

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANTONIO FRANCISCO DE LIMA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA NA QUALIDADE DE
CEBOLA EM PÓ**

CAMPO MOURÃO

2021

ANTONIO FRANCISCO DE LIMA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA NA QUALIDADE DE
CEBOLA EM PÓ**

Influence of foam layer drying on the quality of onion powder

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos programa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

Co-orientadora: Ma. Vanessa Carvalho Rodrigues

CAMPO MOURÃO

2021

ANTONIO FRANCISCO DE LIMA JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA NA QUALIDADE DE
CEBOLA EM PÓ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
como requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Alimentos pelo Programa da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 13 de agosto de 2021

Roberta de Souza Leone
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Tamires Barlati Vieira da Silva
Mestrado
Universidade Estadual de Maringá

Bogdan Demczuk Junior (Orientador)
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vanessa Carvalho Rodrigues (Coorientadora)
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Primeiro eu gostaria de agradecer a Deus por ter me dado forças para chegar tão longe, pois durante toda a minha graduação eu duvidei de mim mesmo, duvidei que este momento chegaria, em diversas fases eu acreditei que não fosse possível e que esta não era a decisão certa (ser engenheiro).

Foram 5 anos de muitas descobertas, transformações, de muito preconceito e de muita luta para tentar se encaixar nos padrões que a sociedade impõe ainda hoje, mas com o passar do tempo ela me ensinou que os meus sonhos podem ser gigantescos, eles só se realizaram se eu tentar, não depende dos outros mas exclusivamente de mim, me mostrou que o mundo está aí esperando por mim, esperando para me recompensar, mas que eu terei de lutar e jamais desistir, fracassar mas acreditar, perder mas persistir. Então eu agradeço a mim por não desistir de mim mesmo.

Agradeço aos meus pais, a minha mãe Maria por desde tão cedo ter me ensinado que os livros seriam meu futuro, por ter me encorajado, por ouvir meus desabafos, por ser meu porto seguro e ainda ser um exemplo de vida que quero levar por toda minha caminhada. Ao meu pai Antonio por ter me apoiado por tanto tempo e acreditado no meu potencial desde tão cedo, e mesmo não estando sempre presente sempre se demonstrou orgulhoso de mim.

A minha irmã Andheara por ser um exemplo de irmã, por sempre me apoiar, por me encorajar a tomar decisões complicadas, por acreditar em mim e me dizer que sou capaz de coisas grandes na vida.

Aos meus amigos Vinicius, Gustavo, Alexandre, Jacqueline, Anna, Paulinha e Geisi, - por serem anjos que Deus colocou em minha vida, por sempre estarem ao meu lado me ouvindo, me aguentando, lutando por mim e comigo, por acreditarem e cuidarem de mim, por não me deixarem sozinho, por serem luz na minha vida.

Ao Fabricio psicólogo da universidade, com seu excelente trabalho me trouxe paz em um momento de trevas na minha vida, ele foi um ótimo conselheiro, ele me ajudou a me encontrar e encontrar o caminho da felicidade, me mostrou que mereço ser feliz, me ajudou bastante e devo muito a ele.

A minha coorientadora Vanessa que me deu todo suporte me auxiliando no laboratório, me ajudando nas análises e em todo trabalho, foi uma maravilha poder

trabalhar contigo, saiba que agregou muito ao trabalho e estou eternamente grato por isso.

Ao meu orientador Bogdan por ter aceitado este desafio, pois acredito que acabei por dar bastante trabalho, pois não havia horário certo para tirar dúvidas, saia correndo a qualquer horário em busca de socorro e nunca fui desamparado. Foi um prazer e uma honra poder lhe chamar de professor, orientador, amigo. Obrigado por tudo.

Ao pessoal do laboratório ao qual hoje faço parte, por serem pessoas maravilhosas e que sempre me deram todo suporte, sempre me ajudaram, sempre estiveram lá para o que eu precisasse, meu muitíssimo obrigado.

Aos professores da minha banca examinadora, professora Roberta de Souza Leone por ter aceitado participar deste trabalho, por avaliar de forma tão construtiva meu trabalho, por me dar dicas e críticas valiosíssimas para agregar ao meu trabalho, e por ser uma excelente professora que tive o prazer de conhecer. Também a Mestra em Tecnologia de Alimentos Tamires Barlati que aceitou o desafio e que da mesma forma avaliou meu trabalho de forma construtiva, critica e me ajudou muito com dicas para que o trabalho ficasse excelente. Obrigado as duas por tudo.

E a todos os meus professores que foram incríveis e maravilhosos na minha graduação, que me ensinaram tanto e me mostraram que o caminho do conhecimento é primordial para o crescimento humano, social, que com ele podemos mudar o mundo.

OBRIGADO A TODOS!!

RESUMO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das hortaliças com a produção mais satisfatória dentro do território brasileiro. Pertencente à família *Aliaceae*, é uma cultura anual para a produção de bulbos e bianual para a produção de sementes e seu consumo pode variar de cruas, desidratadas e até mesmo em aplicações em processos industriais para produção de alimentos. As técnicas de conservação são muito importantes na operação das indústrias de alimentos. A secagem de sólidos é uma alternativa para auxiliar nesta conservação, pois prolonga a durabilidade do alimento devido a remoção de água, reduz o volume do produto e conseqüentemente reduz os gastos com embalagem, transporte e manuseio. A secagem em leito de espuma é uma alternativa para a aplicação em processos industriais, devido a sua capacidade de processar grandes volumes a baixas temperaturas, ao trabalhar com grandes áreas superficiais. O objetivo deste trabalho foi utilizar o método da camada de espuma para secar cebola e avaliar a influência da secagem em camada de espuma na qualidade de cebola em pó. Foram realizados 12 experimentos com 3 fatores de variação: agente espumante (1, 3,5 e 6%), razão cebola/água (0,67, 0,5 e 0,4 g/mL) e tempo de agitação (4, 7 e 10 min), todos a temperatura de 80 °C. Três modelos matemáticos foram empregados para o estudo da cinética de secagem (Newton, Henderson-Pabis e Page). Para a caracterização do pó, foram empregadas as seguintes análises: solubilidade, densidade absoluta, densidade aparente, cor instrumental, umidade, porosidade, proteína e estabilidade. Pelo modelo de Page, obtiveram-se os maiores valores de R² (entre 98,8 a 99,8), os menores erros médios relativos (entre 0,73 a 3,35%). Na caracterização físico-química do pó de cebola o único parâmetro que mostrou influência nas análises foi a porcentagem de agente espumante presente na mistura. Apenas os resultados de estabilidade, solubilidade e densidade aparente sofreram influência significativa da porcentagem de agente espumante utilizado. Os teores de proteína variaram de 0,0019 a 0,005%. A análise colorimétrica apresentou valores de 79,6 a 88,9 (L*), -0,67 a 4,47 (a*) e 20,7 a 29,7 (b*). A umidade teve uma variação de 7,05 a 19,2%. Os melhores resultados de estabilidade foram em concentrações altas de agente espumante por um tempo de agitação maior. O maior valor de porosidade foi de 0,62. Para a solubilidade, os resultados ficaram entre 6,51 a 17,1%. A densidade aparente variou de 0,63 a 0,95 g/cm³. A densidade absoluta teve resultados que variaram de 0,32 a 0,5 g/cm³. Com base nos resultados obtidos, os tratamentos aplicados se mostraram eficazes para a produção de pó de cebola.

Palavras-chave: *Allium cepa* L.; cebola; secagem; camada de espuma; cinética de secagem; caracterização físico-química.

ABSTRACT

Onion (*Allium cepa* L.) is one of the vegetables with the most satisfactory production within the Brazilian territory. Belonging to the *Aliaceae* family, it is an annual crop for the production of bulbs and biannual for the production of seeds and its consumption can vary from raw, dehydrated and even in applications in industrial processes for food production. Conservation techniques are very important in the operation of food industries. Drying solids is an alternative to aid in this conservation, as it prolongs the shelf life of the food due to the removal of water, reduces the volume of the product and consequently reduces expenses with packaging, transport and handling. Foam bed drying is an alternative for application in industrial processes, due to its ability to process large volumes at low temperatures, when working with large surface areas. The objective of this work was to use the foam layer method to dry onion and evaluate the influence of foam layer drying on the quality of powdered onion. Twelve experiments were carried out with 3 variation factors: foaming agent (1, 3.5 and 6%), onion/water ratio (0.67, 0.5 and 0.4 g/mL) and stirring time (4, 7 and 10 min), all at a temperature of 80°C. Three mathematical models were used to study the drying kinetics (Newton, Henderson-Pabis and Page). For the characterization of the powder, the following analyzes were used: solubility, absolute density, bulk density, instrumental color, moisture, porosity, protein and stability. Using the Page model, the highest values of R^2 were obtained (between 98.8 and 99.8), the smallest relative average errors (between 0.73 and 3.35%). In the physicochemical characterization of onion powder, the only parameter that showed influence in the analyzes was the percentage of foaming agent present in the mixture. Only the stability, solubility and bulk density results were significantly influenced by the percentage of foaming agent used. Protein contents ranged from 0.0019 to 0.005%. The colorimetric analysis showed values from 79.6 to 88.9 (L^*), -0.67 to 4.47 (a^*) and 20.7 to 29.7 (b^*). Humidity ranged from 7.05 to 19.2%. The best stability results were at high foaming agent concentrations for longer stirring time. The highest porosity value was 0.62. For solubility, the results were between 6.51 to 17.1%. Bulk density ranged from 0.63 to 0.95 g/cm³. Absolute density had results ranging from 0.32 to 0.5 g/cm³. Based on the results obtained, the treatments applied proved to be effective for the production of onion powder.

Keywords: *Allium cepa* L.; onion; drying; foam layer; drying kinetics; physicochemical characterization.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Cebola	15
3.2	Secagem	17
3.3	Secagem em leito de espuma	18
3.4	Aditivos	20
4	METODOLOGIA	23
4.1	Materiais	23
4.2	Métodos	23
4.2.1	Produção da espuma de cebola	23
4.2.2	Secagem	24
4.2.3	Caracterizações físico-químicas	25
4.2.3.1	Estabilidade da espuma	25
4.2.3.2	Solubilidade do pó	25
4.2.3.3	Densidade	26
4.2.3.4	Densidade aparente	26
4.2.3.5	Porosidade intragranular	27
4.2.3.6	Análise colorimétrica	27
4.2.3.7	Proteína	27
4.2.3.7	Umidade	28
4.2.4	Análise estatística	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30

5.1 Cinética de secagem.....	30
5.2 Caracterização físico-química do pó de cebola	33
6 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (<i>Allium cepa</i> L.) Visão geral da planta.....	15
Figura 2 - Esquema das partes da cebola.....	16
Figura 3 - Modelo esquemático da secagem por camada de espuma.....	19
Figura 4 - Curva de secagem do pó de cebola.	30
Figura 5 - Superfície de resposta para a estabilidade (%) do pó de cebola obtido pela secagem em leito de espuma em função da temperatura (°C) e do agente espumante (%).	35
Figura 6 - Superfície de resposta para a solubilidade (%) do pó de cebola obtido pela secagem em leito de espuma em função do tempo (min) e do agente espumante (%).	36
Figura 7 - Superfície de resposta para a densidade aparente (g/cm³) do pó de cebola obtido pela secagem em leito de espuma em função do tempo (min) e do agente espumante (%).	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores utilizados e seus os respectivos níveis codificados e não codificados.	23
Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para descrever a secagem da espuma de cebola.	24
Tabela 3 - Parâmetros e coeficientes para as equações de Page na análise dos dados de secagem de pó de cebola na temperatura de 80°C.	32
Tabela 4 - Caracterização físico-química do pó de cebola.	33

1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das culturas mais antigas existentes, tendo seu cultivo iniciado há mais de 5.000 anos. Sua implementação no Brasil veio através da colonização dos estados do Sul por meio de imigrantes açorianos, principalmente na região sul do Brasil, por volta do século XVIII (BARBIERI *et al.*, 2005).

Ela possui um ciclo bienal, que basicamente compreende uma fase vegetativa (formação do bulbo) no primeiro ano e uma fase reprodutiva (florescimento e produção de sementes) no segundo ano (RESENDE *et al.*, 2007).

É uma das produções de hortaliças mais satisfatórias do Brasil. No ano de 2018, a produção brasileira foi de aproximadamente 1.606.512 toneladas, mas em 2019, houve uma produção de 1.538.499 toneladas, com uma queda de 4,2% na produção, segundo o levantamento sistemático da produção agrícola realizado pelo IBGE (BARRADAS *et al.*, 2019). Com esta queda, houve um aumento do preço médio em 38%. Devido a redução da área de produção, houve uma menor produtividade e assim um aumento das importações e uma elevação nos preços de mercado (ESALQ/USP, 2019).

Sua aplicação pode variar desde seu consumo cru, cozidas, minimamente processadas, aplicadas em processos industriais para produção de alimentos, desidratadas, picadas, dentre outras formas (MICHALSKY *et al.*, 2004).

As técnicas de conservação são muito importantes na operação das indústrias de alimentos e a secagem está entre as mais aplicadas, por possibilitar o desenvolvimento de novos produtos e ingredientes (BEZERRA, 2007). Esta operação se baseia na remoção da água presente no alimento na forma de vapor por meio da transferência de calor, com condições de temperatura, umidade e corrente de ar controladas (BEZERRA, 2007; PEREIRA, 2015).

A desidratação de hortaliças resulta em produtos que se conservam por um período de tempo mais prolongado e não sofrem alterações drásticas em suas características nutritivas (BEZERRA, 2007). Além de ocorrer uma perda de massa, consequentemente há uma redução no volume do produto final, assim diminuem os custos para produção de embalagem, transporte e manuseio (PINEDO, 2003).

A secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) foi proposta por Morgan e sua equipe na década de 1950 e patenteada em 1961. Pode ser aplicada em

alimentos líquidos e semilíquidos, através da transformação do alimento em uma espuma estável por meio da incorporação de ar em sua estrutura juntamente com um agente emulsificante/estabilizante (PEREIRA, 2015).

O método baseia-se em três etapas: primeiro a remodelação do alimento líquido ou pastoso em uma espuma estável através da adição de agentes espumantes com auxílio de equipamentos para realizar agitação, como batedeiras ou geradores de espuma; a segunda etapa consiste em espalhar a espuma sobre uma superfície perfurada ou não, com uma espessura de 2 a 5 mm; a terceira se caracteriza pela secagem da espuma por meio de correntes de ar quente e transformação do produto final em pó (SOUZA, 2011).

As desvantagens estão na necessidade de grandes áreas superficiais para secagem em grande escala, o que eleva o custo inicial de investimentos. Dependendo do aditivo selecionado, pode ocorrer a modificação de características sensoriais, além de que caso a espuma não permaneça estável pode ocorrer um colapso celular, comprometendo a qualidade do produto (GURGEL, 2014; KARIM, 1999).

As vantagens desse método estão na possibilidade do emprego de temperaturas mais baixas no processo e o menor tempo de secagem por conta do tamanho da área superficial que está exposta ao ar, que causa um aumento da velocidade do processo, além do baixo custo quando comparado a outras técnicas como a liofilização e a secagem a vácuo (KARIM, 1999).

Esta técnica tem sido aplicada em uma grande variedade de produtos alimentícios, como polpa de cagaita (MOTTA, 2018), polpa de juazeiro (VASCONCELOS, 2017), polpa de goiaba (CRUZ, 2013), polpa de manga (FILHO *et al.*, 2016), extrato de gengibre (BARBOSA, 2016), polpa de graviola (GURGEL, 2014), dentre outras.

Até o presente momento, nenhum estudo relacionado a secagem pelo método da camada de espuma aplicado para obtenção de produtos de cebola foi encontrado na literatura. Conseqüentemente, este trabalho tem por objetivo aplicar a técnica da secagem em camada de espuma em cebola e avaliar a influência do método na qualidade do produto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da secagem em camada de espuma na qualidade de cebola em pó.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar as condições experimentais do processo (razão cebola/água; agente espumante; porcentagem de agente espumante e tempo de agitação);
- Estudar a cinética de secagem da cebola pelo método de camada de espuma;
- Avaliar as características físico-químicas do produto obtido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cebola

A cebola é legume da família *Aliaceae*, e é classificada botanicamente como *Allium cepa* L. Possui uma grande variedade genética, sendo representada por centenas de cultivares desde as formas tradicionais de cultivo através da polinização aberta até as formas modernas (LEITE, 2012). Na Figura 1 podemos ter uma visão geral da planta.

Figura 1 - *Allium cepa* L., visão geral da planta.



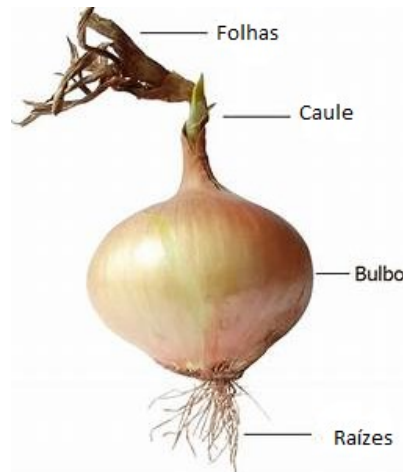
Fonte: LINWOOD (2020).

É uma cultura anual para a produção de bulbos e bianual para produção de sementes. Se trata de uma planta herbácea de folhas grandes subcilíndricas ocas (tubulares), lisas e cerosas, e isso acaba por dificultar a absorção de nutrientes via foliar. A parte do bulbo que normalmente é comercializada, é formada pelo entumescimento das bainhas das folhas sobrepondo-se umas às outras, gerando um órgão de reserva de carboidratos (ESPÍNDOLA, 2014).

O crescimento da planta é lento até aproximadamente metade do ciclo. Após este tempo, começa a bulbificação e a translocação de fotoassimilados e outros compostos para o bulbo. É nesta fase que ocorre uma acumulação rápida e grande

de matéria seca no bulbo (ESPÍNDOLA, 2014). Na Figura 2, pode-se observar o esquema que contém as partes básicas da cebola.

Figura 2 - Esquema das partes da cebola.



Fonte: PASCUAL (2020).

As temperaturas mais baixas são essenciais por ajudar a planta a passar da fase vegetativa para a reprodutiva, pois com temperaturas mais baixas a indução para que ocorra uma diferenciação das gemas florais acontece de forma mais fácil (LANDAU, 2020). Caso haja muita variação na temperatura, não ocorre a bulbificação e a planta se torna improdutiva, sendo chamadas de “charutos”. A aplicação de temperaturas elevadas leva a produção de bulbos precoces (bulbificação prematura indesejada). A temperatura ideal varia de 15,5 °C a 21,1 °C (COSTA, 2007).

A cebola se classifica como uma planta de dias longos, ou seja, precisa de um número maior de horas expostas a luz do sol para bulbificarem. Este também pode ser um fator para a produção dos “charutos”, pois caso a planta não esteja no fotoperíodo adequado, pode prejudicar seu desenvolvimento. O mesmo vale para o desenvolvimento de bulbos precoces, o que também não é desejável. O fotoperíodo é decisivo na bulbificação (COSTA, 2007; LANDAU, 2020).

Ela também é uma planta sensível ao déficit hídrico, necessitando de água que seja suficiente para o seu desenvolvimento, principalmente durante a fase de desenvolvimento do bulbo. No caso de chuvas em excesso, acaba por causar o apodrecimento dos bulbos ainda no campo, por isso o controle hídrico deve ser feito

de forma correta, pois a falta ou o excesso de água em qualquer etapa pode prejudicar o rendimento final (COSTA, 2007).

Comparada com outras hortaliças, a cebola se destaca por ser rica em cálcio e em riboflavina, além de vitamina B1, B2 e teores medianos de vitamina C, além da presença de minerais como cálcio, ferro, fosforo, magnésio, potássio, sódio e selênio. Os principais princípios ativos da cebola são os sulfóxidos alquila de cisteína, junto com compostos sulfurados como ajoeno, aliina e aliocina. A ardência nos olhos provocada durante o corte ou descascamento se deve a presença de derivados metil e propilssulfóxidos de cisteína. Ela também é rica em flavonoides (principalmente as antocianinas e flavonois) e saponinas (ALMEIDA, 2009).

O cultivo tem grande impacto social devido ao fato de envolver grande mão de obra e ser representativa para a agricultura familiar (LEITE, 2012).

3.2 Secagem

O processo de secagem é um método que consiste na remoção de água de um determinado material na forma de vapor, por meio da vaporização térmica (aplicação de calor). É um fenômeno complexo que engloba estudos sobre transferência de calor e massa, podendo ainda incluir a transferência de quantidade de movimento (CELESTINO, 2010; FERREIRA, 2010; PARK *et al.*, 2014).

A maioria dos alimentos sofre com o processo de deterioração devido à atividade de água presente nele. No alimento há duas formas de água, a água livre (conhecida como atividade de água) que fica nos espaços intergranulares e nos poros do alimento e a água combinada que é a soma da água absorvida e da água ligada. Dentre estas duas formas, a mais importante na indústria é a água livre ou atividade de água, pois com ela é possível prever o crescimento de micro-organismos e as reações que podem causar alteração no produto. Então, em um processo de secagem esta forma de água que é retirada do alimento (CELESTINO, 2010; CORNEJO).

A secagem tem como objetivo aumentar a vida de prateleira por meio da redução do teor de água do produto, mas mantendo a sua qualidade. A secagem também inclui a redução do volume o que passa a facilitar o transporte e o armazenamento. Por tais razões, é uma das operações unitárias mais empregadas no ramo alimentício (CELESTINO, 2010; CORNEJO; FERREIRA, 2010).

O processo de secagem basicamente se utiliza de ar quente para realizar a transferência de calor para o produto e conseqüentemente a vaporização da água nele presente, causando a desidratação do produto. Ela pode ser realizada a pressão atmosférica ou à pressão reduzida em equipamentos como secadores a vácuo. A eficiência do processo depende da temperatura e da umidade relativa do ar que será empregado na secagem (CELESTINO, 2010; PARK *et al.*, 2014).

Dois parâmetros são essenciais na secagem: a temperatura e a umidade do alimento. O tempo do processo depende da rapidez com que o alimento perde umidade e isso pode ser controlado por meio do conhecimento das características da matriz alimentar e por um conjunto de parâmetros (como a temperatura, a velocidade e a umidade relativa do ar de secagem) (CELESTINO, 2010).

Durante a secagem, há vários mecanismos pelos quais o movimento da água do interior do alimento até a sua superfície é analisado. Entre eles há a difusão líquida, que ocorre devido a existência do gradiente de concentração e a difusão de vapor, que ocorre por conta do gradiente de pressão de vapor. Esse gradiente é causado pelo gradiente de temperatura e o pelo escoamento de líquido e vapor que é causado por conta das diferenças de pressão externa, de concentração, capilaridade e temperatura (PARK *et al.*, 2014).

Há alguns efeitos que o processo de secagem pode causar nos produtos, como mudanças nos aspectos sensoriais tais como cor, aroma, sabor, textura, oxidação de lipídios, oxidação de vitamina C e degradação de pigmentos (CELESTINO, 2010; CORNEJO).

Existem vários tipos de secadores que podem ser utilizados, como o secador de bandeja, túnel, esteira, leito fluidizado ou leito de jorro, liofilizador e por atomização (*spray dryer*). Cada um pode ser aplicado de acordo com a finalidade do processo usado na indústria (CELESTINO, 2010).

3.3 Secagem em leito de espuma

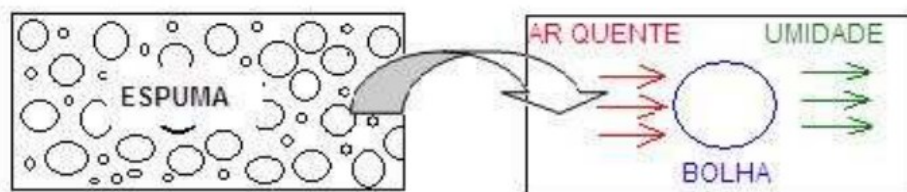
O método de secagem em leito de espuma é uma técnica de conservação que consiste na transformação de uma pasta, líquido, semilíquido ou suspensão em uma espuma estável que é produzida através de batedura e incorporação de ar ou outro gás e a adição de agentes emulsificantes e/ou estabilizantes. O processo consiste em utilizar ar aquecido para secar o produto até o ponto em que ele atinja um teor

de umidade ou atividade de água desfavorável ao crescimento de microrganismos, reações químicas e/ou enzimáticas (DANTAS, 2010; PÊ *et al.*, 2014; PEREIRA, 2015).

É um processo de baixo custo financeiro quando comparado com outros métodos convencionais. Tem a capacidade de produzir produtos de alta qualidade além de oferecer grandes possibilidades comerciais, pois pode ser aplicado em diversos alimentos como café, suco de laranja, uva, goiaba, carambola e outros produtos instantâneos (PEREIRA, 2015).

Na Figura 3 pode ser observada a formação de espuma caracterizada por sua extensa superfície que pode ser estendida em camada delgada. Ao ser exposta a corrente de ar quente, a secagem ocorre com maior facilidade devido ao movimento da umidade pelas forças capilares através da película líquida que separa as bolhas da espuma (DANTAS, 2010).

Figura 3 - Modelo esquemático da secagem por camada de espuma.



Fonte: DANTAS (2010, p.16).

O processo de secagem em camada de espuma ocorre em três etapas. A primeira é caracterizada pela formação da espuma por meio da adição de agentes espumantes. Em seguida, ocorre a secagem do produto em camada fina e por último, a pulverização do material desidratado. Durante o processo a estrutura, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma são responsáveis pela movimentação da água durante a secagem e isso acaba por impactar na qualidade do produto final (DANTAS, 2010).

A função dos agentes emulsificantes/estabilizantes é ajudar a manter a espuma estável por um período de tempo maior, mantendo uma estrutura estável durante o processo de secagem. Outra finalidade está relacionada à expansão do material, reduzindo a sua densidade e assim possibilitando a formação e manutenção de uma dispersão uniforme. A espuma deve permanecer com a

estrutura aberta durante a secagem para que o tempo de processo não seja tão longo (MAFRA, 2017; SEVERO, 2016).

As espumas são consideradas estáveis se não colapsarem durante um período de uma hora a temperatura ambiente. Se passarem neste teste, podem ser consideradas mecanicamente ou termicamente estáveis para o processo completo de secagem. Essa estabilidade confere uma estrutura porosa por um longo tempo o que ajuda na melhoria das propriedades de reconstituição do produto seco, pois elas passam por processos de bombeamento, expansão, extrusão e secagem (DANTAS, 2010; PEREIRA, 2015).

Dentre as vantagens da aplicação desse método estão a aplicação de temperaturas mais baixas do que as convencionais além de possuir um tempo menor de secagem, devido a maior área superficial exposta ao ar, o que aumenta a velocidade de remoção da água. Além disso, o processo possibilita a produção de um produto final em forma de pó e de fácil reidratação. É muito utilizado em produtos sensíveis a temperatura. Os produtos obtidos por este método têm sua qualidade comparável a produtos obtidos por secagem a vácuo ou por liofilização (DANTAS, 2010, SEVERO, 2016; SOUSA *et al.*, 2020).

O conhecimento das curvas de secagem é importante para que o desenvolvimento de processos e dimensionamentos de secadores sejam corretos, pois assim é possível estimar o gasto energético, tempo de secagem e determinar as melhores condições de operação. E mesmo com o dimensionamento correto, ainda há mais variáveis que podem influenciar no processo, como tipo de produto e condições de secagem (MACIEL *et al.*, 2016).

3.4 Aditivos

O método de secagem em camada de espuma pode ser aplicado em produtos como polpa ou sucos de frutas, por ser uma técnica simples, barata e rápida. O método utiliza agentes espessantes, emulsificantes e estabilizantes com o objetivo de manter a espuma estável durante todo o processo (LISBÔA, 2011).

Os aditivos são substâncias aplicadas para manter a dispersão de um líquido em outro, como por exemplo, óleo e água. Segundo a Portaria nº 540 - SVS, de 27 de outubro de 1997, aditivo alimentar: “é qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos, sem propósito de nutrir, com o objetivo de modificar

as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento” (BRASIL, 1997; PINTO, 2009).

Entre as diversas classes, podem ser citados os agentes emulsificantes (ou surfactantes) que ao serem adicionados a emulsões permitem que a estabilidade seja aumentada tornando-as razoavelmente estáveis e homogêneas (PINTO, 2009).

Uma emulsão é um sistema composto por duas fases onde seus respectivos componentes são imiscíveis, havendo um dispersado de glóbulos limitados no outro, ou seja, são sistemas heterogêneos (dispersões coloidais), composto por uma fase interna, dispersa ou descontínua e por uma fase que rodeia as gotículas. Os emulsificantes são substâncias que conferem a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis. Eles são aplicados nos alimentos com a finalidade de melhorar a textura, estabilidade, volume, maciez, aeração e a homogeneidade, contribuindo para uma melhoria na qualidade do produto (BRASIL, 1997; HONORATO *et al.*, 2013; RADUJKO *et al.*, 2011; SANTANA, 2021).

A maioria dos emulsificantes são derivados de mono e diacilgliceróis ou de álcoois. Sua estrutura química em geral é composta por uma porção hidrofóbica (cadeia longa alquílica) e uma parte hidrofílica (iônica ou polar). Essa composição torna possível a interação na interface de duas substâncias imiscíveis. Um fator que deve ser levado em consideração é o balanço correto da hidrofilicidade e lipofilicidade (HLB), pois quanto maior o valor de HLB maior a hidrofilicidade e quanto menor o valor de HLB maior a lipofilicidade (ADAMI, 2016; PINTO, 2009).

Os estabilizantes têm a característica de permitir a manutenção de uma dispersão uniforme de duas ou mais substâncias imiscíveis enquanto que os espessantes ajudam a aumentar a viscosidade do alimento. São formados por polissacarídeos, como amido, ou ainda proteínas, como a gelatina, eles ajudam a estabilizar as emulsões (BRASIL, 1997; PINTO, 2009).

Os espessantes mais usados são a carragena, goma guar, carboximetilcelulose, goma xantana, goma gelena e a dextrana. A eficácia dos polissacarídeos está na facilidade que estes elementos influenciam na viscosidade da mistura (DIAZ *et al.*, 2004; SANTANA, 2021).

A albumina é derivada de ovos brancos e possui como limitante a reação alérgica aos ovos nos casos dos consumidores que restrição alimentar a este

agente. O Emustab é uma mistura comercial produzida a partir de mono e diglicerídeos destilados (PINTO, 2009).

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

A cebola utilizada nos experimentos foi do tipo amarela, adquirida no comércio local da cidade de Campo Mourão (PR). Os agentes espumantes testados foram a albumina e um emulsificante comercial (Emustab, Selecta), também adquiridos no comércio local da cidade de Campo Mourão (PR). Os reagentes utilizados nas caracterizações da cebola em pó obtida foram todos de grau analítico e fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

4.2 Métodos

4.2.1 Produção da espuma de cebola

As cebolas foram lavadas em água corrente, removendo-se o excesso de água com um pano limpo e seco. Manualmente, com auxílio de uma faca, as extremidades foram cortadas e as cebolas descascadas. As cebolas foram cortadas em pedaços menores em seguida foram branqueadas com água destilada a uma temperatura de 90 °C por um período de 5 minutos, antes de serem resfriadas e em seguida trituradas com o auxílio de um liquidificador até formar uma pasta. A cebola triturada foi misturada com água e agente espumante em uma batedeira doméstica. A escolha das proporções de água do tipo de agente espumante seguiu um delineamento fatorial com três níveis e três fatores (3^3), que foi realizado em duplicata. As variáveis escolhidas foram cebola/água (fator 1), porcentagem de agente espumante (fator 2) e tempo de agitação (fator 3). A resposta avaliada foi a estabilidade da espuma, que foi calculada conforme o item 4.2.3.1. Na Tabela 1 são mostrados os níveis codificados e não codificados.

Tabela 1 - Fatores utilizados e seus respectivos níveis codificados e não codificados.

Fator	Nível		
	-1	Ponto central	+1
Razão cebola/água (gramas)	1/1	1/2	1/3
Agente espumante (%)	1	3,5	6
Tempo de agitação (min)	4	7	10

4.2.2 Secagem

A secagem foi realizada em uma estufa (Cienlab) com circulação forçada de ar (2 m.s^{-1}) na temperatura de $80 \text{ }^\circ\text{C}$. A camada de espuma foi acondicionada em bandejas de alumínio redondas (1,5 cm de largura por 32 cm de comprimento) em camadas com 1,5 cm de espessura. Em seguida, a massa inicial do conjunto (bandeja + amostra) foi registrada. As bandejas foram então posicionadas dentro da estufa de forma que a maior área possível fique exposta ao fluxo de ar paralelo. Posteriormente, a leitura da massa do conjunto foi realizada a cada 10 minutos, durante os primeiros 60 minutos. Posteriormente, a leitura foi feita a cada 15 minutos, durante 60 minutos e em seguida, a cada 20 minutos, até massa constante. O material seco foi retirado e armazenado em embalagens de plástico (ETA - 100 mL- polipropileno) fechadas e identificadas em temperatura ambiente, até o momento das análises. A variação de umidade ao longo do processo foi representada pelos modelos matemáticos de Newton, Henderson-Pabis e Page (Equações 1, 2 e 3, respectivamente) (MORAIS *et al.*, 2013) (Tabela 2).

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados para descrever a secagem da espuma de cebola.

Nome do Modelo	Modelo	Equação
Page	$RU = \exp(-Kt^n)$	(1)
Henderson-Pabis	$RU = a \exp(-Kt)$	(2)
Newton	$RU = \exp(-Kt)$	(3)

Nota: RU = razão entre umidades (adimensional); a, k, n = constantes das equações; t = tempo (min).

Fonte: MORAIS *et al.* (2013)

Para verificar a qualidade do ajuste de cada modelo matemático, foi realizada análise de regressão não-linear, através do método de Gauss-Newton, utilizando o programa computacional STATISTICA 10 (Statsoft). A seleção dos modelos ocorreu de acordo com o coeficiente de determinação (R^2) e do erro percentual (P), calculado conforme a Equação 4, onde Y e \hat{Y} são valores de umidade de equilíbrio experimental e calculados pelo modelo respectivamente e N é o número de dados experimentais. Um modelo é considerado aceitável se o valor de P for menor que 10% e se apresentar alto valor de R^2 (LEWICKI, 2008).

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (4)$$

4.2.3 Caracterizações físico-químicas

4.2.3.1 Estabilidade da espuma

O teste de estabilidade foi feito conforme descrito por Gurgel (2014). O método consistiu em adicionar espuma em funis de 75 mL até o total preenchimento do volume e deixá-los em repouso sobre provetas de 25 mL. Observou-se o processo até o desprendimento da primeira gota de líquido, quando se marcou um tempo fixo de 5 minutos em um cronômetro, efetuando a medida do volume líquido drenado ao final do tempo. A estabilidade foi avaliada pela relação entre volume que se desprende da espuma no intervalo de 5 minutos e o volume inicial, calculado pela Equação 5. Quanto menor for o valor de \emptyset , maior a estabilidade da espuma.

$$\emptyset = \frac{V_{drenado}}{V_{inicial}} \times 100 \quad (5)$$

Na equação 5, $V_{drenado}$ é o volume de líquido drenado (mL) durante 5 minutos; $V_{inicial}$ é o volume inicial da espuma colocada no funil (50 mL) e \emptyset é a fração de volume drenado (%).

4.2.3.2 Solubilidade do pó

A solubilidade do pó de cebola foi determinada a partir do método executado por Barbosa (2016), com modificações. Cem mL de água destilada foram transferidos para um béquer juntamente com 0,1 gramas da amostra (base seca). Esta solução foi agitada em alta velocidade com auxílio de um vórtex por 5 minutos. Após agitação, a solução foi transferida para tubos do tipo *Falcon* e centrifugada em 3000 rpm por 5 minutos. Uma alíquota de 2,5 mL foi recolhida a partir do sobrenadante e transferida de imediato para cadinhos de porcelana, previamente secos e de massa conhecida. Os cadinhos devidamente identificados foram colocados em uma estufa a 105 °C até que passassem a ter massa constante por 24

horas, depois resfriados em dessecador e pesados após atingirem valor de massa constante. O cálculo da solubilidade foi feito por meio da Equação 6.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa de pó no sobrenadante}}{\text{massa de pó total}} \times 100 \quad (6)$$

4.2.3.3 Densidade

A densidade foi determinada por meio de picnometria, onde foram utilizados picnômetros de 10 mL aferidos com água destilada a 25 °C para se conhecer o volume real ($V_{\text{picnômetro}}$) do picnômetro. Foi considerada a densidade da água como sendo 1g/cm^3 . Pesou-se o picnômetro vazio e seco (P1). Em seguida, foram adicionados aproximadamente 2 g da amostra de cebola em pó no picnômetro sendo pesados novamente (P2). O picnômetro que continha a amostra foi aferido com água destilada sempre eliminando todas as bolhas presentes e assim todo o sistema (picnômetro + água + amostra) foi pesado (P3). Com auxílio da equação 7, foi calculado o volume de água ocupado no picnômetro ($V_{\text{água}}$). Com a equação 8 foi obtido o valor do volume do sólido presente no picnômetro ($V_{\text{sólido}}$). Por último, com a equação 9, calculou-se a densidade do sólido $\rho_{\text{sólido}}$ (g/cm^3). O procedimento foi realizado em triplicata para cada amostra.

$$V_{\text{água}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\rho_{\text{água}}} \quad (7)$$

$$V_{\text{sólido}} = V_{\text{picnômetro}} + V_{\text{água}} \quad (8)$$

$$\rho_{\text{sólido}} = \frac{P_2}{V_{\text{sólido}}} \quad (9)$$

4.2.3.4 Densidade aparente

A densidade aparente foi medida de acordo com Goula e Adamopoulos (2008). Cerca de 5 g do pó foi livremente depositado no interior de uma proveta

graduada de 25 mL. A amostra foi compactada no interior da proveta a partir de movimentos verticais até que não fosse mais observada diferença na altura do pó. Com base na relação entre a massa do pó conhecida e o volume visualizado na proveta, o valor da densidade aparente foi calculado a partir da Equação 10, onde ρ_a é a densidade aparente da amostra ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); m_s é a massa da amostra sólida (g); V_s é o volume ocupado pela amostra sólida (cm^{-3}).

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_s} \quad (10)$$

4.2.3.5 Porosidade intragranular

A porosidade intragranular foi determinada a partir da Equação 11, conforme Barbosa (2016), onde ε é a porosidade intragranular; ρ_a é a densidade aparente dos sólidos do pó ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); e ρ_p = densidade absoluta ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} \quad (11)$$

4.2.3.6 Análise colorimétrica

Para análise colorimétrica, foi utilizado o espectrofotômetro de reflectância difusa MiniScan EZ (HunterLab, MSEZ-4000S, USA). Suas variáveis apresentadas são respectivamente: o eixo L^* , que representa a luminosidade que pode variar de 0 (preto) a 100 (branco); o parâmetro a^* , que identifica a variação verde/vermelho ($-a^*/a^*$); o parâmetro b^* , que se refere ao eixo azul/amarelo ($-b^*/b^*$) e o ângulo hue ($h = \arctang b^*/a^*$) (CIE, 2004).

4.2.3.7 Proteína

A análise de proteína foi realizada com base no método de micro-Kjedahl. Uma quantidade de 0,3 gramas de amostra foi transferida para os tubos de digestão

juntamente com aproximadamente 2,5 g de mistura catalítica (sulfato de sódio, sulfato de cobre e selênio, na proporção 100:10:1) e 5 mL de ácido sulfúrico P.A. Os tubos foram colocados no bloco digestor com um aquecimento inicial de 50 °C por um período de uma hora. Em seguida, a temperatura foi aumentada gradativamente até atingir 400 °C, e as amostras permaneceram por 4 horas até atingirem a coloração límpida e transparente, de tonalidade azul-esverdeada. Retiraram-se as amostras do aquecimento e foram deixados para resfriar em temperatura ambiente. Após o resfriamento adicionaram-se 15 mL de água destilada para então as amostras serem submetidas ao processo de destilação. Nesta etapa, 25 mL de hidróxido de sódio 40% foram adicionados cuidadosamente ao conteúdo do tubo de digestão. Em seguida, as amostras foram aquecidas e o nitrogênio destilado foi coletado em erlenmeyer com 10 mL de ácido bórico 4% e 5 gotas de solução de indicador misto (Amaranjado de metila: verde de bromocresol 3:2). Em seguida, titulou-se a amostra com ácido clorídrico 0,1 mol/L até a viragem do indicador.

Para o cálculo das proteínas utilizaram-se as equações 12 e 13.

$$\% \text{ Nitrogênio}_{Total} = \frac{V \cdot N \cdot f \cdot 0,014}{P} \times 100 \quad (12)$$

$$F \% \text{ Protídeos} = \% \text{ Nitrogênio}_{Total} \cdot F \quad (13)$$

Onde V é o volume de solução de ácido clorídrico 0,1 mol/L gastos na titulação, após a correção do branco; N é a normalidade teórica da solução de ácido clorídrico 0,1N; f é o fator de correção da solução de ácido clorídrico 0,1 mol/L; P é massa da amostra, em gramas; F é o fator de conversão da relação nitrogênio/proteína, de acordo com o produto. Neste caso, foi usado o a fator de 4,87 que segundo Guimarães (2003), pode ser utilizado para vários produtos, entre eles, a cebola.

4.2.3.7 Umidade

O teor de umidade do pó seco foi obtido através da diferença de massa da amostra inicial e a final após secagem em estufa a 105 °C até um peso constante, de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (Instituto Adolfo Lutz,

2008). A Equação 14 foi utilizada para o cálculo da umidade, onde N são os gramas de umidade (perda de massa em g) e P os gramas da amostra.

$$Umidade = \frac{100*N}{P} \quad (14)$$

4.2.4 Análise estatística

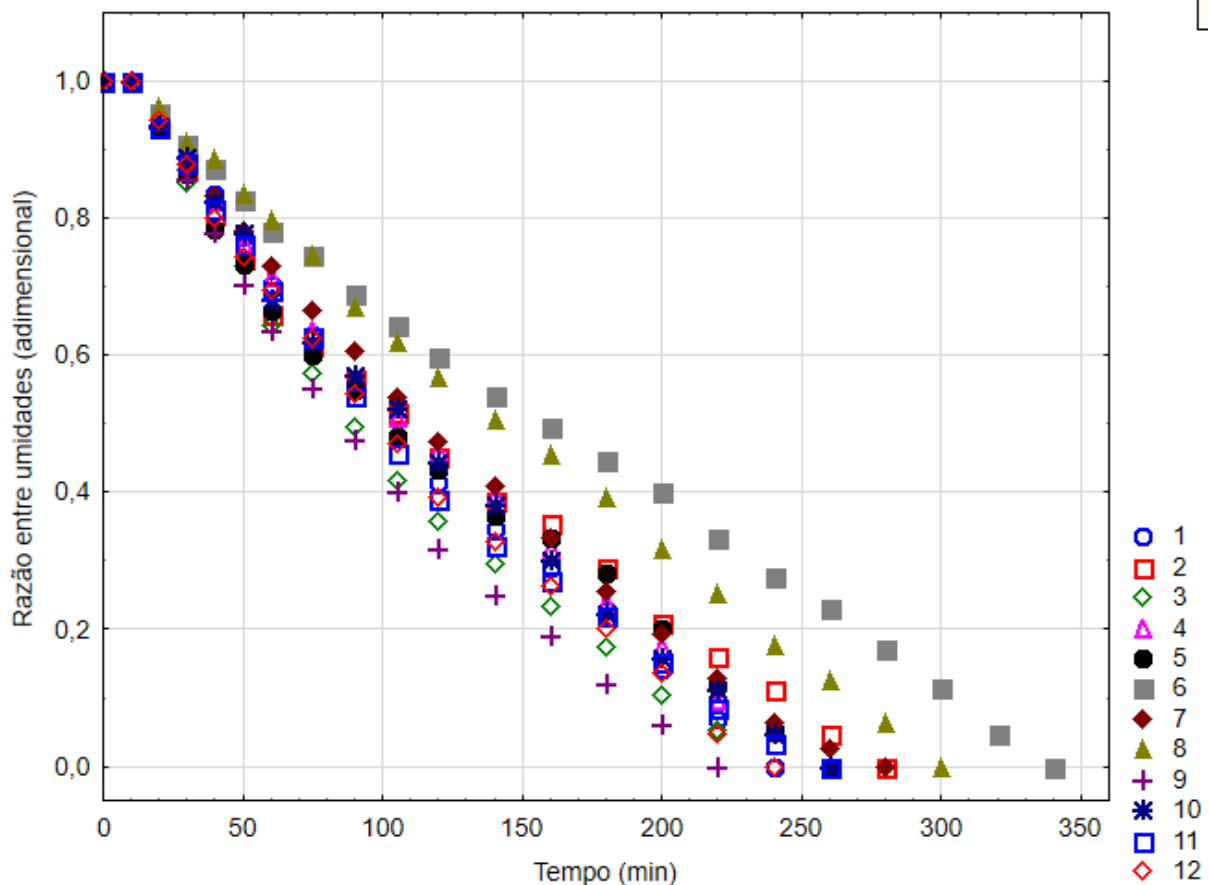
Todas as determinações foram realizadas em triplicata e os dados foram apresentados na forma de média. O delineamento experimental do item 4.2.2 foi obtido através do software Statistica 10 para as condições propostas expresso na forma de variáveis reais. Foi utilizado o teste de ANOVA para comparação das diferenças entre as médias ao nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cinética de secagem

Na Figura 4 são apresentadas as 12 curvas de secagem referente ao pó de cebola na temperatura de 80 °C, que foram obtidas com base nos modelos empíricos presentes na literatura e apresentados por Moraes *et al.*, (2013). As curvas são construídas com base na razão entre umidades (adimensional) e o tempo de secagem, ou seja, o conteúdo médio de água (umidade) do material ao longo do tempo de secagem.

Figura 4 - Curva de secagem do pó de cebola.



Fonte: Autoria própria (2021).

NOTA: Os valores entre parênteses representam Razão cebola/água; tempo de agitação (min) e agente espumante (%). 1 (0,67; 7; 6); 2 (0,4; 10; 6); 3 (0,67; 4; 1); 4 (0,5; 7; 3,5); 5 (0,4; 4; 3,5); 6 (0,4; 7; 1); 7 (0,5; 7; 3,5); 8 (0,5; 10; 1); 9 (0,5; 7; 3,5); 10 (0,5; 4; 6); 11 (0,67; 10; 3,5); 12 (0,5; 7; 3,5)

Durante o processo de secagem, há o período de ambientação do sólido que ocorre no instante em que se inicia o processo até o período em que o sólido está sendo aquecido até atingir a temperatura de secagem do processo. Normalmente este período é curto e pode ser desprezado nos cálculos. Em seguida, ocorre a etapa de secagem constante, onde o material perde umidade de forma constante ao longo do tempo até atingir o ponto de umidade crítica. Ao fim desta etapa ocorre a difusão da água para a superfície para que assim seja evaporada. E a última etapa é a secagem em taxa decrescente, onde a difusão é menor que a taxa de evaporação (ocorre na superfície) e a secagem decresce ao longo do tempo. Assim, a superfície já está totalmente seca e a evaporação ocorre dentro do sólido (GEANKOPLIS, 2009).

O processo de secagem foi realizado a temperatura de 80 °C. Durante o processo, se obteve um período inicial de ambientação caracterizado pelos primeiros 50 a 60 minutos. A taxa de secagem constante ocorreu de 60 minutos até aproximadamente 200 minutos. E a taxa decrescente ocorreu até o final do tempo de secagem de cada curva, onde passou a ter peso constante.

A secagem de materiais na forma de espuma é mais rápida do que a secagem pelos processos que não utilizam a espuma. Alguns autores como Franco (2015), aplicando a secagem em camada de espuma em suco de yacon, notaram que o tempo de secagem foi menor quando aplicado em temperaturas maiores de secagem. Oliveira *et al.* (2020), aplicaram o mesmo processo em folha de graviola e observaram que o aumento da temperatura acaba por provocar taxas mais elevadas de secagem. A influência da temperatura também foi observada por Barbosa (2016) na secagem de extrato aquoso de gengibre. O mesmo foi verificado por Harati (2021) na secagem do limão Tahiti. Cruz (2013), examinou que a aplicação de temperaturas maiores resultou em tempos de secagem menores no processo de secagem de polpa de goiaba. Gurgel *et al.* (2017) e Maciel *et al.* (2016) realizaram a mesma observação em seus respectivos estudos.

A aplicação de modelos matemáticos tem como objetivo de projetar, controlar e otimizar unidades de secagem, e por isso a importância em conhecer-se a cinética de secagem do material estudado (COSTA *et al.*, 2011). A variação de umidade ao longo do processo foi representada pelos modelos matemáticos de Newton, Henderson-Pabis e Page (MORAIS *et al.*, 2013).

Ao se comparar os dados obtidos pelos ajustes matemáticos para o processo de secagem, o modelo de Page foi o que apresentou o ajuste mais aceitável, com os valores de R^2 mais altos, de 98,4 a 99,6% e os valores de P menores que 10%, na faixa de 0,73 a 3,3%. O modelo de Henderson-Pabis também apresentou valores de significativos de R^2 variando de 95,6 a 97,8% e valores de P (%) entre 4,17 a 8,91%, mostrando que o modelo atendeu as condições de secagem. Já o modelo de Newton apresentou valores de R^2 entre 93,4 e 96,7% menores que os outros dois modelos analisados e P (%) entre 6,2 e 13,4% maiores, tendo um P maior que 10%. Assim o modelo de Page foi escolhido por ter os maiores valores de R^2 e os menores valores de P.

Tabela 3 - Parâmetros e coeficientes para as equações de Page na análise dos dados de secagem de pó de cebola na temperatura de 80°C.

Experimentos	Parâmetros para o modelo de Page ($RU = \exp(-kt^n)$)			
	k	n	R^2	P (%)
1	0,00069	1,499765	99,2	1,74
2	0,00173	1,289362	99,8	2,18
3	0,00116	1,425658	99,5	1,13
4	0,00080	1,454976	99,1	1,97
5	0,00171	1,303907	98,6	2,49
6	0,00069	1,383139	98,4	3,35
7	0,00073	1,460539	99,2	1,7
8	0,00056	1,451841	98,8	2,52
9	0,00109	1,456638	99,6	0,73
10	0,00083	1,450767	99,2	1,55
11	0,00079	1,477833	99,5	1,12
12	0,00088	1,457527	99,3	1,23

Fonte: Autoria própria (2021).

Segundo Oliveira *et al.* (2020), o modelo matemático de Page foi o que melhor representou a secagem da folha de graviola. Barbosa (2016) também verificou que na secagem de extrato aquoso de gengibre o modelo de Page foi o que melhor descreveu a cinética de secagem. O mesmo foi avaliado por Furtado *et al.* (2010) e Harati (2021) em seus respectivos trabalhos, tendo o modelo de Page caracterizado o melhor comportamento da secagem.

5.2 Caracterização físico-química do pó de cebola

Na Tabela 4 são apresentados os valores reais das variáveis estudadas e as respostas analisadas.

Tabela 4 - Caracterização físico-química do pó de cebola.

Ensaio	X ₁ ^a	X ₂ ^b	X ₃ ^c	Y ₁ ^d	Y ₂ ^e	Y ₃ ^f	Y ₄ ^g	Y ₅ ^h	Y ₆ ⁱ	Y ₇ ^j	Y ₈ ^k	Y ₉ ^l	Y ₁₀ ^m
1	0,67	7	6	0,64	0,5	0,22	0,0025	0	85,6	1,4	29,2	6,51	10,5
2	0,4	10	6	0,75	0,45	0,39	0,0021	0	83,7	2,43	29,7	9,43	10,4
3	0,67	4	1	0,63	0,42	0,34	0,005	33,3	86,1	0,51	25,5	14,1	19,2
4	0,5	7	3,5	0,74	0,34	0,53	0,0033	0	81,5	2,39	27,5	10,4	15,7
5	0,4	4	3,5	0,68	0,32	0,52	0,0027	3,56	87,4	-0,59	22,6	10,2	12,6
6	0,4	7	1	0,89	0,34	0,62	0,0041	25,1	79,6	4,47	28,8	13,5	16,3
7	0,5	7	3,5	0,79	0,4	0,49	0,0034	0	85,7	0,55	25,2	16,4	10,3
8	0,5	10	1	0,95	0,5	0,47	0,0046	0	86,2	0,65	26,9	17,1	10,9
9	0,5	7	3,5	0,79	0,46	0,42	0,0034	0	87,5	0,64	24,4	13,2	9,20
10	0,5	4	6	0,84	0,46	0,46	0,0024	3,56	88,7	-0,67	24,0	10,9	7,56
11	0,67	10	3,5	0,79	0,39	0,52	0,0025	0	88,4	0,18	22,7	13,9	8,59
12	0,5	7	3,5	0,80	0,34	0,57	0,0019	0	88,9	0,26	20,7	12,4	7,05

Fonte: Autoria própria (2021).

NOTA: ^aRazão cebola/água (g/mL); ^bTempo de agitação (min); ^cEmulsificante (%); ^dDensidade absoluta (g/cm³); ^eDensidade aparente (g/cm³); ^fPorosidade (%); ^gProteína (%); ^hEstabilidade (%); ⁱL*; ^ja*; ^kb*; ^lsolubilidade (%); ^mUmidade (%).

No início dos experimentos foram testados dois emulsificantes: a albumina e o Emustab. Após alguns testes, evidenciou-se que o Emustab promoveu uma espuma mais estável e por este motivo foi o escolhido para ser utilizado nos experimentos. Sousa *et al.* (2020) também obtiveram os melhores resultados usando apenas Emustab. Pinto (2009) verificou que o Emustab, nas concentrações corretas, apresentou melhor resultado para o uso em secagem em camada de espuma. Ainda segundo Pinto (2012), os resultados obtidos com espumas que levavam Emustab em sua composição apresentaram melhores resultados no processo.

Para a análise de proteínas, foi utilizado o método de micro-Kjedahl, através do qual foram obtidos valores baixos de proteína em todos os experimentos. O alto valor obtido foi de 0,0046% no experimento com 0,5 g/mL de razão cebola/água, 1% de emulsificante e 10 minutos de agitação. Franco (2015) em seu estudo também não encontrou valores significativos de proteínas.

Em relação a análise colorimétrica tem-se que os tratamentos realizados não afetaram significativamente a cor das amostras. No geral, todas as amostras tiveram como resultado uma coloração amarelo clara. O parâmetro L*, que representa a

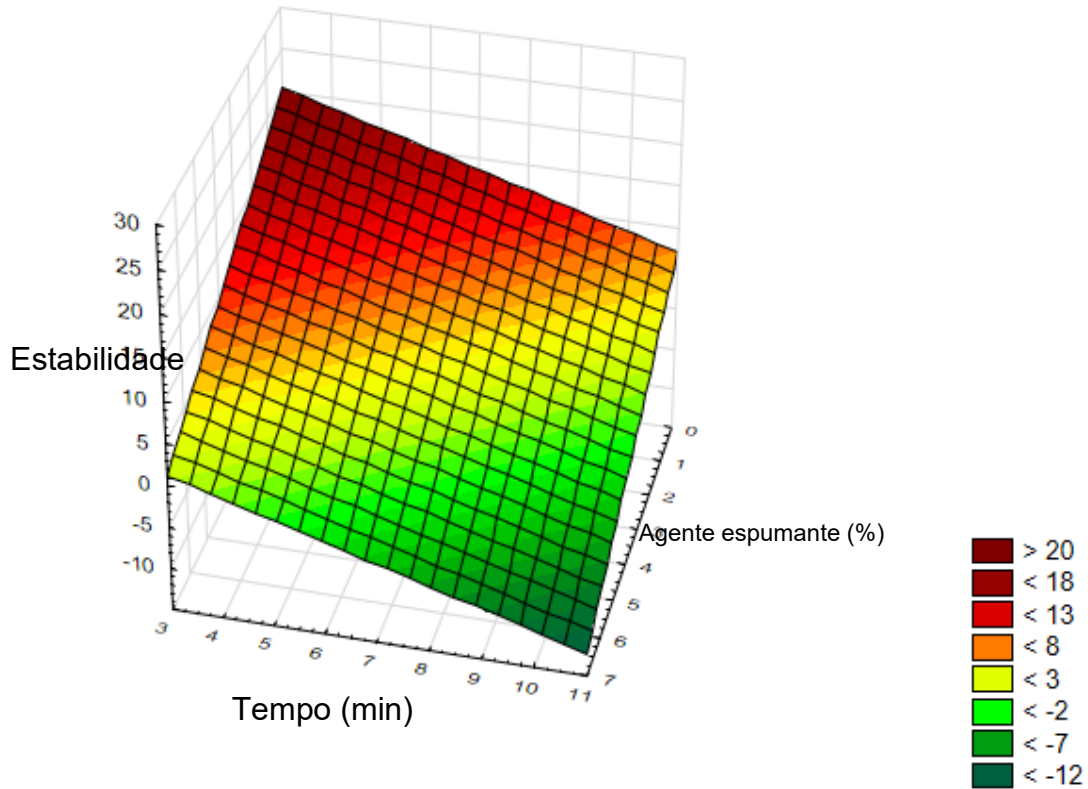
luminosidade e varia em uma escala de 0 (preto) a 100 (branco), variou de 79,6 a 88,9, onde os valores maiores representam pós mais claros e os valores menores os pós mais escuros. Os valores de a^* que representam a variação entre o verde com valores negativos, ao vermelho, com valores positivos, oscilaram entre $-0,67$ a $4,47$. E os valores do eixo b^* , que representa a variação de azul com valores negativos, ao amarelo, com valores positivos, variaram de $20,7$ a $29,7$. Como os valores foram todos positivos, evidenciou-se a caracterização do pó com uma coloração amarelada, como foi observada em todo o processo.

Os teores de umidade variaram de $7,05$ a $19,2$. A diferença desses extremos pode estar na quantidade de emulsificante presente na mistura, onde em quantidade maior proporciona uma espuma mais estável e conseqüentemente uma área de secagem maior o que possibilita a evaporação da água de forma mais rápida e o tempo de batadura, pois tempos menores fizeram com que as espumas não incorporassem tanto ar em seu meio, contribuindo para que ficassem da forma mais líquida. Apesar disso, o agente espumante, o tempo de batadura e a razão cebola/água não exerceram influência significativa na umidade.

Na Figura 5, é apresentado um gráfico de contorno da superfície de resposta para as espumas formadas com efeito na estabilidade. E na equação 13 é descrita algebricamente a resposta obtida na figura 5.

$$\text{Estabilidade} = 25,4933 - 2,4747*x - 1,6844*y \quad (13)$$

Figura 5 - Superfície de resposta para a estabilidade (%) do pó de cebola obtido pela secagem em leito de espuma em função da temperatura (°C) e do agente espumante (%).



Fonte: Autoria própria (2021).

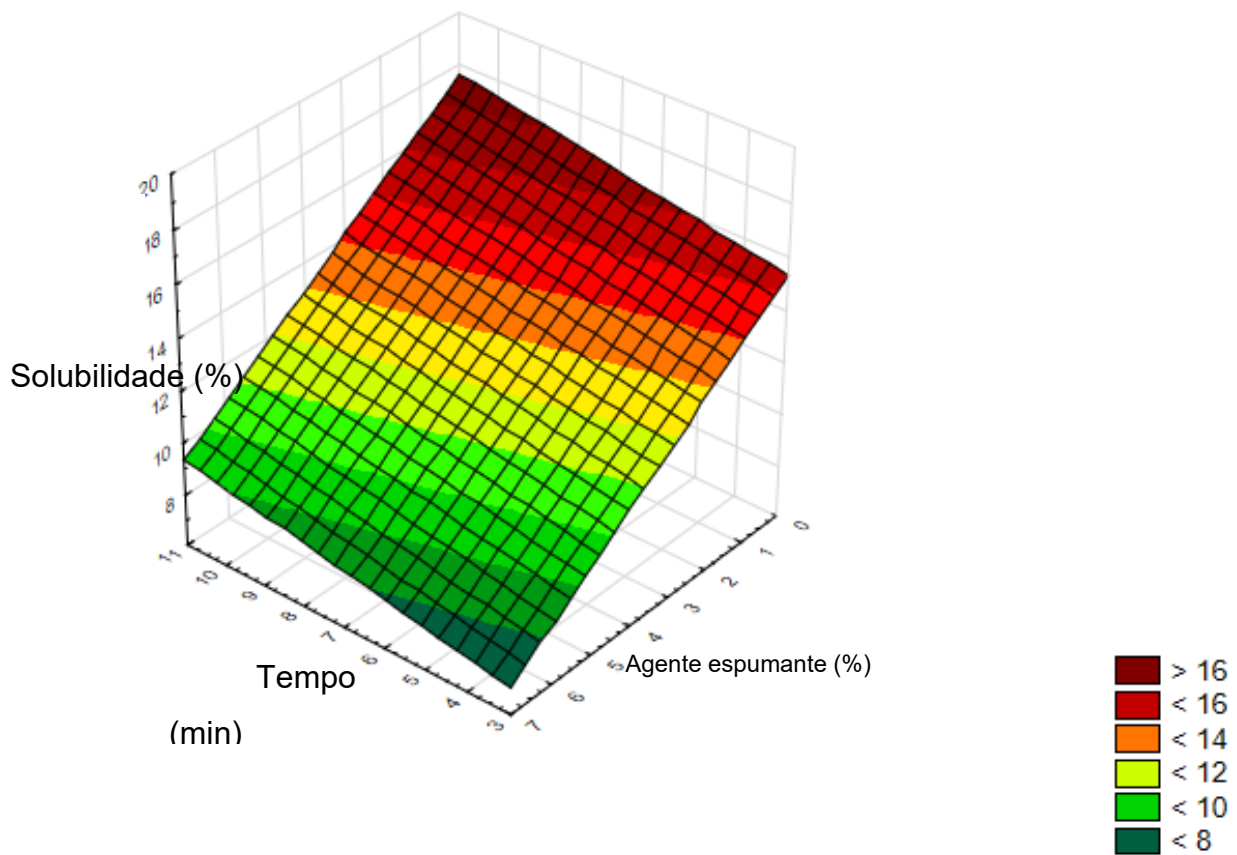
A análise de estabilidade sofreu influência significativa pelos tratamentos aplicados, onde apenas o parâmetro agente espumante causou influência nos valores de estabilidade. A quantidade de líquido drenado revela a capacidade de retenção de água que uma espuma consegue ter. Logo, o aumento da estabilidade é diretamente proporcional a concentração de emulsificante, como testado por Cruz (2013).

O efeito do agente espumante mostra que os melhores valores de estabilidade são aqueles mais próximos de zero e estão nas concentrações mais altas de emulsificante utilizado. Isso também foi verificado para o maior o tempo de agitação.

Na Figura 6 é apresentado um gráfico de contorno da superfície de resposta para as espumas formadas com efeito na solubilidade. E a equação 14 descreve algebricamente a resposta obtida na figura 6.

$$\text{Solubilidade (\%)} = 14,454 + 0,2924*x - 1,1876*y \quad (14)$$

Figura 6 - Superfície de resposta para a solubilidade (%) do pó de cebola obtido pela secagem em leite de espuma em função do tempo (min) e do agente espumante (%).



Fonte: Autoria própria (2021).

Com a análise de variância, observou-se que o agente espumante também apresentou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) sobre a solubilidade do pó de cebola. Quanto menor o tempo de agitação e maior a concentração de agente espumante, menores são os valores de solubilidade do pó.

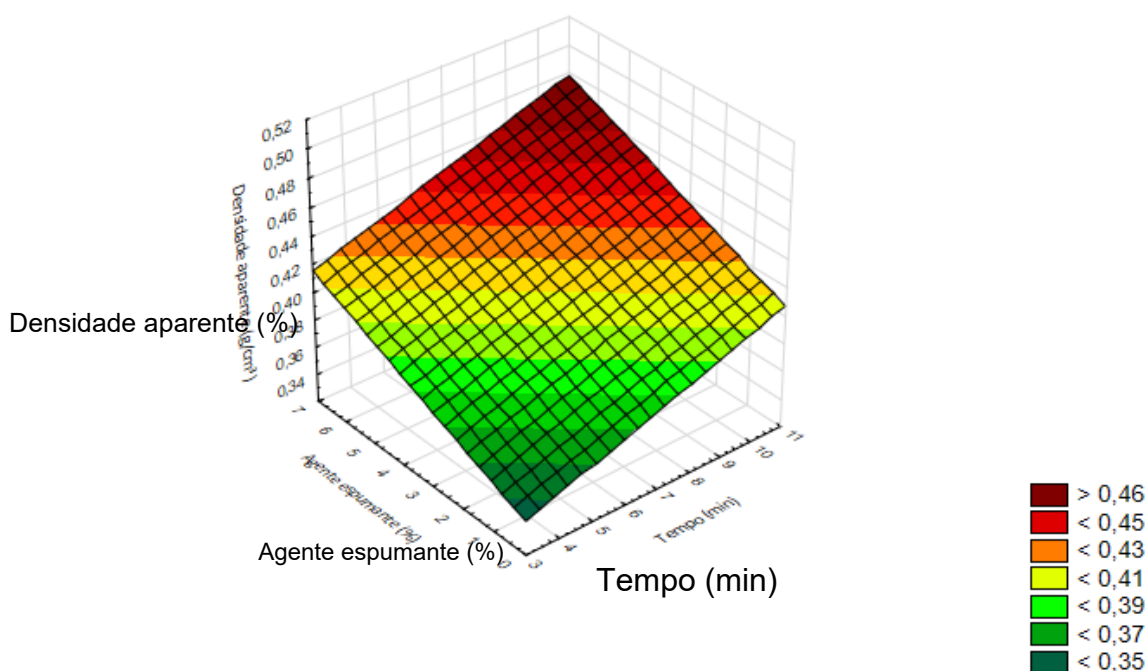
O maior valor de densidade absoluta do pó, que não sofreu influência significativa pelos tratamentos, foi obtido com o experimento a 0,5 g/mL de razão cebola/água, 1% de emulsificante e 10 minutos de agitação.

Enquanto a densidade aparente foi influenciada significativamente pela porcentagem de emulsificante utilizado, o tempo de agitação e a razão cebola/água não apresentaram interferência. Ainda com relação a densidade aparente, observou-se que os maiores valores foram obtidos em duas condições. Na primeira, com a espuma com 0,67 g/mL de razão cebola/água, 6% de emulsificante e 7 minutos de agitação. A segunda condição foi com 0,5 g/mL de razão cebola/água, 1% de emulsificante e 10 minutos de agitação. Dentre todos os experimentos, as partículas com a maior porosidade, que também não sofreu influência significativa dos fatores testados, foi de 0,62. Tal condição foi obtida com 0,4 g/mL de razão cebola/água, 1% de emulsificante e 7 minutos de agitação.

Na Figura 7 é mostrado um gráfico de contorno da superfície de resposta para as espumas formadas com efeito na solubilidade. E a equação 15 descreve algebricamente a resposta obtida na figura 7.

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = 0,3205 + 0,0079 \cdot x + 0,0102 \cdot y \quad (15)$$

Figura 7 - Superfície de resposta para a densidade aparente (g/cm³) do pó de cebola obtido pela secagem em leito de espuma em função do tempo (min) e do agente espumante (%).



Fonte: Autoria própria (2021).

Por meio da análise de variância, verificou-se que o agente espumante também apresentou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) sobre a densidade aparente do pó de cebola. Em concentrações mais elevadas de agente espumante e tempos maiores, os valores de densidade aparente foram mais altos, e em concentrações mais baixas de agente espumante e tempos menores os resultados obtidos de densidade aparente foram menores.

6 CONCLUSÃO

Foi possível a aplicação do método de secagem em camada de espuma para a obtenção do pó de cebola, e possível a aplicação de diversas análises com o propósito de caracterizar o pó e descrever a cinética de secagem do produto. Foram alcançados resultados positivos para todos os objetivos propostos no trabalho.

Com a aplicação dos testes iniciais o agente espumante escolhido para aplicação foi o Emustab, que foi capaz de manter a estabilidade da espuma pelo tempo necessário do processo.

As condições foram aplicadas para apenas uma temperatura (80 °C), com base em diversos trabalhos de literatura que testaram as temperaturas mais altas como as mais adequadas para o processo de secagem. E pelos modelos matemáticos aplicados, o modelo de Page foi o que se melhor adequou aos dados experimentais.

Na caracterização físico-química do pó de cebola, o único parâmetro que mostrou influência nos dados de caracterização foi a porcentagem de agente espumante presente na mistura. Foi verificado que entre os resultados obtidos, apenas a estabilidade, a solubilidade e a densidade aparente sofreram influência significativa a porcentagem de agente espumante.

É possível obter pó de cebola através do método de secagem em camada de espuma como uma alternativa viável por ser uma tecnologia que resulta em processos mais rápidos. Entre as diversas condições que podem ser aplicadas em trabalhos similares, podem ser citadas as diferentes temperaturas ou espessuras da camada de espuma.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, F. S.; CONDE, S. R. **Alimentação e nutrição nos ciclos de vida**. UNIVATES, Ed da Univates. V. 1. Lajeado, 2016. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/194/pdf_194.pdf. Acesso em: 03 jul. 2021.
- ALMEIDA, A.; SUYENAGA, E. S. Ação farmacológica do alho (*Allium sativum* L.) e da cebola (*Allium cepa* L.) sobre o sistema cardiovascular: revisão bibliográfica. *Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr. J. Brazilian Soc. Food Nutr.*, São Paulo, SP, v. 34, n. 1, p. 185-197, abr. 2009. Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=517523&indexSearch=ID>. Acesso em: 06 jul. 2021
- BARBIERI, R. L. *et al.* Divergência genética entre populações de cebola com base em marcadores morfológicos. *Ciência Rural*, v. 35, p. 303–308, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/h5Z3C7Xg9LbpjxVqLBBxdH/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.
- BARBOSA, E. D. **Secagem do extrato aquoso de gengibre (*Zingiber officinale roscove*) pelo método de camada de espuma**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2016. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6670/3/CM_COEAL_2016_1_01.pdf. Acesso em: 05 jul. 2021.
- BARRADAS, C. A. A. *et al.* **Indicadores IBGE Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=78>. Acesso em: 04 jul. 2021.
- BEZERRA, T. S. **Desidratação de hortaliças : aspectos teóricos**. Monografia (Especialista em Tecnologia de Alimentos) - Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2007. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/318>. Acesso em: 03 jul. 2021.
- BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária; Ministério da Saúde (SVS/MS). **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/portaria-no-540-de-27-de-outubro-de-1997.pdf/view>. Acesso em: 05 jul. 2021.
- CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados Planaltina - DF**. p.51. Planaltina, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883845/1/doc276.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.
- CIE. Evaluation of Whiteness. *J Opt Soc Am*, v. 64, n. 2, p. 1–82, 2004. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/josa/abstract.cfm?uri=josa-64-2-210>. Acesso em: 08 jul. 2021.

CORNEJO, F. E. P.; NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. C. **Secagem e Desidratação.** AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid5sgie02wyiv80z4s473tokdiw5.html. Acesso em: 04 jul. 2021.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.10, p.1089–1096, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/NrYs9Y3HkQxGJchTjCFVJLw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 jul. 2021.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. Cultivo da cebola no nordeste. **Embrapa Semiárido**. Nov.2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/162405>. Acesso em: 06 jul. 2021.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (Psidium guajava L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma.** Dissertação (*Magister Scientiae* em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/2928>. Acesso em: 07 jul. 2021.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15794>. Acesso em: 08 jul. 2021.

DIAZ, O.S.; VENDRUSCOLO, C.T.; VENDRUSCOLO, J.L.S. Reologia de xantana: uma revisão sobre a influência de eletrólitos na viscosidade de soluções aquosas de gomas xantana. **Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas**. v.25, p.15-28, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273025121_Reologia_de_Xantana_uma_revisao_sobre_a_influencia_de_eletrolitos_na_viscosidade_de_solucoes_aquosas_de_gomas_xantana. Acesso em: 03 jul. 2021.

ESALQ/USP, C. Retrospectiva, Anuário. **Hortifruti-Brasil**, v. 18, p. 18–19, 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/hortifruti.aspx>. Acesso em: 02 jul. 2021.

ESPÍNDOLA, P. T.; BREDA, J. M. J.; FACTOR, T. L. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa L.*). **Instituto Agrônomo, Centro de Horticultura** (Campinas – SP) - COOPERBATATA (Vargem Grande do Sul – SP) - APTA (Mococa – SP). Campinas – SP, 2014. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/95.pdf. Acesso em: 06 jul. 2021.

FERREIRA, M. F. P.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.15-28, 2010. Disponível em: <http://deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev121/Art1213.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2021.

FILHO, E. D. D. S. *et al.* Cinética de secagem em camada de espuma da polpa da manga cv. Haden. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 354–361, 2016. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6294808>. Acesso em 07 jul. 2021.

FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38215>. Acesso em: 08 jul. 2021.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9-14, 2010. Disponível em: <http://deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev121/Art1212.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

GEANKOPLIS, Christie John. **Transport processes and separation process principles** : includes unit operations. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall PTR, 2009. Pearson Education, 1026 p. ISBN 013101367X.

GOULA, A. M., ADAMAPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder Properties. **Drying Journal**, v.26, p.726-737, 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373930802046377>. Acesso em: 05 jul. 2021.

GUIMARÃES, C. P. **Estimativa dos teores de fenilalanina em sopas desidratadas instantâneas: importância do nitrogênio de origem não proteica**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade de São Paulo: Faculdade de Ciências farmacêuticas. São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcf/a/fcLgJGh6xzQWdt7ZbmcFrmD/abstract/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 06 jul. 2021.

GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata* L.) em camada de espuma - Desempenho do processo e características do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/22743>. Acesso em: 07 jul. 2021.

HARATI, J. B. **Estudo da secagem do resíduo do limão Tahiti (*Citrus latifolia* TANAKA)**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25764>. Acesso em: 10 jul. 2021.

HONORATO, T. C.; BATISTA, E.; NASCIMENTO, K. O.; PIRES, T. **Aditivos alimentares: aplicações e toxicologia**. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v.8, n. 5, p.01-11, edição especial. Mossoró - RN, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/290004222_Aditivos_alimentares_aplicacoes_e_toxicologia. Acesso em: 04 jul. 2021.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 3, p. 203–210, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X98000861>. Acesso em: 03 jul. 2021.

LANDAU, E. C.; VALADARES, G. M.; SILVA, G. A. Evolução da produção da cebola (*Allium cepa*, Amaryllidaceae). **Embrapa**. Cap 20, p.653-678, Brasília - DF, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1122664/1/Cap20-EvolucaoProducaoCebola.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

LEITE, D. L. Manejo e conservação de recursos genéticos de cebola (*Allium cepa*) na Embrapa clima temperado. **Circular Técnica** 1. ed. Pelotas – RS, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/991096/1/circular145.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

LEWICKI, P. P. Data and Models of Water Activity. II: **Solid Foods**. CRC Press, Boca Raton, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=F9FoNy06qvcC&oi=fnd&pg=PA67&dq=Data+and+Models+of+Water+Activity.+II:+Solid+Foods.&ots=W-vCq1Dg2s&sig=alzPLd6sOWagRSw-OjyMB2GoCoU#v=onepage&q=Data%20and%20Models%20of%20Water%20Activity.%20II%3A%20Solid%20Foods.&f=false>. Acesso em: 10 jul. 2021.

LINWOOD, Jim. Cebolas . **Plantas de todas as especies - Plantas jardinagem dicas e cuidados**. 2020. Disponível em: <https://plantasdomundotododicasecuriosidades.blogspot.com/2020/11/cebola.html>. Acesso em: 05 jul. 2021.

LISBÔA, C. G. C.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.16, n.2, p.216-221. Campinha Grande – PB, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/MR3CXMtjqm3GCt4bRgkf3hj/?lang=pt>. Acesso em: 09 jul. 2021.

LUTZ, I. A. Métodos físicos-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/metodos-fisico-quimicos-para-analise-de-alimentos-ial-2004/4728670/>. Acesso em: 01 jul. 2021.

MACIAL, R. M. G.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; SEVERO, L. S. Cinética de secagem de polpa de goiaba em camada de espuma. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. FAURGS. Gramado – RS, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/11038>. Acesso em: 12 jul. 2021.

MAFRA, G. P.; DANTAS, S. C. M.; MEDEIROS, M. F. D.; MACHADO, I. P. Desidratação da polpa de acerola com aditivos (*Malpighia emarginata*) pelo processo foam-mat. COBEQIC – Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]**.

ISSN Impresso: 2446-8711. Campinas: Unicamp, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/desidracao-da-polpa-de-acerola-com-aditivos-malpighia-emarginata-pelo-processo-foam-mat-19918>. Acesso em: 13 Jul. 2021.

MICHALSKY, K. C. B.; BOAS, E. V. D. B. V.; PICCOLI, R. H. Influência de sanificantes nas características microbiológicas, físicas e físico-químicas de cebola (*Allium cepa* L.) minimamente processada. **CIÊNCIA E AGROTEC**, v. 28, p. 107–112, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/m7KyRfZxZrNfSWBQZpCLsWm/?lang=pt>. Acesso em: 09 jul. 2021.

MORAIS, S. J. *et al.* Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 455-463, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/S7dFMdD3QBdPkrXg5gJvZMq/abstract/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 29 jun. 2021.

MOTTA, A. P. **Aplicação de modelos empíricos para a cinética de secagem em camada de espuma da cagaita e do morango**. Francisco Beltrão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11519>. Acesso em: 06 jul. 2021.

OLIVEIRA, B. F.; NEGREIROS, J. K. S.; BONFIM, K. S.; CAVALCANTE, J. A.; PINTO, M. F.; COSTA, N. A. Modelagem matemática da cinética de secagem em camada de espuma da folha de gravioleira (*Annona muricata* Linn) e caracterização do pó obtido. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, e10942811, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2811>. Acesso em: 02 jul. 2021.

PARK, K. J.B.; PARK, K. J. ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Secagem: Fundamentos e Equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.16, n.1, p.93-127, 2014. Disponível em: <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev161/Art16112.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2021.

PASCUAL. La cebolla para Morcillas. Grupo Merino Pascual. 2020. Disponível em: <https://www.cebollahorcal.com/cebolla-para-morcillas/>. Acesso em: 04 jul. 2021.

PÊ, P. R.; CARNEIRO, G. G.; PÊ, F. R.; CASTRO, D. S.; SILVA, D. R. S.; MARQUES, L.F. Secagem de polpa de caqui pelo método de camada de espuma. **HOLOS**, Ano 32, Vol. 4, p.77-85. UFCG, Campina Grande – PB, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481554867009.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.

PEREIRA, T. D. S. **Estudo da secagem da clara de ovo em camada de espuma (foam- mat drying)**. (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, 2015. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/832>. Acesso em 10 jul. 2021.

PINEDO, A. A. **Secagem a vacuo de cenoura (*Daucus carota*) e abobora (*Cucurbita maxima*) : estudo das características do processo**. (Tese) - Uniservidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256335>. Acesso em: 08 jul. 2021.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Itapetinga – BH, 2009. Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/ELLEN-PINTO.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2021.

PINTO, M. R. M. R. **Obtenção de extratos de carotenoides de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). Encapsulados pelo método de secagem em camada de espuma**. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2012. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/2939>. Acesso em: 05 jul. 2021.

RADUJKO, I. *et al.* The influence of combined emulsifier 2 in 1 on physical and crystallization characteristics of edible fats. **European Food Research and Technology**. v.232, n.5, p.899-904, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-011-1458-0>. Acesso em: 07 jul. 2021.

RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; SOUZA, R. J. Cultivo da cebola no nordeste. 3. ed. Petrolina: **Embrapa Semi-Árido**, 2007. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spcebola/clima.htm. Acesso em: 30 jun. 2021.

SANTANA, M. S. **Aditivos alimentares e impactos na saúde**. Monografia. Centro Universitário AGES. Paripiranga, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/14364>. Acesso em: 04 jul. 2021.

SEVERO, L. S. **Obtenção de polpa de banana em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – BH, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/19092>. Acesso em: 09 jul. 2021.

SOUZA, F.C.; SOUSA, S.; FIGUEIREDO, J. S. B.; MORAES, M. R. L.; CARVALHO, I. P. P. S.; CHAVES, F. J. C. Cinética de secagem em camada de espuma de polpa de maracujá, utilizando diferentes aditivos. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 70821-70829 sep. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/17079>. Acesso em: 09 jul. 2021.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leito de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011. Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/VINICIUS-SOUZA.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.

VASCONCELOS, L. F. S. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do juzeiro (*Ziziphus joazeiro*)**. - Universidade

Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2017. Disponível em:
<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13542>. Acesso em: 08 jul. 2021.