,0	4,13

A atividade de água (aw) é uma medida que avalia a disponibilidade de água livre no material, que afeta as características dos alimentos e é utilizada para controlar fatores estabilizantes, como as reações enzimáticas e não enzimáticas, a oxidação e o crescimento de microrganismos (VAN DEN BERG e BRUIN, 1981, citado por GARCIA, 2004).

Em concordância com Segundo Celestino (2010), com valores de aw próximos de 0,6 ocorre um pequeno ou nenhum crescimento microbiano e para valores menores que 0,3 a velocidade das reações químicas e enzimáticas tende à zero e não há desenvolvimento de microrganismos.

Para as análises de atividade de água nos pós obtidos por secagem em camada de espuma, temos o menor valor de aw foi de 0,176 no experimento 3 (5% de espumante a 70° C) e maior de aw foi de 0,363 do experimento 5 (10% de espumante a 60° C). Ainda foi possível observar que para as três temperaturas de análise de aw, os maiores valores de aw obtidos estão no experimento 5 (ponto central).

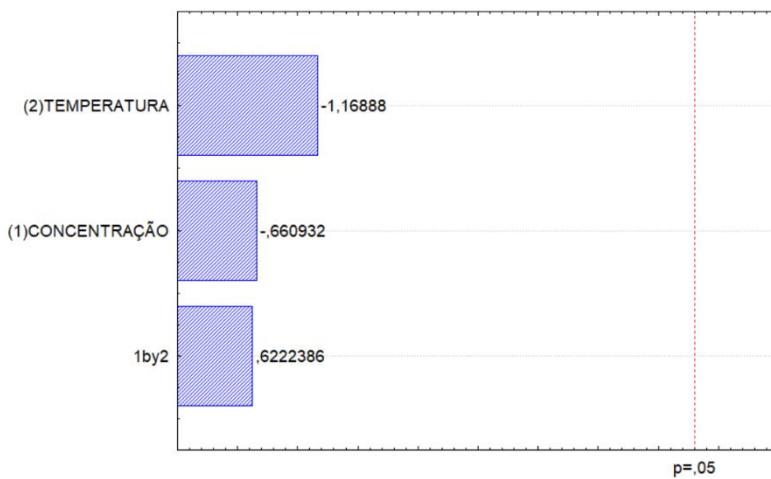
Os valores de atividade de água dos pós da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtidos por secagem em camada de espuma são satisfatórios, pois ficaram dentro da faixa considerada ótima para armazenamento, onde as reações químicas e o crescimento de microrganismos tende a zero, evitando a deterioração do material.

O teor de umidade final do produto representa o quanto ainda existe de líquido dentro do material ao término da secagem e é um parâmetro que juntamente com a atividade de água ajuda a determinar a quantidade do material obtido (OLIVEIRA, 2017).

Nas análises de umidade podemos verificar que o experimento 2 (15 % de espumante a 70° C) mostrou o maior percentual de umidade. E o experimento 5 (10% de espumante a 60° C) o menor.

As variáveis independentes não apresentaram influência sobre a umidade (%) dos pós da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtidos por secagem em camada de espuma como é observado pelo diagrama de Pareto na Figura 21.

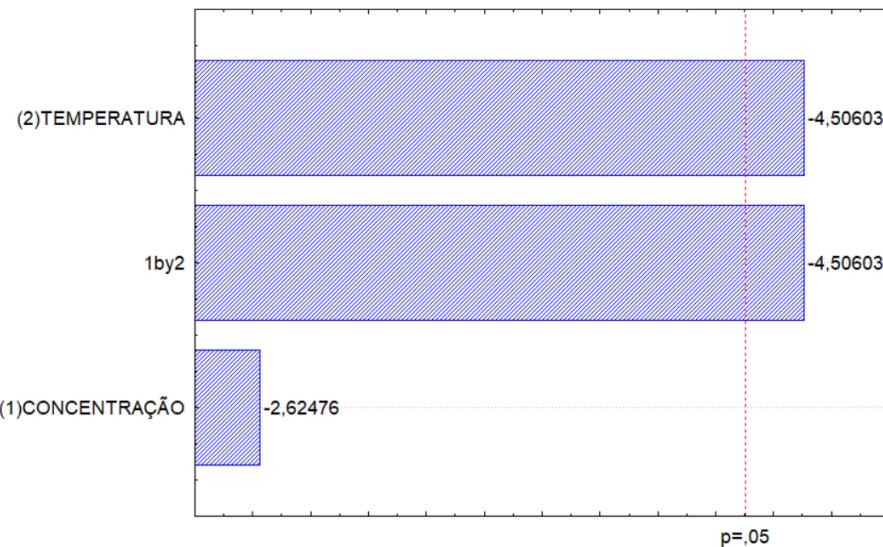
Figura 21. Diagrama de Pareto para umidade do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



A determinação de sólidos solúveis foi realizada por refratometria na escala Brix. Através dessa análise é possível determinar as concentrações percentuais de todos os sólidos solúveis contidos na amostra, como açúcares, sais, proteínas e ácidos e o valor de leitura medido é a soma de todos eles.

De acordo, com os dados apresentados na tabela 6 o experimento 2 (15 % de espumante a 50° C) apresentou o maior valor na escala Brix, já o menor valor de ° Brix foi encontrado no experimento 4 (15% de espumante a 70 °C). A análise da influência das variáveis de entrada sobre a determinação dos sólidos solúveis foi avaliada pelo diagrama de Pareto na Figura 22.

Figura 22 – Diagrama de Pareto para a análise de determinação de sólidos solúveis na escala ° BRIX



De acordo, com o diagrama podemos verificar que a temperatura apresentou uma maior influência, e essa influência tem sinal negativo (-4,50603) indicando que o aumento da temperatura diminui a concentração de o teor de sólidos solúveis no pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O mesmo comportamento é observado para a interação entre a temperatura de secagem e a concentração do agente espumante.

Para os dados obtidos da determinação do pH temos que todos os experimentos apresentaram um pH ácido o que é característico de resíduos de processos fermentativos.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados das análises de proteínas totais, fração lipídica, cinzas e carboidratos das amostras de pó de levedura, os principais indicadores do valor nutricional agregado ao produto.

Tabela 8. Resultados das análises de proteína, fração de lipídeos, teor de cinzas e carboidratos.

Experimento	Proteína (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)
1	15,2	5,01	22,73	26,32
2	12,68	15,27	18,38	39,08
3	11,83	5,44	22,32	52,21
4	12,72	20,45	17,18	41,94
5	13,1	16,0	19,70	44,13
6	14,28	10,58	20,80	22,94

O maior percentual de proteína encontrado no pó de levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtido pelo método de secagem em camada de espuma foi no experimento 6 (10 % de espumante a 60° C) e o menor no experimento 3 (5% de espumante a 70° C). Para a fração de lipídeos do pó temos que a maior fração lipídica foi no experimento 4(15% de espumante a 70 °C) e a menor no 1(5% de espumante a 50° C). O maior percentual de carboidratos foi encontrado no experimento 3 (5% de espumante a 70° C) e menor no experimento 6 (10 % de espumante a 60° C).

Nas Figuras 23,24 e 25 são mostrados os diagramas de Pareto para as análises da influência das variáveis de entrada sobre o teor de proteína dos pós, fração lipídica e carboidratos.

Figura 23. Diagrama de Pareto para análise de teor de proteína.

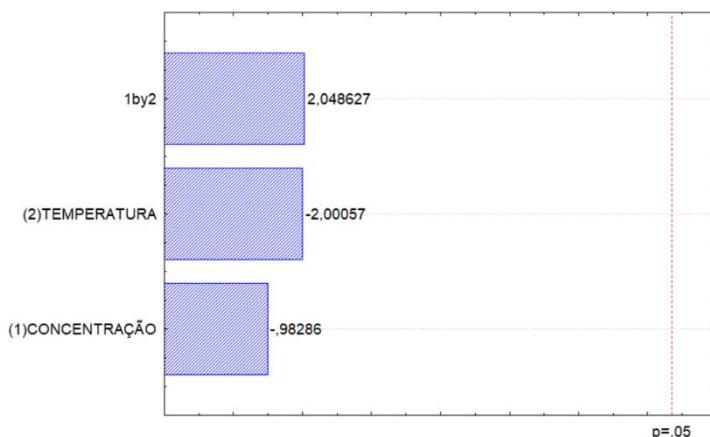


Figura 24. Diagrama de Pareto para análise da fração lipídica.

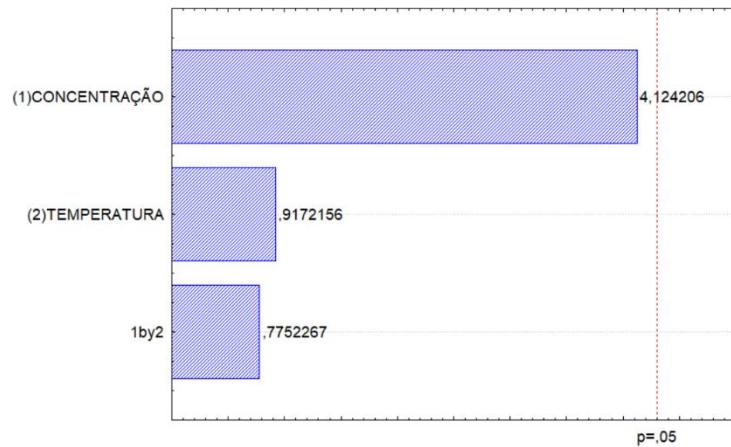
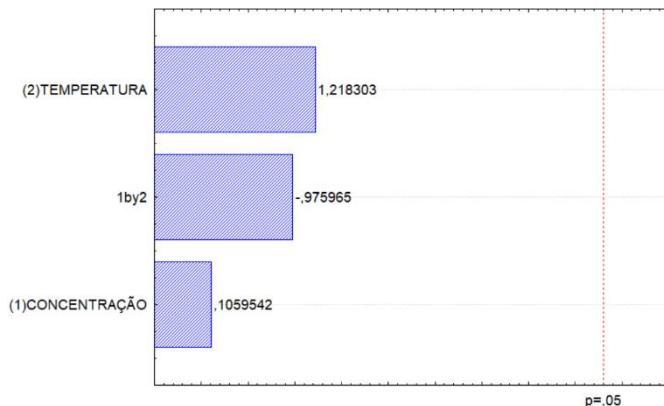


Figura 25. Diagrama de Pareto para análise de carboidratos.

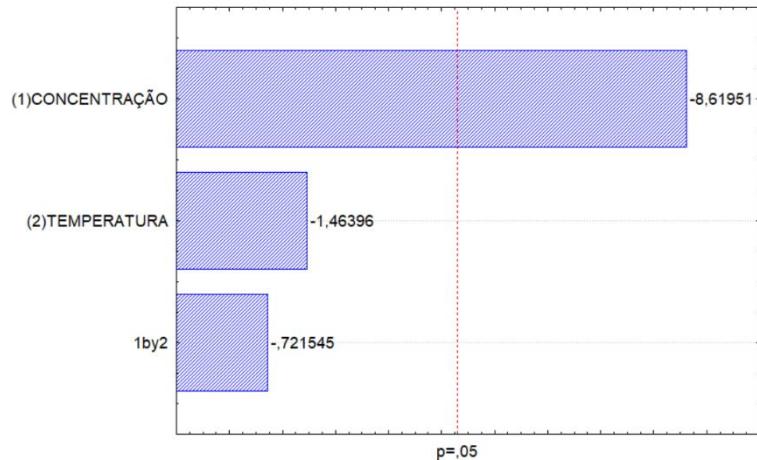


Analizando o diagrama de Pareto para o teor de proteínas, fração lipídica, e carboidratos observou-se que as variáveis temperatura de secagem e concentração do agente espumante não exerceram uma influência significativa sobre a determinação do teor de proteínas, fração lipídica e carboidratos do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, com um nível de confiança de 95%.

O teor de cinzas representa a substância inorgânica presente na amostra e é determinado pela incineração da matéria orgânica contida no material. De acordo com os resultados explanados na Tabela 8 o teor de cinza teve seu maior valor notado no experimento 1 (15% de espumante a 50° C) e o menor no experimento 4 (15% de espumante a 70 °C).

A influência das variáveis independentes no teor de cinzas dos pós da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtidos por secagem em camada de espuma é avaliada pelo diagrama de Pareto mostrado na Figura 26.

Figura 26. Diagrama de Pareto para análise de teor de cinzas



De acordo com a Figura 26 a concentração do agente espumante (1) é estatisticamente significativa, dentro de um intervalo de confiança de 95%. Isso é indicativo que a concentração do agente espumante influenciou de forma significativa, o teor de cinzas do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtido por secagem em camada de espuma, sendo essa influência de sinal negativo (8,61951), indicando que quanto maior a concentração do agente espumante menor o teor de cinza do pó da levedura.

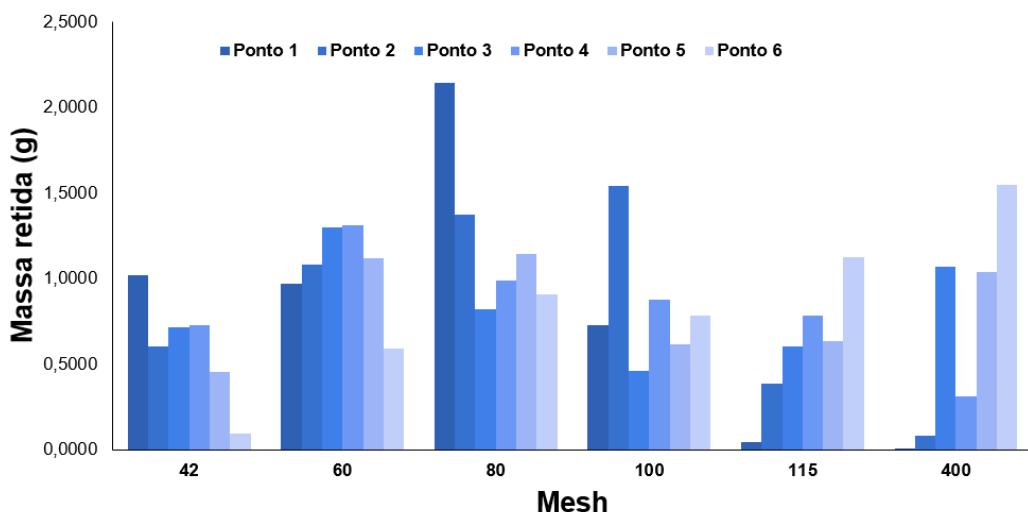
Os resultados revelam que o teor de proteína bruta, embora inferior ao das leveduras purificadas (40% em *Saccharomyces cerevisiae* liofilizadas), é relevante, com média de 13%. Além disso, a presença de outros componentes do processo fermentativo e etapas anteriores, como areia e argila, não compromete o valor nutricional do material seco, que apresenta uma média de 13% de proteínas, 12% de lipídeos, 38% de carboidratos e altos valores de cinzas (20%), indicando concentração de sais minerais e vitaminas.

3.3.3 Granulometria

A granulometria é o ato de medir o tamanho das partículas e tem grande importância visto que interfere diretamente na qualidade do produto final (AMORIM et al., 2016) e também pode influenciar na digestibilidade dos nutrientes, sendo assim, quanto menor o tamanho das partículas do alimento, maior será o contato dessas com os sucos digestivos e consequentemente irá favorecer a digestão e absorção dos nutrientes (BELLAVER e NONES,

2000). Na Figura 27 são mostrados os resultados da análise granulométrica do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtido para cada ponto do planejamento experimental 2².

Figura 27. Gráfico da análise granulométrica do pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae*



Pela Figura 27, observou-se que o pó resultante da secagem em camada de espuma apresenta uma granulometria heterogênea. Entretanto, a maioria das partículas foram retidas nas peneiras de Mesh 60 e 80.

Para o sistema de Tyler, os sólidos podem ser classificados de acordo com a abertura da peneira (mesh), sendo: sólidos grosseiros (abaixo de 4 mesh, ou seja, $> 4.700 \mu\text{m}$), finos (de 4 mesh a 48 mesh, ou seja, 300 - 4.700 μm) e ultrafinos (de 48 a 400 mesh, ou seja, 38 - 300 μm).

Desta forma, verifica-se que o pó da levedura *Saccharomyces cerevisiae* para todo o planejamento experimental pode ser classificado como sólido ultrafino. Partículas ultrafinas tem uma área de superfície maior em relação ao volume, o que pode afetar propriedades como a reatividade, a solubilidade e a adsorção.

4 CONCLUSÕES

O estudo avaliou a viabilidade da secagem em leito de espuma para biomassa de levedura obtida do processo de produção de cachaça, uma abordagem inovadora para reutilizar esse material.

Para a formação e caracterização da espuma, a combinação ideal para formação de espuma estável foi alcançada com 20% de espumante, diluição de 1/2 e 16 minutos de agitação, visto que a diluição é um fator crucial na produção da espuma. A menor influência da concentração de emulsificante na formulação da espuma é um aspecto positivo para a ampliação em escala do processo, resultando em custos operacionais mais baixos.

As curvas de cinética da secagem indicaram, na maior parte do processo, uma taxa constante com um curto intervalo de taxa decrescente, demonstrando a estabilidade do processo. Sendo, a temperatura o principal fator que influencia a cinética de secagem.

Para a caracterização dos pós da levedura *Saccharomyces cerevisiae* as análises físico-químicas revelaram: 13% de proteínas, 12% de lipídeos e 38% de carboidratos em média; baixa atividade de água e umidade e alto teor de cinzas (vitaminas e minerais) o que indica um bom valor nutricional do produto. Os pós obtidos são classificados como ultrafinos, sendo de importância para avaliação de solubilidade, reatividade e adsorção do mesmo.

Os pós obtidos apresentam potencial como suplemento alimentar para animais. Todavia se faz necessário a realização de estudos adicionais para comprovar a eficácia do subproduto industrial como suplemento para rações animais e avaliar a biodisponibilidade de nutrientes após a secagem.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, K. A.; PESSOA, C. E.; ALVEZ, V. M.; DIAS, L. G.; DAMIANIS, C.; SILVA, E. P. Granulometria e atividade de água de farinha de trigo, polvilho e trigo moído. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Gramado, RS, 2016.
- BASTOS, S. J. V. et al.. SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA COMO ALTERNATIVA PARA O BENEFICIAMENTO DE LEVEDURA CERVEJEIRA DESCARTADA¹.. In: **Anais do Simbiotec**. Anais...João Pessoa (PB) UFPB, 2024. Disponível em:<<https://www.even3.com.br/anais/iii-simbiotec-427979/860491/>>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- BELLAVER, C.; NONES, K. Importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. Embrapa. **IV Simpósio Goiano de Avicultura**, Goiânia, GO. 2000.
- BORNEMAN, A. R.; PRETORIUS, I. S. Genomic insights into the *Saccharomyces* sensu stricto complex. **Genetics**. 199(2):281-91. 2015.
- CELESTINO, S.M.C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Embrapa Cerrados. Planaltina. p 10, 2010.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (Psidiumguajava L.) em pó pelo método de secagem em camada espuma.** 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

DAVENPORT, G. M. et al. Effects of extruded pet foods containing dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on palatability, nutrient digestibility, and fecal quality in dogs and cats. **Translational animal science**, vol. 7, n. 1, p. 107, 2023. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glycerylmonostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 6, p. 486-491, 2003.

FIGUEREDO, R. C.; RIBEIRO, F. A.; SABADINI, E. Ciência de espumas: aplicações na extinção de incêndios. **Química Nova**, p.126-130, 1999.

FREITAS, H. S.; ALCALDE, C. R.; LIMA, L. S.; ZEOULA, M.; COSTA, L. S. E.; LIMA, L. R. Digestibilidade total e balanço de nitrogênio em cabritos recebendo ração contendo levedura seca. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 281-286, 2011. Disponível em: . Acesso em: <<https://www.scielo.br/j/asas/a/4b6VFSTGymVyJsfDYmkNPtc/?format=pdf&lang=pt>> 07 jan. 2025.

FRANCO, T. S.; ELLENDERSEN, L. N.; FATTORI, D.; GRANATO, D.; MASSON, M. L. Influence of the addition of albumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. **Food Bioprocess and Technology**, v. 8, p. 2012-2026, 2015.

GARCIA, D. M. **Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola.** 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias), Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2010.

KARIM, A. A., WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree stability and air-drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 48, p. 3.27-3.32, 2006.

KURTZMAN, Cletus. Discussion of Teleomorphic and Anamorphic Ascomycetous Yeasts and Yeast-like Taxa. In: *The Yeasts: A Taxonomic Study*. 5. ed. [S.l.]: Elsevier, 2011.

LAU, K.; DICKINSON, E. Structural and Rheological Properties of Aerated High Sugar Systems Containing Egg Albumen. **Journal of Food Science**, v. 69, p. 232-239, 2004.

LUTZ, I. A. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 1a ed. Digital, São Paulo, 2008.

LYONS, P. The new energycrisis: food, feed, or fuel? In: NUTRITIONAL BIOTECHNOLOGY IN THE FEED AND FOOD INDUSTRIES, 23., 2007. *Nottingham. Proceedings...* Nottingham: Nottingham University Press. 2007, p.1-10.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.

NEGREIROS, J.K.S. **Secagem em camada de espuma do suco da romã, composto por polpa e casca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

OLIVEIRA, R. F. **Estudo da secagem em camada de espuma do sangue bovino.** 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PARAPOULI, M. et al. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. **AIMS microbiology**. vol. 6,1, p. 1-31. 11 Feb. 2020.

PINHEIRO, W. S. et al. Secagem da biomassa de levedura *Rhodotorula glutinis* em camada de espuma. **Research, Society and Development**, v.9, n.11, 2020.

WIDYASTUTI, T. E. W.; SRIANTA, I. Development of functional drink based on foam-mat dried papaya (caricapapaya L.); optimization of foam-mat drying process and its formulation. **International Journal of Food, Nutrition and Public Health**, v. 4, n. 2, p. 167-176, 2011.

6 CONCLUSÕES

- Testes iniciais revelaram que concentrações do agente espumante Porto gel, abaixo de 5% não eram eficazes para formar espuma estável, mas concentrações mais altas e ajustes nos parâmetros de agitação permitiram criar espumas adequadas para a secagem em camada de espuma.
- Para a formação de espuma foi alcançada com uma diluição de 1/2, uma concentração de espumante de 20% e um tempo de agitação de 16 minutos. Esta combinação resultou em uma espuma com a maior incorporação de ar (283%) e a menor densidade (0,232g/cm³), indicando uma estrutura de espuma de alta qualidade e estabilidade.
- Os experimentos realizados evidenciaram que a temperatura é o principal fator que influencia a cinética de secagem, reduzindo significativamente o tempo necessário para alcançar o equilíbrio em temperaturas mais alta de 70 °C . As curvas de cinética da secagem indicaram, na maior parte do processo, uma taxa constante com um curto intervalo de taxa variável, demonstrando a estabilidade do processo.
- As análises físico-químicas realizadas nos pós revelaram dados promissores para sua utilização como suplemento alimentar para animais, apresentando 13% de proteínas, 12% de lipídeos e 38% de carboidratos em média, o que indica um alto valor nutricional. Considerando a origem da levedura da sangria, que acumula impurezas durante os ciclos de produção, como areia, argila e produtos acidificantes gerados pelo processo fermentativo, os valores médios de 22,1 °Brix e pH 4,16 são coerentes. Análise granulométrica classificou o pó como um sólido ultrafino.
- Os pós obtidos mostram potencial para produzir um produto comercializável com alto valor nutricional, conforme demonstram as análises físico-químicas. A baixa atividade de água e umidade indicam que o produto seco é estável e requer pouca manutenção. Além disso, o alto teor de cinzas sugere a presença de minerais .Apesar dos resultados positivos, é fundamental realizar mais estudos para comprovar a eficácia desse subproduto industrial como suplemento para rações animais, avaliando especialmente a biodisponibilidade de nutrientes após a secagem.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, A. R. **Cachaça: ciência, tecnologia e arte.** São Paulo: Blucher, 2014. 96p.
- AKPINAR, E. K., BICER, Y., YILDIZ, C. Thin layer drying of redpepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.99-104, 2003.
- AMORIM, H. V. Fermentação alcoólica: **Ciência e tecnologia.** Piracicaba: Fermentec, 103 p., 2005.
- AMORIM, K. A.; PESSOA, C. E.; ALVEZ, V. M.; DIAS, L. G.; DAMIANIS, C.; SILVA, E. P. Granulometria e atividade de água de farinha de trigo, polvilho e trigo moído. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Gramado, RS, 2016.
- BALBAY, A.; SAHIN, O.; KARABATAK, M. An investigation of drying process of shelledpistachios in a newly designed fixedbeddryer system by using artificial neural network. **Drying Technology**, v. 29, n. 14, p. 1685-1696, 2011.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos.** São Paulo: Atheneu, 1998. 316p.
- BASTOS, S. J. V; LEMOS, G. J. R.; MELO, G. M.P.C.; OLIVEIRA, G.T.; FREIRE, K. R. L.; CAVALCANTE, J. S.; SILVA, F. L. H. SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA COMO ALTERNATIVA PARA O BENEFICIAMENTO DE LEVEDURA CERVEJEIRA DESCARTADA¹.. In: **Anais do Simbiotec.** Anais...João Pessoa (PB) UFPB, 2024. Disponível em:<<https://www.even3.com.br/anais/iii-simbiotec-427979/860491/>>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- BAPTISTA, A. S.; HORII, J.; BAPTISTA, A. S. Fatores físico-químicos e biológicos ligados produção de micotoxinas. **Boletim CEPPA**, v. 22, n.1, p. 1-14, 2004.
- BELLAVER, C.; NONES, K. Importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. Embrapa. **IV Simpósio Goiano de Avicultura**, Goiânia, GO. 2000.
- BOEIRA, J. B.; STRINGARI, G. B.; LAURINDO, J. B. Estudo da desidratação de pêssegos por tratamento osmótico e secagem. **Boletim de CEPPA**, v. 25, p. 77-90, 2007.
- BONATO, D. V.; NEUMANN, M.; UENO, R. K.; HEKER JÚNIOR, J. C.; HORST, E. H.; CARNEIRO, M. K.; POCZYNEK, M.; RUTHS, R.; FIGUEIRA, D. N.; TEIXEIRA, P. P. M. Uso de leveduras vivas (*Saccharomyces cerevisiae*) na dieta de bovinos. **Revista Investigação Medicina Veterinária**, v. 14, n. 1, p. 1-7, 2015.
- BORNEMAN, A. R.; PRETORIUS, I. S. Genomic insights into the *Saccharomyces* sensu stricto complex. **Genetics**. 199(2):281-91. 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº. 13, de 29 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça. Diário Oficial da União de 30/06/2005, Seção 1, p. 3.
- BROCK, J; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEVSK, C.; CASTILHO, F.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Food Science and Technology**. v. 28, n. 3, p. 564-570, 2008.

CARVALHO G. B. M.; BENTO, C. V.; SILVA, J. B. A. Elementos Biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 1º parte - as leveduras. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, **Revista Analytica**, Lorena, n. 25, p. 36-42, 2006.

CAVALCANTE, J. A. **Análise experimental da cinética de secagem da alga marinha *Sargassum* sp.** 169 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CELESTINO, S.M.C. **Princípios de Secagem de Alimentos.** Embrapa Cerrados. Planaltina. p 10, 2010.

COLDEBELLA, I.J. e NETO, J.R. Farelo de soja na alimentação de alevinos de jundiá (Rhamdiaquelen). **Ciência Rural**, v.32, n.3, p.499-503, 2002.

CONAB. **Estimativa, produtividade e produção Safras 2023/2024 e 2024/2025.**

CONAB,2024. Disponível

em:<https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/52866_debcad81732c056406e505847b2c45de>. Acesso em: 23 jan. 2025.

COSTA, L. F. Leveduras na Ração Animal. **Revista eletrônica Nutritime**, v.1, n.1, p.01-06, 2004.

COTOIA, Alicia. **Saccharomyces cerevisiae**, 2020. Disponível

em:<<https://biologydictionary.net/saccharomyces-cerevisiae/>>. Acesso em: 12 out. 2024.

CRAIG, S.R.; McLEAN, E. The organicaquaculturemovement: a role for NuPro® as an alternativeproteinsource. In: **ALLTECH ANNUAL SYMPOSIUM**, 21., 2005, *Nottingham. Proceedings....Nottingham*: NottinghamUniversity Press. 2005. p.317-325.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidiumguava* L.) em pó pelo método de secagem em camada espuma.** 93p. Dissertação(MestradoemEngenhariadeAlimentos)– UniversidadeFederal deViçosa, Viçosa, 2013.

DAVENPORT, G. M. et al. Effects of extruded pet foodscontainingdried yeast (Saccharomyces cerevisiae) on palatability, nutrientdigestibility, and fecal quality in dogs and cats. **Translational animal science**, vol. 7, n. 1, p. 107, 2023. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

DOYMAZ, I. The kinetics of forcedconvective air-drying of pumpkinslices. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.243-248, 2007.

D'SOUZA, D.; FRIO, A. Bridging the post-weaningpiglet growth gap: the NuProexperience in the Asia Pacific region. In: **ALLTECH'S ANNUAL SYMPOSIUM**, 23., 2007, *Nottingham. Anais.... Nottingham*: Nottingham University Press, 2007. p. 41-48.

DZIEZAK, J.D. Yeast And Yeast Derivatives: Definitions, Characteristics And Processing. **Food Technology**, Chicago, v.41, n.2, p.103-121,1987.

EUSEBIO, P.; TORERO, A. Performance of commercialturkeysfed diets containingNuPro®. In: **NUTRITIONAL BIOTECHNOLOGY IN THE FEED AND FOOD INDUSTRIES**,23.,2007, Lexington. **Abstracts of posters presented at ALLTECH'S 23rd Annual Symposium(Suppl. 1)**. Lexington, KY, USA, 2007, p. 38.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glycerylmonostearate and eggalbumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 6, p. 486-491, 2003.

FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology. Principles and Practice**. 2a Ed. New York: CRC Press., 2000, 562p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 a edição. Porto alegre: Editora Artmed, 2010, p. 225-227, 900p.

FERREIRA, A. P. R. et al. Comportamento higroscópico de polpa de seriguela atomizada utilizando diferentes agentes carreadores de secagem. In: **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/comportamento-higroscopico-de-polpa-de-seriguela-atomizada-utilizando-diferentes-agentes-carreadores-de-secagem-17110>>. Acesso em: 12 out. 2024.

FIGUEREDO, R. C.; RIBEIRO, F. A.; SABADINI, E. Ciência de espumas: aplicações na extinção de incêncios. **Química Nova** , p.126-130, 1999.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. 2 a edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 670p.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2 Ed., New York: John Wiley& Sons, v.1, 2000. 2907p

FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GARCIA, D. M. **Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola**. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias), Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GASPARIN, P. P. **Secagem da Mentha piperita em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

HELLBORG, L.; PIŠKUR, J. Yeast Diversity in the Brewing Industry. In: **Beer in Health and Disease Prevention**. [s.l.] Elsevier, 2009. p. 77–88.

IBRAC – Instituto Brasileiro de Cachaça: Mercado interno. Disponível em: . Acesso em: 25 de fevereiro de 2024.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2010.

KARIM, A. A., WAI, C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puréestability and air-drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

- KUDRA, T.; RATTI, C. Foam-mat drying: Energy and cost analyses. **Canadian BiosystemsEngineering**, v. 48, p. 3.27-3.32, 2006.
- KURTZMAN, Cletus. Discussion of Teleomorphic and Anamorphic Ascomycetous Yeasts and Yeast-like Taxa. In: *The Yeasts: A Taxonomic Study*. 5. ed. [S.I.]: Elsevier, 2011.
- LAU, K.; DICKINSON, E. Structural and Rheological Properties of Aerated High Sugar Systems Containing Egg Albumen. **Journal of Food Science**, v. 69, p. 232-239, 2004.
- LIZ, C. N.; RODRIGUES, R. A.; SILVA, S. W.; SANTOS, A. C.; MELO, T. F. Produção de cachaça artesanal e seu contexto: um estudo de caso com alambiques do sul de Minas Gerais. Revista da UI_IPS Santarém-Unidade de Investigação do Instituto Politécnico de Santarém, p. 1-20, 2016. MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S. Y. Biometria em cana-de-açúcar. Produção Vegetal, ESALQ, Piracicaba, 2011. 18p.
- LUTZ, I. A. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1a ed. Digital, São Paulo, 2008.
- MADALENO, L. L. et al. Use of antimicrobials for contamination control during ethanolic fermentation Utilização de antimicrobianos para o controle da contaminação durante a fermentação etanólica. **Científica**, v. 44, n. 2, p. 226–234, 2016.
- MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, BA, 2009.
- MAYTA, S. M.; MASSARANI, G.; PINTO, J. C. Modeling of grain drying in continuous cross-flows sliding bed dryers. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 74, p. 797-805, 1996.
- MCMINN, W. A. M. Thin-layer modeling of the convective, microwave, microwave convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 113-123, 2006.
- MELO, K. P. **Secagem de biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) em um secador atmosférico condutivo com agitação mecânica: caracterização e avaliação do produto seco como bioadsorvente e complemento nutricional**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2010.
- MELO, K. S.; FIGUEIRÉDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.
- MORAES, S. O. **Secagem de alimentos**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2006.
- MORGAN, A. I.; GINNETTE, L. F.; RANDALL, J. M.; GRAHAM, R. P. Technique for improving instant foods. **Food Engineering**, v. 31, n. 9, p. 89-94. 1959.
- MOUNIR, S. **Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications**. CRC Press, 2017, 771 p. 2017.

NITZKE, J. A.; BIEDRZYCKI, A. **Leveduras**. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFGRS. Disponível em :<<https://www.ufgrs.br/alimentus1/pao/fermentacao/levedura.htm>> Acesso em: 14 out de 2024.

OLLE, M.A.; FLUCK, A. C.; PLAVAGLEO, P.; MOREIRA, S. R.; BRAUNE, C.C. Suplementação com leveduras na alimentação de bovinos. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinaria**, vol. 18, núm. 12, diciembre, 2017, pp. 1-16 VeterinariaOrganización Málaga, España.

OLIVEIRA, R. F. **Estudo da secagem em camada de espuma do sangue bovino**. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PACHECO, T.F. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. Dissertação. 2010. Disponível em: Acesso em: 07 jan. 2025.

PÁDUA, D.M.C. **Utilização de levedura alcoólica (*Saccharomyces cerevisiae*) como fonte protéica na alimentação de juvenis de pacu (*Piaractusmesopotamicus*, Pisces, Teleostei): Aspectos metabólicos e desempenho produtivo**. 1996. 120f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista, SP.

PARAPOULI, M.; ANASTASION, V.; AFENDER, A.S.; HATZILOUKES; E. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. **AIMS microbiology**. vol. 6,1, p. 1-31. 11 Feb. 2020.

PARK, K. J.; YADO, M. K.; BROD, F. P. Estudo de secagem de pêrabartlett (*Pyrusspp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 21, p. 288-292, 2001.

PEIXOTO, N. Processamento de produtos de biomassa de levedura para alimentação humana; potencial, mercado interno e externo. In: **Anais do Workshop Produção de Biomassa de Levedura: em alimentação humana e animal**; 1996; Campinas. Campinas: Ital; 1996. p.90-8.

PINHEIRO, W. S. **Secagem da biomassa de levedura *Rhodotorula glutinis* em camada despuma**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB.

PRETORIUS, I. S. Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancientart of winemaking. **Yeast**, v. 16, n. 8, p. 675-729, 2000.

PRETORIUS, I. S; CURTIN, C. D.; CHAMBERS, P. J. **The Winemaker's bug: From ancientwisdom to opening new vistas with frontier yeast science**. Bioengineered bugs, v. 3, p 147–156, 2012.

RECH, K. P. M. **Aproveitamento de resíduos da indústria cervejeira na elaboração de cupcake**. 2017. 44 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2017.

ROCHA, A.P.T. **Estudo do desempenho de um leite de jorro convencional para secagem de leveduras.** 2002. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2002.

ROMERO, J. T.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F.; TELIS, V. R. N.; MENEGALLI, F. C. **Secagem de produtos alimentícios.** São José do Rio Preto: UNESP, 1997. p. 58.

SA, S.N. **Estudo da cinética de secagem de levedura *S. cerevisiae* para uso como fonte proteica na ração animal.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB.

SANGAMITHRA, A. S.; VENKATACHALAM; S.; JOHN S. G.; KUPPUSWAMY, K. Foam mat drying of food materials: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, vol 39, n. 6, p. 3165–3174, 2014.

SANTOS, G. D. Perspectivas brasileira e mundial da produção de leveduras. In: **I Congresso Internacional sobre Uso da Levedura na Alimentação Animal**, 2009, Campinas. Anais I Congresso Internacional sobre Uso da Levedura na Alimentação Animal, Campinas: CBNA, 2009.

SANTUCCI, M.C.C.; ALVIM, I.D.; DE FARIA, E.V.; SGARBieri, V.C. Efeito do enriquecimento de biscoitos tipo água e sal, com extrato de levedura (*Saccharomyces* sp.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n.3, p.441-446, 2003.

SANTOS, DAYANE DE SOUZA. **A obtenção da levedura seca através do método Spray-Dryer.** 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Química Tecnológica e Industrial), Universidade Federal de Alagoas -AL, 2023.

SICARD, D.; LEGRAS, J-L. **Bread, beer and wine:** Yeast domestication in the *Saccharomyces* sensu stricto complex. **C. R. Biologies**, n. 334, p. 229–236, 2011.

SILVA FILHO, E. D.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GUIMARÃES, M. K. A. **Cinética de secagem em camada de espuma da polpa da manga** cv. Haden. **ComunicataScientiae**, v. 7, n. 3, p. 354 – 361, 2016.

SILVA, J. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** 2a ed. Viçosa - MG: Aprenda fácil, 2008. 560 p.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araca-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma.** 27 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leito de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobramgrandiflorum*).** 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal da Bahia, Itapetinga, 2011.

STECH, W. R.; PANDOLFI, M. A. C. Estudo de Viabilidade Econômica na Produção de Cachaça Artesanal. **Revista Interface Tecnológica**, v.16, n. 1, p. 360-369, 2019.

STEENSELS, J.; VERSTREPEN, K. J. **Taming Wild Yeast:** Potential of Conventional and Nonconventional Yeasts in Industrial Fermentations. **Annu. Rev. Microbiol.**, v. 68, p. 61–80, 2014.

- TIBBETS, G. W. Biopeptides in post weaning diets for pigs: results to date. In: NUTRITIONAL BIOTECHNOLOGY IN THE FEED AND FOOD INDUSTRIES, 16., 2000. *Nottingham. Proceedings... Nottingham*: Nottingham University Press. 2000, p.347-368.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. 2012. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed. 934p. 2012.
- VIEIRA, V. A. **Levedura (Saccharomyces cerevisiae) na alimentação de vacas da raça Jersey**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016.
- WAUGHON, T. G.; PENA, R. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **B. CEPPA**, v. 26, p. 297-306, 2008.
- WEETMAN, C. A circular economy handbook for business and supplychains: Repair, remake, redesign, rethink. Kogan Page Ltd. 2019.
- WIDYASTUTIL, T. E. W.; SRIANTA, I. Development of functional drink based on foam-matdriedpapaya (caricapapaya L.); optimization of foam-mat drying process and its formulation. **InternationalJournal of Food, Nutrition and Public Health**, v. 4, n. 2, p. 167-176, 2011.
- YAMADA, E. A.; ALVIM, I.D.; SANTUCCI, M.C.C.; SAGARBIERI, V. C. Composição centesimal e valor protéico de levedura residual da fermentação etanólica e de seus derivados. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.16, n. 4, p. 423-432.2003. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rn/a/3KRqWh5Fn7LpYRs8Tw5hfsD/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 12 out. 2024.