

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E**  
**TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**EFEITO DAS TEMPERATURAS DE SECAGEM NAS**  
**PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA BATATA DOCE DE POLPA**  
**ROXA (*Ipomoea batatas*).**

**Herbert Gama Vidal**

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**EFEITO DAS TEMPERATURAS DE SECAGEM NAS  
PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA BATATA DOCE DE POLPA  
ROXA (*Ipomoea batatas*)**

**HERBERT GAMA VIDAL**

*Sob a Orientação do Professor*

**José Lucena Barbosa Junior**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Seropédica, RJ

Janeiro de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V648e Vidal, Herbert Gama, 1988-  
Efeito das temperaturas de secagem nas  
propriedades funcionais da batata doce de polpa roxa  
(Ipomoea Batatas). / Herbert Gama Vidal. -  
Seropédica, 2021.  
40 f.: il.

Orientador: José Lucena Barbosa Junior.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Ciência e Tecnologia de Alimentos,  
2021.

1. Antocianinas. 2. Page. 3. Henderson e Pabis. 4.  
Cinética de secagem. I. Barbosa Junior, José Lucena ,  
1975-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro. Ciência e Tecnologia de Alimentos III.  
Título.

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.*



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS



TERMO Nº 260 / 2021 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.017723/2021-11

Seropédica-RJ, 11 de março de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

HERBERT GAMA VIDAL

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/01/2021

\_\_\_\_\_  
JOSE LUCENA BARBOSA JUNIOR (Dr) UFRRJ

(orientador)

\_\_\_\_\_  
NATHALIA DA ROCHA RODRIGUES (Drª) UNESA

\_\_\_\_\_  
JULIANA LOBO PAES (Drª) UFRRJ

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020.

*(Assinado digitalmente em 11/03/2021 14:04 )*

JOSE LUCENA BARBOSA JUNIOR  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)  
Matricula: 2455049

*(Assinado digitalmente em 12/03/2021 04:48 )*

JULIANA LOBO PAES  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)  
Matricula: 2942088

*(Assinado digitalmente em 12/03/2021 12:01 )*

NATHALIA DA ROCHA RODRIGUES  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 121.022.637-54

Para verificar a autenticidade deste documento entre em  
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **260**, ano:  
**2021**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **11/03/2021** e o código de verificação: **803e8a48f8**

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pela oportunidade.

Ao meu orientador, D. Sc. José Lucena Barbosa Junior, pela paciência, dedicação, por todos os ensinamentos e por confiar no meu trabalho.

Aos professores do PPGCTA, pela contribuição para minha formação.

Aos meus amigos de laboratório e alunas de iniciação científica, por todo apoio, amizade, ajuda e por tornar os dias mais divertidos e leves.

Aos técnicos dos laboratórios do DTA da UFRRJ pela ajuda, a qual foi essencial para o desenvolvimento do meu trabalho. Em especial ao técnico Vinícius, por todo apoio, companheirismo e ajuda.

A toda minha família, especialmente a minha esposa Cássia, aos meus pais, Maria Olivia e Almir, aos meus irmãos Lara e Hector e a minha avó querida Maria da Penha que me apoiaram incondicionalmente e incentivaram a todo tempo. A minha bebê Cecília, que ainda dentro do ventre de sua mãe me deu forças para finalizar esta etapa.

A Deus, por me dar saúde e sanidade, e por permitir o alcance de mais esse objetivo em minha vida.

A todos que participaram direta ou indiretamente desse processo, muito obrigado.

## RESUMO

VIDAL, Herbert Gama. **Efeito das temperaturas de secagem nas propriedades funcionais da batata doce de polpa roxa (*Ipomoea batatas*)**. 2020. 30 p. Defesa de dissertação (Mestrado). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

A batata doce (*Ipomoea batatas*) é uma das mais importantes culturas alimentares nos países em desenvolvimento, seu fácil cultivo, adaptabilidade, tolerância a diferentes climas e baixo custo de produção facilitam a sua disseminação. A batata doce de polpa roxa é rica em compostos fenólicos, como as antocianinas além de possuir também propriedades hipoglicêmicas. As antocianinas são antioxidantes naturais capazes de inibir ou retardar lesões causadas por radicais livres. Um dos métodos de conservação de vegetais ricos em amidos mais utilizados é a secagem seguida pelo processo de moagem, com a formação de farinhas. Mesmo sendo um método de execução simples, o mesmo possui parâmetros de processo que interferem amplamente em termos sensoriais e nas propriedades físico químicas do produto final. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o impacto de diferentes temperaturas de secagem em desidratador com circulação de ar quente na capacidade antioxidante, no teor de compostos fenólicos, de antocianinas totais e monoméricas na batata doce de polpa roxa, além de avaliar o modelo matemático que melhor descrevesse a cinética de secagem. Foram realizadas secagens nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C para obtenção das farinhas que foram utilizadas nas análises físico químicas. Os dados das secagens foram utilizados para avaliar os modelos matemáticos de Page, Peleg, Henderson e Pabis e Fick com 6 termos através do software de cálculo estatístico STATISTICA versão 7.0. O modelo matemático que descreveu melhor as curvas de cinética foi o modelo de Page, seguido pelo modelo de Henderson e Pabis. O desenvolvimento do modelo permite a previsibilidade do tempo de secagem versus o teor de umidade da amostra que se pretende obter em desidratadores com circulação contínua de ar quente. De acordo com os resultados observados a secagem a 40 °C se mostrou mais conveniente em termos de compostos fenólicos, porém a secagem a 50 °C se mostrou mais eficiente para o resultado de capacidade antioxidante pelo método de captura de radicais livres realizado por DDPH e para antocianinas totais e monoméricas. Contudo, das temperaturas estudadas a que se mostrou mais adequada para se trabalhar com essa batata doce de polpa roxa, foi a secagem com ventilação forçada a 50 °C.

**Palavras-chave:** Antocianinas, Page, Henderson e Pabis, cinética de secagem.

## ABSTRACT

VIDAL, Herbert Gama. **Effect of drying temperatures on the functional properties of purple-fleshed sweet potatoes (*Ipomoea batatas*)**. 2021. 30 p. Defense of dissertation (Master degree). Institute of Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) are one of the most important food crops in developing countries, their easy cultivation, adaptability, tolerance to different climates and low production cost facilitate their dissemination. Purple-fleshed sweet potatoes are rich in phenolic compounds, such as anthocyanins, as well as having hypoglycemic properties. Anthocyanins are natural antioxidants capable of inhibiting or delaying injuries caused by free radicals. One of the most used methods of preserving starchy vegetables is drying followed by the grinding process, with the formation of flour. Even though it is a simple execution method, it has process parameters that interfere widely in sensory terms and in the physical and chemical properties of the final product. The present work aimed to evaluate the impact of different drying temperatures in a dehydrator with hot air circulation on the antioxidant capacity, on the content of phenolic compounds, total and monomeric anthocyanins in the purple-fleshed sweet potato, in addition to evaluating the mathematical model that better describe the drying kinetics. Drying was carried out at temperatures of 40, 50 and 60 ° C to obtain the flours that were used in physical and chemical analysis. The drying data were used to evaluate the mathematical models of Page, Peleg, Henderson and Pabis and Fick with 6 terms using the statistical calculation software STATISTICA version 7.0. The mathematical model that best described the kinetic curves was the Page model, followed by the Henderson and Pabis model. The development of the model allows the predictability of drying time versus the moisture content of the sample to be obtained in dehydrators with continuous circulation of hot air. According to the results observed, drying at 40°C was more convenient in terms of phenolic compounds, however drying at 50°C was more efficient for the result of antioxidant capacity by the free radical capture method carried out by DDPH and for total and monomeric anthocyanins. However, of the temperatures studied, the one that proved to be the most suitable for working with this sweet potato with purple flesh was drying with forced ventilation at 50°C.

**Keywords:** Anthocyanins, Page, Henderson and Pabis, drying kinetics.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Desvio Padrão e variância da espessura da rodela de batata doce de polpa roxa obtida com o processador PA 7 .....     | 12 |
| Tabela 2. Desvio padrão e variância do diâmetro da rodela de batata doce de polpa roxa obtida com o processador PA 7 .....      | 13 |
| Tabela 3. Dados das taxas de secagem da batata doce de polpa roxa .....                                                         | 15 |
| Tabela 4. Modelos matemáticos aplicados a secagem da batata doce roxa de polpa roxa. ....                                       | 17 |
| Tabela 5. Dados experimentais das secagens da batata doce de polpa roxa .....                                                   | 18 |
| Tabela 6. Dados utilizados para o Teste de Chi Quadrado.....                                                                    | 19 |
| Tabela 7. Dados das farinhas de batata doce de polpa roxa obtidas e utilizadas para análises físico químicas .....              | 20 |
| Tabela 8. Parâmetros estatísticos e constante de secagem obtidos para o modelos matemáticos.....                                | 21 |
| Tabela 9. Resultado das análises da farinha de batata doce de polpa roxa.....                                                   | 22 |
| Tabela 10. Comparação do teor de antocianinas totais em diferentes espécies de batatas doce roxas reportados na literatura..... | 24 |



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Elucidação dos tipos de água contida nos vegetais.....                                                                                                  | 5  |
| Figura 2. Secagem de produtos biológicos com taxas de secagem constante e decrescente .....                                                                       | 6  |
| Figura 3. Batata roxa de polpa roxa.....                                                                                                                          | 7  |
| Figura 4. Curva de calibração do padrão ácido gálico para análise de compostos fenólicos totais .....                                                             | 8  |
| Figura 5. Curva de calibração feita com soluções padrão de Trolox para a análise de determinação de capacidade antioxidante pelo método de DPPH .....             | 9  |
| Figura 6. Curva de calibração feita com soluções padrão de trolox para a análise de determinação de capacidade antioxidante pelo método do Fosfomolibdênio .....  | 10 |
| Figura 7. Rodelas de batata doce dispostas na bandeja do secador (à dir.) e desidratador com circulação contínua de ar quente do laboratório PPGCTA (à esq.)..... | 13 |
| Figura 8. Rodelas de batata doce secas dentro dos cestos utilizados para facilitar as pesagens a cada intervalo de tempo.....                                     | 14 |
| Figura 9. Curvas de secagem (teor de água x tempo) da batata doce de polpa roxa.....                                                                              | 19 |
| Figura 10. Modelos cinéticos e dados experimentais das secagens de batata doce roxa de polpa roxa .....                                                           | 22 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

UNICAMP: Universidade de Campinas

PSP: Batata doce roxa de polpa roxa

UV: Ultra Violeta

RWD: Secagem por refratância

SIPA: Sistema Integrado de Produção Agroecológica

IAL: Instituto Adolf Lutz

GL: Grau de liberdade

DEF: Difusão efetiva

## SUMÁRIO

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                | 1  |
| 2. OBJETIVOS .....                                 | 2  |
| 2.1 Objetivo geral .....                           | 2  |
| 2.2 Objetivos específicos .....                    | 2  |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                     | 2  |
| 3.1 Batata doce .....                              | 2  |
| 3.1.1 Batata doce de polpa roxa .....              | 3  |
| 3.2 Secagem .....                                  | 4  |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS .....                       | 7  |
| 4.2.1 Umidade .....                                | 8  |
| 4.2.2 Compostos Fenólicos Totais .....             | 8  |
| 4.2.3 Potencial antioxidante .....                 | 9  |
| 4.2.3.1 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ..... | 9  |
| 4.2.3.2 Fosfomolibdênio .....                      | 9  |
| 4.2.4 Antocianinas Totais .....                    | 10 |
| 4.2.5 Antocianinas Monoméricas .....               | 11 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                    | 18 |
| 6. CONCLUSÃO .....                                 | 25 |
| 7. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....             | 25 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                | 26 |

## 1. INTRODUÇÃO

A batata doce (*Ipomoea batatas*) é uma das mais importantes culturas alimentares nos países em desenvolvimento, sobretudo para a agricultura familiar (SHIH; KUO; CHIANG, 2009). Seu fácil cultivo, adaptabilidade, tolerância a diferentes climas e baixo custo de produção fazem com que seu plantio seja amplamente disseminado em todo território nacional. Destaca-se por ser rica em: fibras, minerais, vitaminas, polissacarídeos e antioxidantes. Entre tantas variedades, uma que se destaca em relação a atributos nutricionais é a batata doce de polpa roxa. Rica em compostos fenólicos como as antocianinas, o que lhe confere um alto poder antioxidante, e suas comprovadas propriedades hipoglicêmicas, que ajuda no combate a diabetes (VIZZOTTO; PEREIRA; VINHOLES, 2017).

As antocianinas são antioxidantes naturais. Os compostos antioxidantes são capazes de inibir ou retardar lesões causadas por radicais livres, que são moléculas com um ou mais elétrons desemparelhados que reagem rapidamente com compostos celulares causando danos que estão relacionados a doenças degenerativas e ao envelhecimento. Além disso, essas substâncias são responsáveis por uma variedade de cores em frutos, flores e folhas que vão desde o vermelho-alaranjado, ao vermelho vivo, passando pelo roxo e azul. Sendo assim, são encontradas em frutas como cereja, amora, uva, açaí, morango entre outras (PEREIRA; CARDOSO, 2012). Na batata doce de polpa roxa, as principais antocianinas encontradas são a peonidina e cianidina. A quantidade de antocianinas totais pode variar de 17 a 531 mg/100g dependendo da variedade genética analisada (PANDA; PANDA; SWAIN, 2015).

Um fator importante a ser destacado é a influência da temperatura na estabilidade das antocianinas, pois à medida que se submete a solução de antocianinas a uma temperatura superior à ambiente (25 °C), a sua degradação é maior, sendo ainda mais acentuada caso haja um aumento de pH do meio. Entretanto, alguns estudos apontam que a estabilidade das antocianinas frente a temperatura é maior quanto maior for o grau de acilação, ou seja a presença de um ou mais grupos acila na molécula de antocianina (LOPES *et al.*, 2007). Na batata doce de polpa roxa as antocianinas já são encontradas majoritariamente na forma acilada com ácidos fenólicos, logo, possuem vantagens na estabilidade a alterações de pH, a temperaturas elevadas e a sensibilidade a luz (JIANTENG XU *et al.*, 2015).

As vantagens comparativas e o impacto da utilização da batata doce na agroindústria, em relação aos seus principais competidores como o milho e a mandioca, reside no baixo custo de produção, associado à alta produtividade de matéria seca rica em carboidratos com baixo índice glicêmico e a preferência por uso de hortaliças provenientes de agriculturas familiares (ROESLER; GOMES; MORO, 2008).

Os métodos utilizados para conservação e prolongamento da vida útil de produtos agrícolas são inúmeros, e um dos que mais se destaca pela simplicidade tecnológica e baixo custo é a secagem. Mesmo sendo um método de fácil execução, o mesmo

possui parâmetros de processo que interferem amplamente em termos sensoriais e em propriedades físico químicas do produto final (ALONSO; PARK, 2005).

Apesar de já existirem estudos da secagem de batata doce de polpa roxa, como o de Pilon *et al.* (2020) que estudou os efeitos da secagem por estufa e liofilização, o de Yang *et al.* (2010) que estudou os efeitos da secagem com ar quente, por micro-ondas e por liofilização e o de Vizzotto *et al.* (2017) que estudou o efeito da secagem em forno convencional em diferentes batatas, até o momento não se encontra na literatura trabalhos que tenham avaliado a influência da curva de cinética de secagem em desidratadores com circulação de ar quente e suas temperaturas no teor de metabólitos funcionais como compostos fenólicos, antocianinas, e também na capacidade antioxidante da batata doce de polpa roxa. Além disso, não existem estudos que tenham avaliado o melhor modelo matemático para expressar a curva de cinética de secagem da batata doce de polpa roxa.

Sendo assim o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da temperatura de secagem no teor de compostos fenólicos, antocianinas totais e monoméricas, e na capacidade antioxidante da batata doce de polpa roxa. E avaliar o melhor modelo matemático para descrever a curva de cinética de secagem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar os efeitos da temperatura de secagem em desidratador com circulação de ar quente forçada nas propriedades antioxidantes da farinha de batata doce de polpa roxa.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Avaliar o tempo de secagem nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C;
- ✓ Avaliar o melhor modelo matemático que descreva a curva de secagem em cada temperatura;
- ✓ Avaliar o comportamento das propriedades funcionais ao longo do processo, comparando os níveis contidos na batata doce, e nas farinhas oriundas das diferentes temperaturas de secagem.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Batata doce**

A batata doce (*Ipomoea batatas L.*) é uma planta da família das convolvuláceas, da ordem das Solanales, originária da América tropical. Podendo ser classificada de acordo com seu formato, tamanho, cor da sua polpa e casca, entre outros fatores. Este tubérculo é caracterizado por ser uma grande e grossa raiz comestível de uma planta

tropical, no qual existem cerca de 50 gêneros e mais de 1000 espécies (NASCIMENTO, 2017).

Em termos de safra de hortaliças, a batata doce é a sexta maior no mundo, ficando atrás do arroz, trigo, batata, milho e mandioca. De acordo com os dados das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, este tubérculo é cultivado em 114 países, sendo a China a maior produtora mundial, com 77,3 milhões t/Ano, seguida pela Nigéria, com 34,0 milhões de t/Ano (FAO, 2015).

Trata-se de uma das plantas alimentares mais antigas do Brasil. Seu cultivo está disseminado por todo o país, o que se deve, além da riqueza nutricional, à capacidade de produção em solos pobres, à baixa incidência de pragas e de doenças limitantes e da pouca exigência de técnicas de manejo. Diante do seu vasto conhecimento popular, suas utilizações principais são na culinária doméstica, ou ainda como matéria-prima para processos industriais como a obtenção de doces, farinhas, flocos e fécula (ROESLER; GOMES; MORO, 2008).

Ademais, segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), desenvolvida pela UNICAMP, a batata doce apresenta em sua composição 69,5% de umidade, 1,3% de proteínas, 0,1% de lipídeos, 0,9% de cinzas e 28,2% de carboidratos. Sendo o amido o seu principal representante (66,8-78,5%), seguido pelos açúcares solúveis (8,2-15,3%), como a sacarose, glicose, frutose e maltose. As fibras dietéticas insolúveis representam 6,17 a 7,69% de toda matéria seca (LEONEL; OLIVEIRA; DUARTE-FILHO, 2005).

Já em relação as funções dietéticas benéficas e funcionais, a batata doce possui algumas como a presença de polifenóis, antocianinas,  $\beta$ -caroteno, vitaminas e fibras, porém, seu conteúdo proteico é baixo (4,5 - 7,0% em uma base seca) (TOYAMA; YOSHIMOTO; YAMAKAWA, 2006). Estudos sobre o teor de aminoácidos da farinha de batata doce, demonstraram que ela apresentou altos valores de ácido glutâmico, seguido de ácido aspártico, leucina, e alguns outros, como prolina, arginina, lisina e valina (IWE; VAN ZUILICHEM; NGODDY, 2001).

### **3.1.1 Batata doce de polpa roxa**

Dentre as inúmeras variedades de cores de casca e de polpa de batatas doces, a que se destaca por suas propriedades bioativas, como a presença de compostos antioxidantes, de antocianinas e por sua atividade hipoglicêmica são as variedades de polpa roxa (JIANTENG XU *et al.*, 2015).

A batata doce de polpa roxa (I. batatas) (PSP), é um tubérculo de importância social e econômica. Rica em fibras, minerais, compostos fenólicos e principalmente em carboidratos. Sendo composta em grande parte por água (69%) e por carboidratos (28%), o qual é majoritariamente constituído de amido (70%) (LEONEL; OLIVEIRA; DUARTE-FILHO, 2005).

Os compostos fenólicos, conhecidos pela sua capacidade antioxidante, normalmente relatados em alimentos funcionais, tem a capacidade de inibir ou atrasar lesões causadas por radicais livres, que são moléculas com um ou mais elétrons desemparelhados que reagem rapidamente com diferentes alvos celulares causando

danos que estão associados à doenças degenerativas e ao envelhecimento, e alguns desses são abundantes na batata doce de polpa roxa, como as antocianinas (VIZZOTTO *et al.*, 2017).

As antocianinas, são pigmentos solúveis em água que pertencem ao grupo dos flavonoides, responsáveis por uma grande variedade de cores nas frutas, que vão do vermelho-alaranjado, ao roxo. Sua principal função é a proteção da planta contra raios ultra violetas (UV) e evitar a formação de radicais livres. Na PSP, as principais antocianinas encontradas são apresentadas na forma acilada de cianidina e de peonidina. O padrão de acilação com diferentes ácidos fenólicos torna as antocianinas da PSP únicas, e também oferece vantagens sobre pH, calor e resistência à luz, tornando-as mais estável (OLIVEIRA; PEREZ-GREGÓRIO; DE FREITAS, 2019).

Segundo Vizzoto (2017) as concentrações de antocianinas em PSP podem variar conforme a variedade analisada, podendo sua concentração aumentar após o seu processamento térmico de secagem, devido a eliminação da água livre.

O amido da batata doce tem sido utilizado nas indústrias têxtil, de papel e alimentar, na produção de glicose líquida e adesivos. Enzimas como a  $\alpha$ -amilase e  $\beta$ -amilase também tem sido produzidas a partir de batata doce. O  $\beta$ -caroteno e as antocianinas também têm sido extraídas de batatas doce de polpas coloridas e utilizadas como corantes, antioxidantes e em suplementos alimentares (RAY e TOMLINS, 2010).

Devido ao seu elevado teor de carboidratos a batata doce tem sido aplicada em estudos experimentais em processos fermentativos, como para obtenção de etanol ou como adjunto na elaboração de cervejas. Sendo sua maior desvantagem de uso nesse processo, a temperatura de gelatinização do amido, em torno de 78 °C, acima das faixas de atuação das enzimas diastásicas, como a  $\alpha$ -amilase (70 a 75 °C) e  $\beta$ -amilase (60 a 65 °C) (LEONEL; SARMENTO; FRANCO, 2004).

Segundo Panda *et al.* (2015) uma cerveja preparada somente com *flakes* de batata doce de polpa roxa, apresentou ao final do processo um teor de antocianinas de 20,06 mg/100mL, o que demonstra que o potencial de utilização da batata doce de polpa roxa pode ir além do uso mais comum, como corante em biscoitos, bolos e massas.

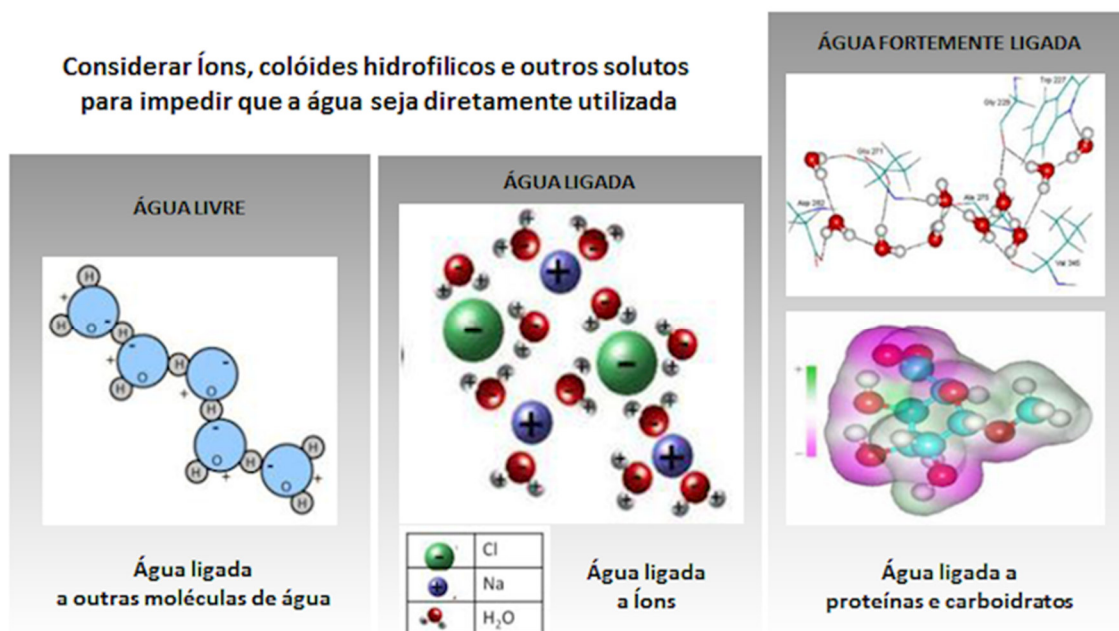
### **3.2 Secagem**

A secagem é um processo de transferência de massa envolvendo a remoção de umidade (água) ou outro solvente de um sistema sólido ou semissólido. É uma operação unitária encontrada nos mais diversos processos, como em indústrias agrícolas, cerâmicas, químicas, alimentícias, farmacêuticas, de papel e celulose, mineral e de polímeros. É também uma operação unitária complexa, devido aos processos simultâneos de transferência de calor, massa e quantidade de movimento no sólido (PARK; YADO; BROD, 2001).

As razões para utilizar o método de secagem são tantas quantos são os materiais que podem ser secos. Vão desde a necessidade de certo teor de água na amostra para o processamento, o armazenamento, a conservação, até aos custos de logística, ou

ainda relacionadas a concentração de propriedades organolépticas para usos específicos (SANTOS *et al.*, 2019).

O conhecimento dos conceitos de teor de água (ou grau de umidade) é fundamental para se compreender o processo de secagem. A água é classificada em quatro tipos, conforme se fixa nos materiais vegetais. O primeiro tipo, ou água monomolecular, possui teor entre 0 e 5%, sendo fortemente absorvida e ligada intimamente às moléculas, através das Forças de Van der Waals. O segundo tipo, ou água polimolecular, está entre 5 a 12% de umidade e também é fortemente absorvida, sendo não solvente, mas já não está ligada diretamente às moléculas e sim às cadeias moleculares. A água do tipo três, ou osmótica, tem sua ligação baseada pela tensão osmótica da célula, possui a função de solvente e é uma água fracamente absorvida, tendo seu teor entre 12 a 27% de água. O quarto tipo de água contida nos vegetais é denominado de água livre, sendo uma água absorvida e solvente com mais de 27%. Tais diferenças nos tipos de água é elucidado pela figura 1 (ULLMANN; RESENDE; RODRIGUES, 2018).



**Figura 1.** Elucidação dos tipos de água contida nos vegetais (Fonte: <https://www.aviculturaindustrial.com.br>)

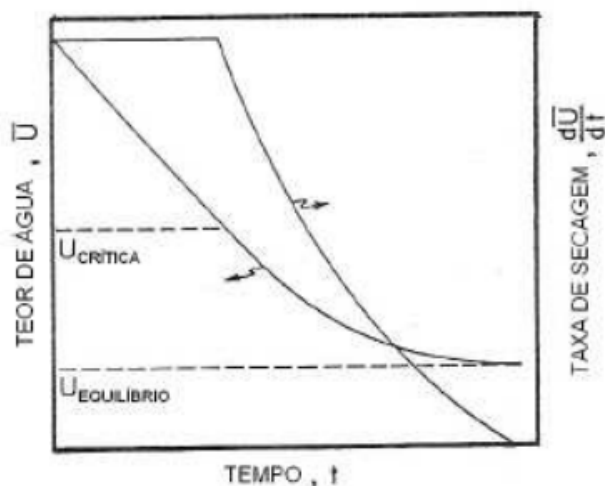
A água livre é a primeira a ser retirada pela secagem, visto que ocorre de forma mais rápida. A água do tipo três, osmótica, será retirada com mais dificuldade, e geralmente é o teor de água que mantém a qualidade da batata doce. Nesta etapa da retirada da água da matéria orgânica, deve-se concentrar a maior atenção, afim de identificar e selecionar métodos e processos de secagem que não acarretem no comprometimento da qualidade do produto (PARK; YADO; BROD, 2001).

Para ocorrer a secagem, é necessário que haja um gradiente de pressão de vapor de água entre a matriz vegetal (maior) e o ar que a rodeia (menor). Isto é obtido reduzindo a umidade relativa do ar (UR) de secagem, pelo aquecimento ou pela



desumidificação. O ar de secagem também precisa ter um fluxo tal que permita o transporte de calor e água. Neste processo ocorre a transferência de energia do ar para evaporar a umidade superficial da matriz, sendo esta transferência dependente da temperatura, da umidade (UR), da vazão de ar e da área superficial da matéria a ser seca (PARK; YADO; BROD, 2001).

Na secagem de produtos biológicos, a espessura da camada do vegetal tem influência direta na taxa de secagem. Materiais com espessura maior levam mais tempo na redução do teor de água. Matrizes com espessuras reduzidas permitem que o teor de água contido na parte interna da matriz vegetal encontre uma menor resistência para serem evaporadas, o que faz com que tenham menor tempo na redução da umidade. Na secagem de materiais orgânicos, a taxa é constante no início e em seguida, a taxa é decrescente na perda do teor de água da matriz, conforme se observa na Figura 2 (BROOKER *et al.*, 1992).



**Figura 2.** Secagem de produtos biológicos com taxas de secagem constante e decrescente (Fonte: BROOKER *et al.*, 1992)

Segundo a lei de Fick, a taxa decrescente de secagem é adotada em função do tempo, posição no corpo e da difusividade (dif). Segundo Park *et al.* (2007) pode se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material, sendo que a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar) e não é intrínseca ao material. Convencionou-se chamar de difusividade efetiva (Def).

Os métodos de secagem empregados são muitos, variando desde os mais simples como a secagem natural, que utiliza a luz solar, passando por métodos artificiais amplamente utilizados como estufas e desidratadores com ventilação forçada, chegando até a tecnologias mais sofisticadas como spray dryer, liofilização, secagem por micro-ondas e secagem por refratância (RWD) (SHIH; KUO; CHIANG, 2009).

A escolha do método de secagem a ser utilizado é feito através de um levantamento das informações do processo em que está inserida a etapa de secagem, a característica do produto final desejado e também da matéria-prima a ser utilizada. Algumas dessas informações a serem coletadas para escolha do método são:

quantidade de matéria prima, propriedades físicas e químicas da mesma, especificação e propriedades do produto seco, perdas inerentes ao processo, local de operação, limitações construtivas, e as faixas mínimas e máximas de trabalho da temperatura de secagem (ALONSO; PARK, 2005).

Quanto maior a temperatura, mais rápido ocorrerá a secagem, considerando as demais variáveis como umidade relativa e velocidade do ar iguais em ambas condições. Porém para vegetais e frutos ricos em bioativos, nem sempre os métodos mais rápidos serão os mais eficientes, sobretudo para bioativos termosensíveis (JÖDICKE *et al.*, 2020).

Os bioativos reagem aos processos térmicos de formas diferentes, estudos demonstram que  $\beta$  carotenos encontrados em batatas doce de polpa alaranjada sofrem perdas significativas durante os processos térmicos (YANG *et al.*, 2010). Porém as antocianinas, comuns em batatas doce de polpa roxa podem sofrer incrementos significativos durante o processo de secagem que utilizam temperaturas mais brandas (RUTTARATTANAMONGKOL *et al.*, 2016).

As vantagens do processo de secagem em desidratadores com a velocidade de ar quente controlada, quando comparada aos processos usuais de secagem em estufas e naturais, são a maior velocidade, menor tempo de secagem, controle das temperaturas de trabalho e menor degradação dos metabolitos termosensíveis contidos no vegetal. (YADAV *et al.*, 2006).

Sendo assim, o presente trabalho teve como proposta o estudo do processo de secagem da batata doce de polpa roxa em desidratador com ventilação forçada de ar quente, objetivando encontrar as melhores condições de temperatura e tempo de secagem na obtenção de uma farinha de batata doce de polpa roxa, em termos de conteúdo de antioxidantes e de antocianinas.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Material

A batata doce utilizada neste trabalho foi a de casca e polpa roxa, conforme mostra a figura 3, a qual foi obtida através do Sistema Integrado de Produção Agroecológica – SIPA (Fazendinha Agroecológica) localizado em Seropédica, Rio de Janeiro -RJ (22° 48'00'' de latitude Sul e 43° 41'00'' de longitude Oeste).



**Figura 3.** Batata roxa de polpa roxa (Fonte: <http://jjalimentos.com.br>)

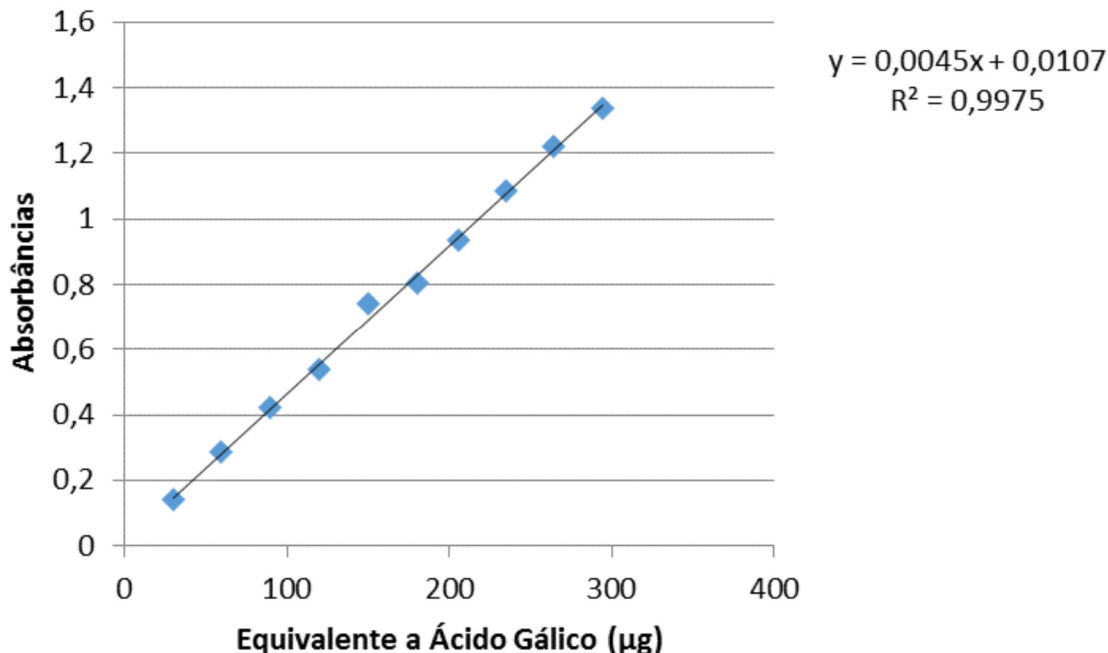
## 4.2 Caracterização da matéria-prima

### 4.2.1 Umidade

A umidade da matéria-prima foi determinada por peso seco a 105 °C em estufa segundo o método 012/IV do Instituto Adolfo Lutz (IAL) (2005). Essa análise foi realizada em triplicata utilizando uma massa inicial de aproximadamente 10 g para cada amostra.

### 4.2.2 Compostos Fenólicos Totais

O conteúdo de compostos fenólicos totais das frações de farinha estudadas foi obtido de acordo com Swain e Hillis (1959), com modificações. 1 mL de extrato, 10 mL de água destilada e 1 mL de reagente Folin Ciocalteu 0,25 N foram misturados em um tubo e homogeneizados em vórtex. A mistura reagiu por 3 minutos e 1,5 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 10 % foram adicionados, sendo seguido de homogeneização. A solução foi armazenada à temperatura ambiente, no escuro, durante 2 horas, e a absorbância foi medida a 725 nm em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico por grama de amostra seca (mg EAG. g<sup>-1</sup> de amostra seca), utilizando uma curva cujo padrão foi o ácido gálico (Figura 4), nas concentrações de 0,01 a 0,05 mg/ mL (ou 10 a 50 µL/ mL).

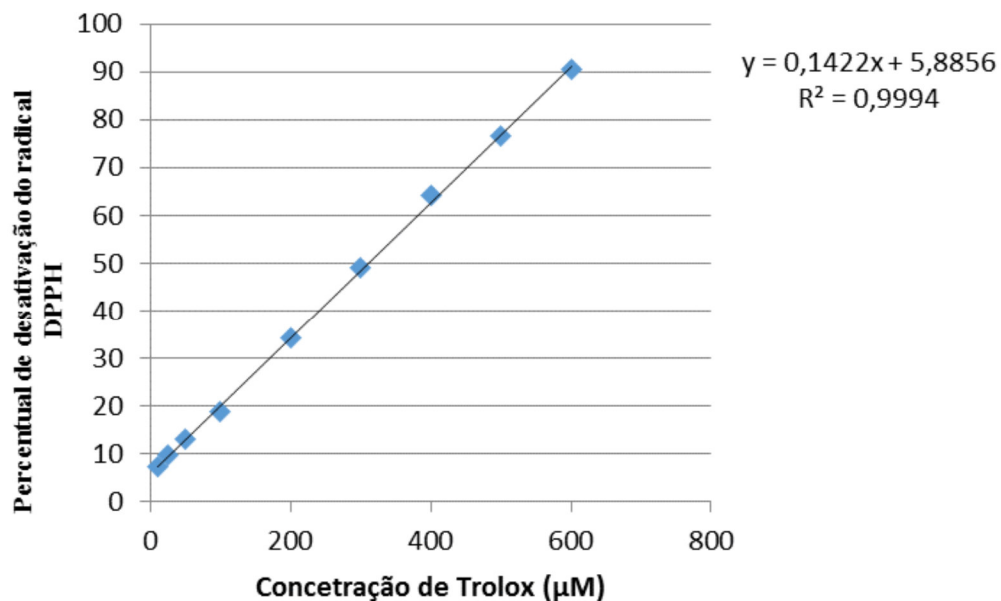


**Figura 4.** Curva de calibração do padrão ácido gálico para análise de compostos fenólicos totais

### 4.2.3 Potencial antioxidante

#### 4.2.3.1 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Determinado de acordo com o procedimento descrito por Rufino *et al.* (2010), com pequenas modificações. Extratos (150 µL) reagiram com 2,85 mL de solução metanólica de DPPH (0,06mM) por 1 hora, em ausência de luz. Em seguida, foi realizada a leitura das absorbâncias em espectrofotômetro (Spectrophotometer Model NOVA 2000 UV), em comprimento de onda de 517nm. Soluções padrões de Trolox foram analisadas para a construção da curva da calibração (Figura 5), seguindo a metodologia adaptada de Rufino *et al.* (2010).



**Figura 5.** Curva de calibração feita com soluções padrão de Trolox para a análise de determinação de capacidade antioxidante pelo método de DPPH

#### 4.2.3.2 Fosfomolibdênio

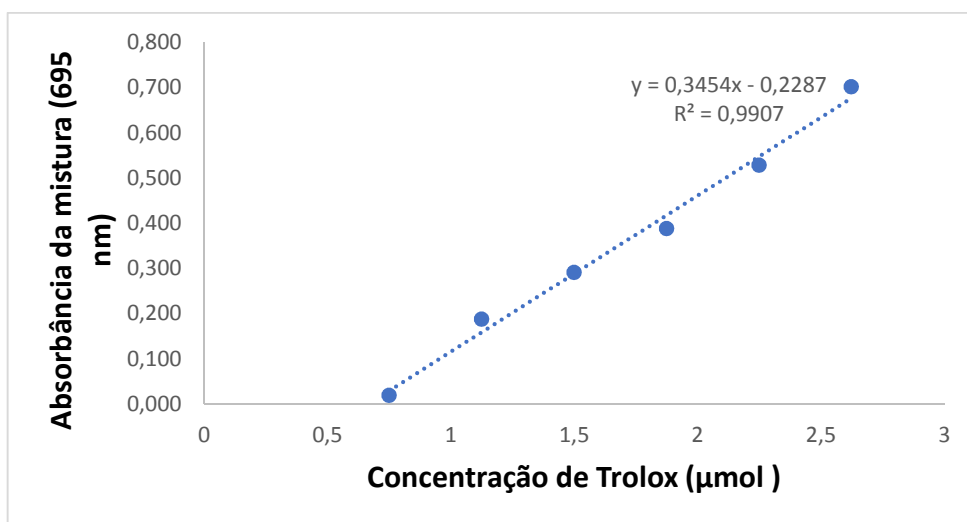
O método do complexo fosfomolibdênio usado para avaliar a atividade antioxidante total é uma maneira simples, de baixo custo e bastante útil em análises de misturas complexas, pois é um método capaz de avaliar o potencial antioxidante de componentes hidrofílicos e lipofílicos de uma amostra (ADELMANN, J., 2005).

O método de fosfomolibdênio, mede o poder redutor da amostra, que consiste em reduzir o Mo (VI) para Mo (V) pela amostra, diferentemente do método de capacidade antioxidante por DPPH que possui outro princípio, que é a transferência de elétrons. O poder redutor é um mecanismo antioxidante importante (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Realizado por método espectrofotométrico, onde uma alíquota de 0,3 mL de extrato foi adicionada a uma mistura de reagentes (3 mL), contendo 0,6 M de ácido sulfúrico, 28 mM de fosfato de sódio e 4 mM de molibdato de amônio. Após 90 min de incubação a 95 °C, a absorbância da mistura foi lida a 695 nm, com um branco de 0,3 mL de etanol com 3 mL da mistura de reagentes. Os resultados foram expressos em milimoles de trolox

por grama de amostra (mmol TE / g amostra) (PRIETO, P., PINEDA, M., AGUILAR, M., 1999).

Para a construção da curva de calibração, exibida na figura 6, foi feita uma solução padrão de trolox dissolvendo 0,04 g de trolox em etanol (PA) e completado para 10 mL em um balão volumétrico e homogeneizado. A partir da solução inicial de trolox, foram utilizadas diluições sucessivas de 1,25 a 1,375 mg/mL de concentração. Uma alíquota de 0,3 mL de extrato foi adicionado a uma mistura reagentes (3 mL), contendo 0,6 M de ácido sulfúrico, 28 mM de fosfato de sódio e 4 mM de molibdato de amônio. Após 90 min de incubação a 95 °C, a absorbância da mistura foi lida a 695 nm, com um branco de 0,3 mL etanol com 3 mL da mistura de reagentes. Os resultados foram expressos em milimoles de trolox por grama de amostra (mmol TE / g amostra).



**Figura 6.** Curva de calibração feita com soluções padrão de trolox para a análise de determinação de capacidade antioxidante pelo método do Fosfomolibdênio

#### 4.2.4 Antocianinas Totais

A quantificação de antocianinas totais foi realizada pelo método de pH diferencial proposto por Lee, Durst & Wrolstad (2005). Neste método 0,5 mL de extrato foi diluído 1:14 em solução de pH 1,0 (0,2 mol L<sup>-1</sup> HCl). Após repouso de 15 minutos em ausência de luz, as absorbâncias foram medidas em  $\lambda_{510}$  e  $\lambda_{700}$  nm respectivamente, para pH 1,0 em espectrofotômetro SP 22 de UV visível. As absorbâncias foram medidas e os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de cianidina – 3 glicosídeos por 100g de amostra de batata doce, ou seja, (mg<sub>eq.</sub> C<sub>3</sub>G / Kg). A absorbância (A) para as amostras foram calculadas de acordo com a aplicação da Equação 1 e em seguida as concentrações foram então calculadas aplicando a lei de Lambert-Beer ( $A = \epsilon bc$ ). A absorvidade molar ( $\epsilon$ ) foi determinada experimentalmente utilizando padrão de C<sub>3</sub>G.

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH\ 1,0} \quad (1)$$

Em que:

A= absorvância da amostra diluída,  
 $A_{510}$  = média da absorvância medida em  $\lambda_{510}$ ,  
 $A_{700}$  = média das absorvâncias medidas em  $\lambda_{700}$ .

Uma vez que a concentração pode ser calculada e expressada em cianidina-3-glicosídeo (PM: 449,2 g mol<sup>-1</sup> e  $\epsilon$ : 26900). A Equação 2, para a obtenção das antocianinas totais foi aplicada.

$$A_{Totais} = \frac{(A \times PM \times FD \times 1000)}{(\epsilon \times 1)} \quad (2)$$

Em que:

$A_{Totais}$  = Antocianinas Totais (mg/100g)  
A = Absorvância;  
PM = peso molecular;  
FD = Fator de diluição;  
 $\epsilon$  = absorvância molar.

#### 4.2.5 Antocianinas Monoméricas

A quantificação de antocianinas monoméricas foi realizada pelo método de pH diferencial proposto por Lee, Durst & Wrolstad (2005). Neste método 0,5 mL de extrato foi diluído 1:14 em solução de pH 1,0 (0,2 mol L<sup>-1</sup> HCl) e em pH 4,5 (solução acetato de sódio, 1 mol L<sup>-1</sup>), respectivamente. Após repouso de 15 minutos em ausência de luz, as absorvâncias foram medidas em  $\lambda_{510}$  e  $\lambda_{700}$  nm respectivamente, para cada pH em espectrofotômetro SP 22 de UV visível. As absorvâncias foram medidas e os resultados expressos em miligramas equivalentes de cianidina – 3 glicosídeo por 100g de amostra de batata doce, ou seja, (mg<sub>eq.</sub> C<sub>3</sub>G / 100g). A absorvância (A) para as amostras foram calculadas de acordo com a aplicação da Equação 1 e em seguida as concentrações foram então calculadas aplicando a lei de Lambert-Beer ( $A = \epsilon bc$ ). A absorvância molar ( $\epsilon$ ) foi determinada experimentalmente utilizando padrão de C<sub>3</sub>G.

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH\ 1,0} - (A_{510} - A_{700})_{pH\ 4,5} \quad (3)$$

Em que:

A= absorvância da amostra diluída,  
 $A_{510}$  = média da absorvância medida em  $\lambda_{510}$ ,  
 $A_{700}$  = média das absorvâncias medidas em  $\lambda_{700}$ .

Uma vez que a concentração de pigmentos monoméricos pode ser calculada e expressada em cianidina-3-glicosídeo (PM: 449,2 g mol<sup>-1</sup> e  $\epsilon$ : 26900). A Equação 4 foi aplicada.

$$A_{\text{monoméricas}} = \frac{(A \times PM \times FD \times 1000)}{(\varepsilon \times l)} \quad (4)$$

Em que:

$A_{\text{monoméricas}}$  = Antocianinas monoméricas (mg/100g)

A = Absorvância;

FD = Fator de diluição;

$\varepsilon$  = absorvância molar;

PM = peso molecular.

### 4.3 Processamento da matéria-prima e obtenção da farinha

As amostras utilizadas na sua forma *in natura* foram lavadas em água corrente, para a retirada das sujidades mais grosseiras da superfície. Em seguida foram submersas, em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm de cloro livre) por 15 min, e foram novamente lavadas em água corrente para a remoção da solução de cloro.

Para a obtenção da farinha, as batatas com casca foram cortadas em tamanho padrão utilizando-se do Processador de Alimentos Industrial modelo PA-7, marca Skymesen equipado com o disco fatiador de 3mm, de forma que as rodela tivessem o diâmetro de aproximadamente 4 cm e espessura de aproximadamente 4 mm. As rodela obtidas no processador foram medidas com paquímetro afim de avaliar os desvios padrões referentes ao diâmetro e espessura entre as rodela e estão apresentadas nas tabelas 1 e 2.

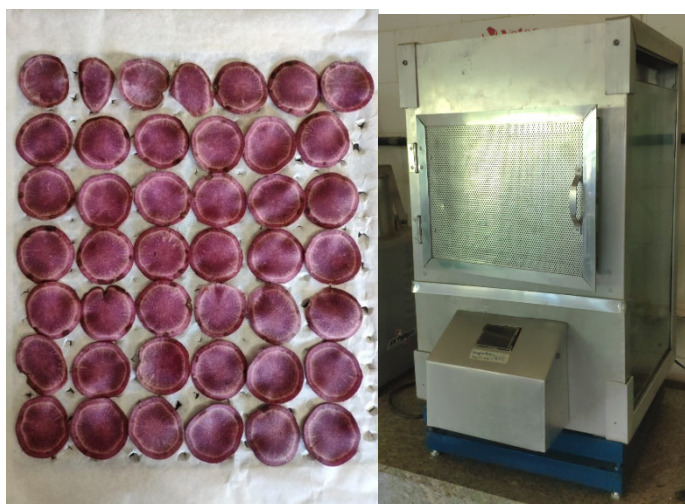
**Tabela 1.** Desvio Padrão e variância da espessura da rodela de batata doce de polpa roxa obtida com o processador PA 7

| Amostra      | Espessura 1 (cm) | Espessura 2 (cm) | Espessura 3 (cm) | Espessura 4 (cm) | Média | DP   | Variância |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|------|-----------|
| 1            | 0,41             | 0,34             | 0,32             | 0,35             | 0,36  | 0,04 | 0,02      |
| 2            | 0,20             | 0,26             | 0,37             | 0,23             | 0,27  | 0,07 | 0,02      |
| 3            | 0,42             | 0,34             | 0,26             | 0,26             | 0,32  | 0,08 | 0,01      |
| 4            | 0,39             | 0,41             | 0,35             | 0,34             | 0,37  | 0,03 | 0,03      |
| 5            | 0,37             | 0,35             | 0,33             | 0,30             | 0,34  | 0,03 | 0,02      |
| 6            | 0,39             | 0,38             | 0,37             | 0,38             | 0,38  | 0,01 | 0,03      |
| 7            | 0,24             | 0,18             | 0,18             | 0,26             | 0,22  | 0,04 | 0,01      |
| 8            | 0,36             | 0,38             | 0,39             | 0,33             | 0,37  | 0,03 | 0,03      |
| 9            | 0,39             | 0,39             | 0,40             | 0,38             | 0,39  | 0,01 | 0,04      |
| 10           | 0,37             | 0,37             | 0,36             | 0,36             | 0,37  | 0,01 | 0,03      |
| 11           | 0,36             | 0,32             | 0,30             | 0,36             | 0,34  | 0,03 | 0,02      |
| 12           | 0,35             | 0,36             | 0,33             | 0,34             | 0,35  | 0,01 | 0,03      |
| 13           | 0,36             | 0,38             | 0,38             | 0,36             | 0,37  | 0,01 | 0,03      |
| 14           | 0,40             | 0,37             | 0,39             | 0,39             | 0,39  | 0,01 | 0,04      |
| 15           | 0,38             | 0,39             | 0,40             | 0,36             | 0,38  | 0,02 | 0,03      |
| <b>Média</b> | 0,36             | 0,35             | 0,34             | 0,33             | 0,35  | 0,03 | 0,03      |

**Tabela 2.** Desvio padrão e variância do diâmetro da rodela de batata doce de polpa roxa obtida com o processador PA 7

| Amostra      | Diâmetro 1 (cm) | Diâmetro 2 (cm) | Média | DP   | Variância |
|--------------|-----------------|-----------------|-------|------|-----------|
| 1            | 4,13            | 4,58            | 4,36  | 0,32 | 0,10      |
| 2            | 4,08            | 4,59            | 4,34  | 0,36 | 0,13      |
| 3            | 4,31            | 4,20            | 4,26  | 0,08 | 0,01      |
| 4            | 4,14            | 4,68            | 4,41  | 0,38 | 0,15      |
| 5            | 4,00            | 4,17            | 4,09  | 0,12 | 0,01      |
| 6            | 4,00            | 4,04            | 4,02  | 0,03 | 0,00      |
| 7            | 4,14            | 3,88            | 4,01  | 0,18 | 0,03      |
| 8            | 4,05            | 4,09            | 4,07  | 0,03 | 0,00      |
| 9            | 4,04            | 3,99            | 4,02  | 0,04 | 0,00      |
| 10           | 3,98            | 4,06            | 4,02  | 0,06 | 0,00      |
| 11           | 4,06            | 4,19            | 4,13  | 0,09 | 0,01      |
| 12           | 4,15            | 4,17            | 4,16  | 0,01 | 0,00      |
| 13           | 4,13            | 4,13            | 4,13  | 0,00 | 0,00      |
| 14           | 4,24            | 4,30            | 4,27  | 0,04 | 0,00      |
| 15           | 4,04            | 4,20            | 4,12  | 0,11 | 0,01      |
| <b>Média</b> | 4,10            | 4,22            | 4,16  | 0,12 | 0,03      |

Em seguida, as amostras foram dispostas em bandejas com malhas vazadas e seguiram para o desidratador com circulação contínua de ar quente na velocidade de 2,5 m/s, conforme mostra a ilustração da figura 7.



**Figura 7.** Rodelas de batata doce dispostas na bandeja do secador (à dir.) e desidratador com circulação contínua de ar quente do laboratório PPGCTA (à esq.)

A temperatura do ar ambiente externo ao desidratador foi monitorada durante o período de cada secagem através da utilização de termômetros de mercúrio. Já a umidade relativa do ar ambiente foi mensurada através da plotagem em tabela psicrométrica da



diferença da medição das temperaturas com termômetros de mercúrio em bulbo seco e bulbo úmido.

O experimento de coleta de dados para a montagem da curva de cinética foi realizado em triplicata para a bandeja superior e para a inferior, onde foi preparado 3 pequenos cestos de tela de poliéster para cada bandeja, conforme mostra a figura 8, para que possibilitasse as pesagens das amostras a cada intervalo de tempo. Em cada cesto foi colocado aproximadamente 15 g de amostra. As pesagens das amostras foram realizadas em balança semianalítica com precisão de 0,001 g até se obter peso constante, que equivale a determinar o teor de água de equilíbrio para as específicas condições termodinâmicas do ar de secagem. Para elaboração da curva de secagem do material foram realizadas pesagens a cada 20 min na primeira hora, a cada 40 min até a terceira hora, a cada 60 min até a oitava hora e nas duas últimas horas de processamento, até obtenção de peso constante. As temperaturas escolhidas para a realização do experimento foram as de 40, 50 e 60 °C. Pois os bioativos como os compostos fenólicos, e as antocianinas são termosensíveis, e são uns dos objetos principais deste estudo, logo se escolheu temperaturas de secagem que não tivessem um tempo longo de secagem e que impactassem da menor forma possível a degradação dos bioativos.



**Figura 8.** Rodelas de batata doce secas dentro dos cestos utilizados para facilitar as pesagens a cada intervalo de tempo

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água na amostra para o parâmetro adimensional razão de teor de água (Y). No qual a determinação do teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) em cada condição de secagem, foi determinado através de 3 amostras de 5 g que foram colocadas em recipientes de telas metálicas e levadas a estufa. Para estes foram realizadas pesagens em intervalos de 1 h, até que a variação da massa das amostras nas últimas três pesagens fosse inferior ou igual a 0,001 g, sendo em seguida determinado o teor de água em estufa a 105 °C (BRASIL, 2009). Para tal, foi utilizada a seguinte relação (Equação 5).

$$Y = \frac{X_{bus} - X_e}{X_{businicial} - X_e} \quad (5)$$

Em que:

$X_{bus}$  = teor de água (base seca);

$X_{bus}$  inicial = teor de água inicial (base seca);

$X_e$  = teor de água de equilíbrio (base seca).

Para obtenção da difusividade efetiva (Def) da batata doce de polpa roxa, foi necessário seguir um modelo racional que se inicia pela análise da taxa de secagem, que expressa a rapidez com que a secagem prossegue. Portanto, pode ser calculada pela derivada da umidade em base seca em relação ao tempo:

$$Taxa = \frac{\partial X}{\partial t} \quad (6)$$

Numericamente a taxa poderá ser calculada pela diferença entre as umidades em base seca no intervalo de tempo considerado, logo:

$$Taxa = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{X_{n+1} - X_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (7)$$

Calculando as taxas para todos os dados das secagens da batata doce de polpa roxa, temos a tabela 3.

**Tabela 3.** Dados das taxas de secagem da batata doce de polpa roxa

| Tempo (min) | Secagem à 40 °C | Secagem à 50 °C | Secagem à 60 °C |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             | Taxa*           | Taxa*           | Taxa*           |
| 0           | -0,0234         | -0,0250         | -0,0400         |
| 20          | -0,0155         | -0,0165         | -0,0169         |
| 40          | -0,0120         | -0,0124         | -0,0156         |
| 60          | -0,0073         | -0,0075         | -0,0056         |
| 100         | -0,0052         | -0,0042         | -0,0023         |
| 140         | -0,0038         | -0,0021         | -0,0015         |
| 180         | -0,0018         | -0,0009         | -0,0005         |
| 240         | -0,0008         | -0,0003         | -0,0002         |
| 300         | -0,0004         | -0,0001         | -0,0001         |
| 360         | -0,0003         | -0,0001         | -0,0001         |
| 420         | -0,0002         | 0,0000          | 0,0000          |
| 480         | 0,0000          | 0,0000          | 0,0000          |
| 1440        | 0,0000          | 0,0000          | 0,0000          |
| 1500        | 0,0000          | 0,0000          | 0,0000          |

\* Taxa = (Kg<sub>w</sub>/Kg<sub>se</sub> . min)

Analisando a tabela 3 pode se observar que nos primeiros 40 minutos a taxa de secagem, tem uma variação pequena. Esse período é caracterizado pelo aquecimento do material e pela evaporação da água livre do material. Este ponto de inflexão (de onde passamos do período constante ou de pequena variação para o período decrescente da

taxa) é chamado ponto crítico. Assim o ponto crítico destas secagens estão na umidade entre 53 a 43% (base úmida).

Do ponto crítico em diante desenvolve-se o período decrescente, no qual a resistência interna passa a predominar e a taxa de secagem diminui. Há diversas formas de tentarmos compreender este efeito de redução na taxa. Uma delas é lei de difusão de Fick:

$$\frac{\partial^2 X}{\partial z^2} = \frac{1}{D_{if}} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \quad (8)$$

Para caracterizar o comportamento do período decrescente, segundo a teoria difusional de Fick, deve se avaliar a difusividade efetiva que rege o comportamento da curva de taxa decrescente. Para aplicá-la é necessário especificar as condições de contorno e equacionar o problema. Supondo que possamos aproximar as fatias de batata doce de polpa roxa à forma de uma placa plana, em Crank (1975) encontramos a solução para as condições:

- Umidade inicial uniforme  $X(z, t) = X(z, 0) = X_0$
- Umidade máxima no centro  $\partial X / \partial z |_{z=0} = 0$
- Umidade constante na superfície  $X(z, t) = X(l, t) = X_{eq}$

Temos:

$$Y = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right) \quad (9)$$

Em que:

- $t$  = Tempo de secagem
- $D_{ef}$  = Difusividade efetiva
- $Y$  = Adimensional
- $i$  = Número de termos
- $2L$  = espessura da amostra

Os dados experimentais da secagem da batata doce de polpa roxa foram ajustados para quatro modelos matemáticos (Equações 9-12) a fim de descrever a cinética de secagem da batata doce de polpa roxa, e que estão apresentados na tabela 4. A fim de prever o tempo de secagem necessário para alcançar determinada umidade da farinha a ser obtida após a secagem das rodela de batata doce de polpa roxa. Tais modelos são encontrados em trabalhos na literatura como Barbosa Júnior *et al.* (2013), Costa *et al.* (2018) e Tavone *et al.* (2020).

**Tabela 4.** Modelos matemáticos aplicados a secagem da batata doce roxa de polpa roxa.

| Modelo                       | Designação do Modelo                                                                                                                                    |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fick - com 6 termos da série | $Y = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right)$ (BROOKER <i>et al.</i> , 1992) (9) |
| Henderson; Pabis             | $Y = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (HENDERSON; PABIS, 1961) (10)                                                                                            |
| Page                         | $Y = \exp(-k \cdot t^n)$ (PAGE, 1949) (11)                                                                                                              |
| Peleg                        | $Y = 1 - \frac{t}{(a + b \cdot t)}$ (PELEG, 1988) (12)                                                                                                  |

Y - razão de teor de água (adimensional); t- tempo de secagem (min); 2L- espessura da amostra plana; k- constantes de secagem; a,b,n coeficientes dos modelos.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, realizou-se a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, através do programa computacional STATISTICA 7.0®. Foi estimado os valores dos parâmetros em função da variável independente temperatura do ar de secagem e o teor de água de equilíbrio da amostra.

Para avaliar o grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE), e ainda a facilidade de uso do modelo. Sendo utilizados como primeiro critério na avaliação do modelo matemático que descrevesse melhor a cinética de secagem o coeficiente de determinação e o desvio padrão da estimativa. Porém para melhor avaliar modelos matemáticos não lineares foi utilizado o erro médio relativo (P), conforme a equação 10, sendo:

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y - \bar{Y}}{Y} \right| \quad (13)$$

Em que:

Y= Valor experimental;

N= Número de pontos experimentais;

$\bar{Y}$ =Valor predito modelos.

O desenvolvimento do modelo permite a previsibilidade do tempo de secagem versus o teor de água da amostra que se pretende obter em desidratadores com circulação contínua de ar quente.

As farinhas para análises do experimento foram obtidas em três temperaturas diferentes, 40, 50 e 60 °C em tempos determinados pela curva de secagem experimental obtida anteriormente, afim de que as farinhas atingissem umidade inferior a 13%, conforme exigido pela legislação vigente (Resolução nº 344, de 13 de dezembro de 2002). O procedimento foi realizado segundo Rodrigues *et al.* (2016), com modificações.

Após o processo de secagem, o material desidratado foi triturado utilizando-se um moinho analítico modelo A11 Basic, marca IKA. A farinha da batata doce de polpa roxa foi armazenada a temperatura ambiente em vidros com proteção a luz e vedados hermeticamente.

### 4.3 Preparo dos extratos

O procedimento de extração foi realizado de acordo com Rufino *et al.* (2010), com pequenas adaptações. Sendo, 1 g de amostra macerada com gral e pistilo, e introduzida em um Erlenmeyer com 25 mL de solvente (acetona: álcool: água, 40:40:20 v/v/v), sendo submetido à agitação a 3500 rpm, em temperatura ambiente durante 1 hora, em ausência de luz. Após a extração, o extrato foi filtrado em funil sinterizado n°3, com auxílio de bomba à vácuo (SOLAB, Modelo SL-60). Em seguida, o resíduo retido no filtro foi novamente extraído, sendo realizada uma lavagem com 5 mL de solvente, nas mesmas condições. Os filtrados foram levados a um balão volumétrico (100 mL), em ausência de luz, e utilizados para determinar a capacidade antioxidante por meio dos ensaios de redução de radicais livre (DPPH), e pelo método Fosfato molibdênio, para determinação do teor de compostos fenólicos totais e teores de antocianinas totais e monoméricas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

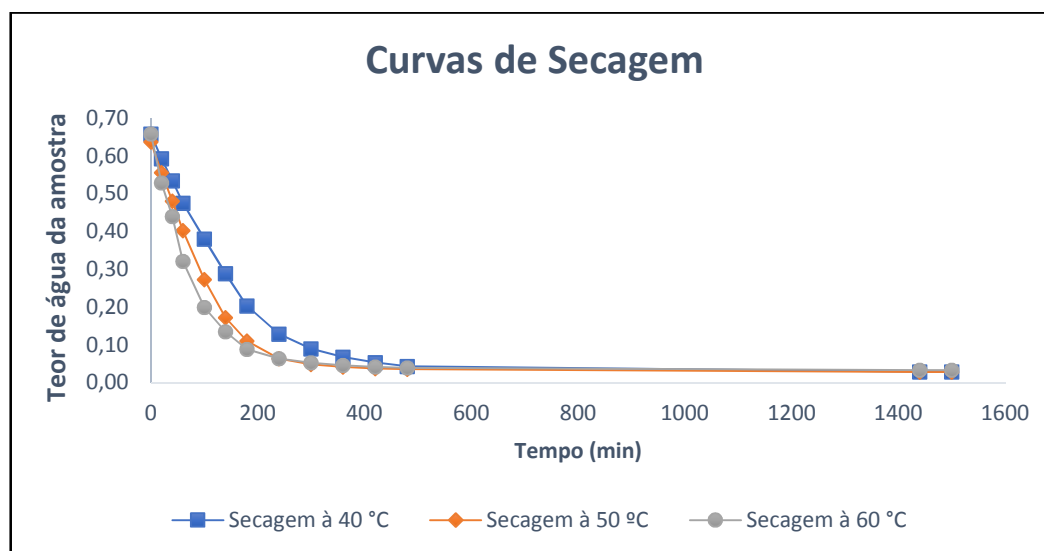
Os dados de Xbus (teor de água base úmida) obtidos através da secagem das amostras nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, que foram posteriormente utilizados no cálculo de Xbs (teor de água base seca) estão expostos na tabela 5.

**Tabela 5.** Dados experimentais das secagens da batata doce de polpa roxa

| Dados utilizados na confecção da curva de cinética das secagens |                 |       |              |                 |       |              |                 |       |              |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|--------------|-----------------|-------|--------------|
| Tempo (min)                                                     | Secagem à 40 °C |       |              | Secagem à 50 °C |       |              | Secagem à 60 °C |       |              |
|                                                                 | Xbs             | Xbus  | Adimensional | Xbs             | Xbus  | Adimensional | Xbs             | Xbus  | Adimensional |
| 0                                                               | 1,923           | 0,658 | 1,000        | 1,752           | 0,637 | 1,000        | 1,923           | 0,658 | 1,000        |
| 20                                                              | 1,455           | 0,593 | 0,896        | 1,252           | 0,556 | 0,867        | 1,122           | 0,529 | 0,794        |
| 40                                                              | 1,145           | 0,534 | 0,803        | 0,922           | 0,480 | 0,742        | 0,785           | 0,440 | 0,651        |
| 60                                                              | 0,906           | 0,475 | 0,710        | 0,674           | 0,403 | 0,616        | 0,472           | 0,321 | 0,461        |
| 100                                                             | 0,613           | 0,380 | 0,558        | 0,374           | 0,272 | 0,401        | 0,248           | 0,199 | 0,266        |
| 140                                                             | 0,407           | 0,289 | 0,414        | 0,208           | 0,172 | 0,237        | 0,156           | 0,135 | 0,164        |
| 180                                                             | 0,255           | 0,203 | 0,277        | 0,123           | 0,110 | 0,135        | 0,097           | 0,088 | 0,089        |
| 240                                                             | 0,148           | 0,129 | 0,159        | 0,068           | 0,064 | 0,059        | 0,068           | 0,064 | 0,050        |
| 300                                                             | 0,099           | 0,090 | 0,098        | 0,050           | 0,048 | 0,033        | 0,055           | 0,052 | 0,031        |
| 360                                                             | 0,073           | 0,068 | 0,062        | 0,043           | 0,041 | 0,022        | 0,047           | 0,045 | 0,020        |
| 420                                                             | 0,056           | 0,053 | 0,038        | 0,039           | 0,037 | 0,015        | 0,043           | 0,041 | 0,014        |
| 480                                                             | 0,045           | 0,043 | 0,022        | 0,036           | 0,035 | 0,012        | 0,040           | 0,039 | 0,010        |
| 1440                                                            | 0,030           | 0,029 | 0,000        | 0,029           | 0,028 | 0,000        | 0,034           | 0,033 | 0,001        |
| 1500                                                            | 0,030           | 0,029 | 0,000        | 0,029           | 0,028 | 0,000        | 0,034           | 0,033 | 0,000        |

Xbs= teor de água em base seca; Xbus= teor de água em base úmida

A partir desses dados foi possível a confecção das curvas de secagem, conforme mostra a figura 9, onde é possível observar o comportamento da secagem até peso constante nas diferentes temperaturas estudadas.



**Figura 9.** Curvas de secagem (teor de água x tempo) da batata doce de polpa roxa

Foi realizada a análise estatística dos pontos da secagem das amostras, através do Teste de Chi quadrado, para verificar se existiam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores dos pontos, ou seja entre o valor de Xbus determinado em cada tempo de secagem, conforme apresentado na tabela 6. O Teste de Chi Quadrado foi realizado utilizando o Software Minitab 19 (Pensilvânia, EUA, - 2019).

**Tabela 6.** Dados utilizados para o Teste de Chi Quadrado

| Tempo (min) | Xbus 40 °C | Xbus 50 °C | Xbus 60 °C |
|-------------|------------|------------|------------|
| 300         | -          | 0,0478     | 0,0521     |
| 360         | 0,0677     | 0,0413     | 0,0452     |
| 420         | 0,0528     | 0,0372     | 0,0412     |
| 480         | 0,0426     | 0,0351     | 0,0385     |

Com o teste de chi-quadrado não foi identificado diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores dos minutos em todas as temperaturas.

Temperatura de 40 °C: X-squared = 0,0058296; GL = 2, p-value = 0,9971

Temperatura de 50 °C: X-squared = 0,0026514; GL = 3, p-value = 1

Temperatura de 60 °C: X-squared = 0,0027365; GL = 3, p-value = 1

Na secagem realizada à 40 °C, verificou-se que esta estabiliza no ponto de 360 minutos (Figura 9) e não há diferença significativa na secagem a partir de 360 minutos ( $x^2 = 0,0058296$ ,  $gl = 2$ ,  $p\text{-valor} = 0,9971$ ), apesar de ocorrer queda de umidade na amostra da farinha de batata doce de polpa roxa, dessa forma concluímos que a secagem pode ser interrompida no ponto de 360 minutos. Um padrão semelhante é observado para as

temperaturas de 50 °C e 60 °C, mas o ponto de interrupção nessas temperaturas é de 300 minutos (para 50 °C,  $x^2= 0.0026514$ ,  $gl = 3$ ,  $p\text{-valor} = 1$ ) (para 60 °C  $x^2= 0.0027365$ ,  $gl = 3$ ,  $p\text{-valor} = 1$ ).

Analisando as três temperaturas de forma conjunta, nota-se que a estabilidade da desidratação, ou seja a diferença estatisticamente não significativa entre os pontos medidos, é alcançada antes na temperatura de 50 e 60 °C, quando comparada a temperatura de 40 °C. Segundo Park *et al.* (2007), a evaporação da água contida no sólido é regida basicamente por dois fenômenos, a transferência de calor e a de massa. Sendo a transferência de massa função da natureza física do sólido, de sua temperatura e do conteúdo de umidade. Enquanto a transferência de calor é regida por parâmetros como a temperatura, umidade, fluxo e direção do ar e, área exposta do sólido. Neste estudo o único parâmetro que se modifica entre as análises é a temperatura do ar de secagem, sendo assim, análises com a temperatura maior, tendem a estabilizar antes quando comparada com temperaturas menores.

Porém quando analisamos os pontos finais da análise, 1440 e 1500 min, observamos uma menor umidade na amostra de 50 °C e 40 °C em relação a amostra seca a temperatura de 60 °C. Esse fato está relacionado ao fenômeno de formação de crosta seca na superfície de amostras que possuem alto teor de açúcar, e são secas a temperaturas elevadas, dificultando assim a retirada da água não livre e conseqüentemente a desidratação da amostra (PARK *et al.*, 2007).

A Tabela 7 apresenta a umidade das farinhas de batata doce de polpa roxa e o tempo de secagem utilizado no processo de obtenção das rodela de batata doce de polpa roxa que deram origem as farinhas, nas diferentes temperaturas de secagem (40, 50 e 60 °C).

**Tabela 7.** Dados das farinhas de batata doce de polpa roxa obtidas e utilizadas para análises físico químicas

| Amostra              | UR %  | Tempo de secagem (min) |
|----------------------|-------|------------------------|
| <b>Farinha 40 °C</b> | 9,7 % | 300                    |
| <b>Farinha 50 °C</b> | 11,8% | 180                    |
| <b>Farinha 60 °C</b> | 7,33% | 140                    |

Ajustando-se os dados obtidos ao modelo da equação 9, encontra-se a difusividade efetiva, sendo assim possível prever o comportamento da curva em qualquer tempo. Como não se pode simplesmente isolar o valor da difusividade na série em função das variáveis, foi utilizado o método de cálculo estatístico para obter o ajuste da curva, através do software de cálculo estatístico STATISTICA versão 7.0.

Na Tabela 8, encontram-se os valores dos coeficientes dos quatro modelos matemáticos analisados e os valores estatísticos de coeficientes de determinação ( $R^2$ ), de desvio padrão da estimativa (SE) e do erro médio relativo (P).

Em todos os tratamentos, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 97,81% e valores de RMSE

inferiores a 0,039. Outros trabalhos de secagem encontrados na literatura obtiveram resultados semelhantes, com valores elevados de  $R^2$ . Silva *et al.* (2015) na secagem da polpa de achachairu, obtiveram  $R^2$  superiores a 97%. Costa *et al.* (2018) na cinética de banana madura obtiveram  $R^2$  superiores a 99% para os modelos de Henderson e Pabis e o de Page. Tavone *et al.* (2020) na secagem de banana sapo verde obtiveram  $R^2$  superiores a 99% para o modelo de Page.

**Tabela 8.** Parâmetros estatísticos e constante de secagem obtidos para o modelos matemáticos

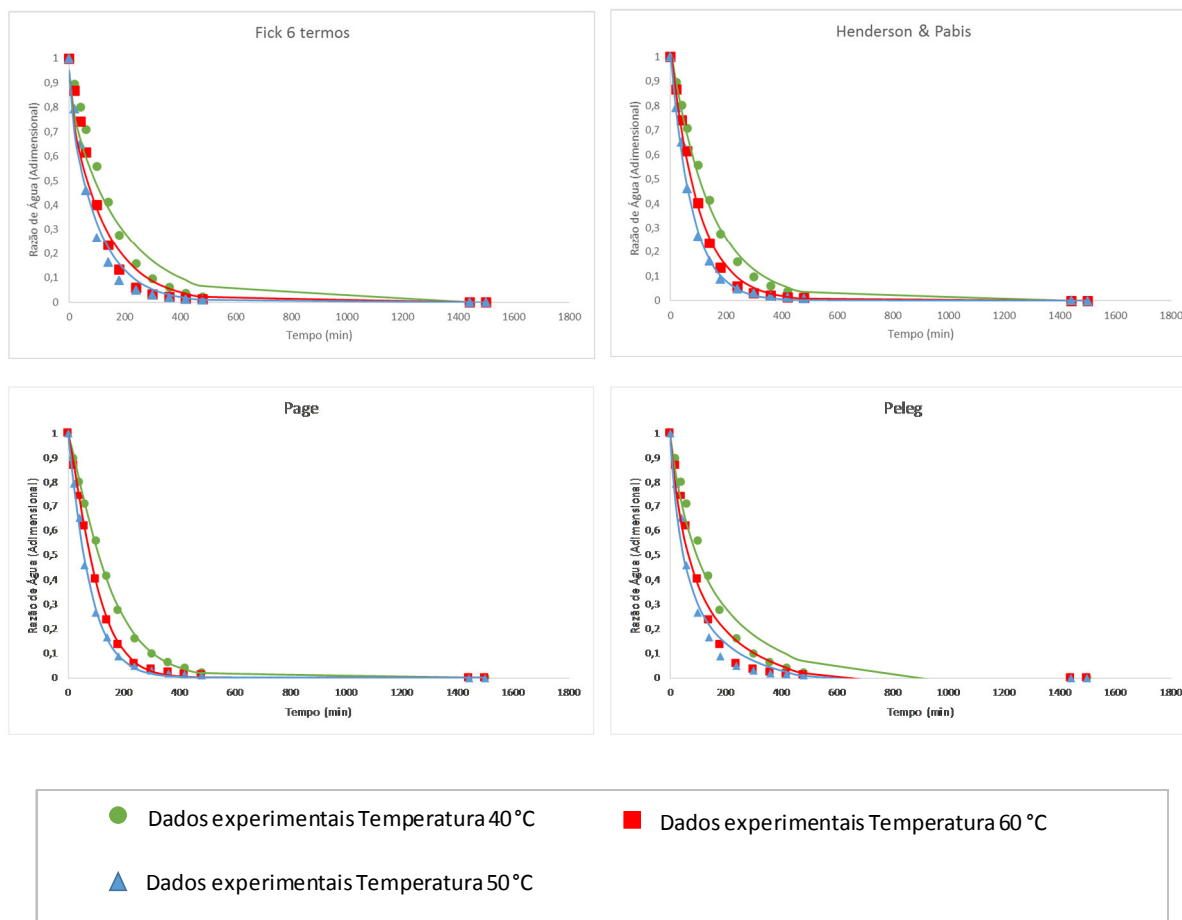
| Modelo            | T (°C) | Parametros |         |         |           |         | R <sup>2</sup> | SE     | P (%)   |
|-------------------|--------|------------|---------|---------|-----------|---------|----------------|--------|---------|
|                   |        | Def        | k       | n       | a         | b       |                |        |         |
| Fick              | 40 °C  | 0,00521    | -       | -       | -         | -       | 0,9781         | 0,0388 | 25,0980 |
|                   | 50 °C  | 0,00745    | -       | -       | -         | -       | 0,9792         | 0,0300 | 27,4081 |
|                   | 60 °C  | 0,00909    | -       | -       | -         | -       | 0,9792         | 0,0231 | 15,5659 |
| Henderson & Pabis | 40 °C  | -          | 0,00698 | -       | 1,03758   | -       | 0,9976         | 0,0131 | 9,1773  |
|                   | 50 °C  | -          | 0,00997 | -       | 1,04629   | -       | 0,9972         | 0,0130 | 10,5615 |
|                   | 60 °C  | -          | 0,01276 | -       | 1,01667   | -       | 0,9990         | 0,0280 | 19,2568 |
| Page              | 40 °C  | -          | 0,00263 | 1,18587 | -         | -       | 0,9996         | 0,0048 | 2,7007  |
|                   | 50 °C  | -          | 0,00311 | 1,23886 | -         | -       | 0,9997         | 0,0087 | 6,7135  |
|                   | 60 °C  | -          | 0,00901 | 1,07522 | -         | -       | 0,9993         | 0,0059 | 6,9479  |
| Peleg             | 40 °C  | -          | -       | -       | 110,75820 | 0,84375 | 0,9824         | 0,0383 | 52,4184 |
|                   | 50 °C  | -          | -       | -       | 75,19320  | 0,86345 | 0,9793         | 0,0371 | 60,2792 |
|                   | 60 °C  | -          | -       | -       | 53,12574  | 0,89625 | 0,9861         | 0,0280 | 38,3610 |

A segunda Lei de Fick descreve o comportamento dinâmico do processo de secagem durante o período de taxa decrescente da redução de umidade em relação ao tempo, já que a difusão efetiva (Def) é o principal mecanismo de transferência de massa (HENRÍQUEZ *et al.*, 2014). O aumento da temperatura afetou diretamente a difusão efetiva da amostra, pois como se observa na tabela 8, houve um aumento dessa constante quando comparada as temperaturas de 40 e 60 °C.

Apesar dos 4 modelos estudados apresentarem uma representação satisfatória na descrição da cinética de secagem de batatas doce de polpa roxa, segundo Madamba *et al.* (1996) o valor mínimo para se ter uma reprodução aceitável dos modelos é  $R^2$  maior que 95%, os modelos de Henderson e Pabis, e o de Page se mostraram ser os mais adequados por apresentarem os maiores valores de  $R^2$  e os menores de RMSE (Tabela 8).



Na Figura 10 são apresentadas as cinéticas de secagem estimadas pelos modelos difusivo de Fick com 6 termos, Henderson e Pabis, Page, Peleg. Verifica-se o melhor ajuste pelos modelos de Henderson e Pabis, e o de Page pela correspondência entre os valores experimentais e os estimados.



**Figura 10.** Modelos cinéticos e dados experimentais das secagens de batata doce roxa de polpa roxa

Os resultados obtidos das análises das farinhas de batata doce de polpa roxa, estão expressos na Tabela 9.

**Tabela 9.** Resultado das análises da farinha de batata doce de polpa roxa

| Extrato       | Compostos Fenólicos <sup>a</sup> | DPPH <sup>b</sup> | Fosfomolibdênio <sup>c</sup> | Antocianinas Totais <sup>d</sup> | Antocianinas Monoméricas <sup>d</sup> |
|---------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| In Natura     | 11.86 ± 0.33                     | 29.81 ± 3.75      | -                            | 24.86 ± 0.78                     | 5.07 ± 0.43                           |
| Farinha 40 °C | 32.02 ± 0.52                     | 40.97 ± 2.66      | 240.39 ± 50.44               | 38.19 ± 1.02                     | 7.67 ± 1.05                           |
| Farinha 50 °C | 25.94 ± 0.35                     | 56.47 ± 3.08      | 629.52 ± 25.82               | 72.07 ± 2.69                     | 14.96 ± 2.46                          |
| Farinha 60 °C | 18.24 ± 0.21                     | 32.03 ± 3.57      | 929.31 ± 49.15               | 37.09 ± 0.76                     | 7.36 ± 0.99                           |

<sup>a</sup> Expresso em mg ácido gálico/ 100g de amostra.

<sup>b</sup> Expresso em mg de equivalente de Trolox / g de amostra.

<sup>c</sup> Expresso em mmol de Trolox / g de amostra.

<sup>d</sup> Expresso em mg de equivalente cyanidin-3-glucoside/ 100g de amostra em peso seco

Quando analisamos as quantidades de compostos fenólicos totais obtidos nas amostras, que foram calculados através do modelo matemático da curva de calibração e estão expressos na tabela 9, o melhor resultado foi obtido na farinha seca a 40 °C, o que demonstra que a secagem facilita a extração de compostos fenólicos, porém quanto maior for a temperatura de secagem utilizada, maior será a degradação dos compostos fenólicos, o que acaba não sendo diferente para batata doce de polpa roxa. Tang *et al.* (2015) obtiveram resultados semelhantes quando estudaram o comportamento de compostos fenólicos na batata doce em diferentes processos térmicos (cozimento tradicional por 30 min, cozimento a vapor por 30 min e secagem em forno tradicional a 230 °C por 30 min), obtendo o maior teor no cozimento tradicional, ou seja, no processo menos severo em termos de temperatura. Yang *et al.* (2010) demonstraram em seus estudos que os compostos fenólicos totais da batata doce aumentaram em todos os processos de secagem aplicados (secagem com ar quente, com micro-ondas e liofilização) quando comparados ao teor da amostra in natura. Quando comparamos os resultados obtidos (18,24 – 32,02 mg EAG/ 100g amostra seca) com a literatura, observamos que os mesmos estão de acordo com encontrado por outros autores em estudos com batata doce de polpa roxa. Tang *et al.* (2015) reportam que as amostras de polpa roxa tiveram resultados variando de 11,43 a 24,90 mg EAG/ 100g amostra seca. Já Ahmed *et al.* (2010) reportaram que suas amostras de farinha de batata doce de polpa roxa tiveram resultados variando de 4,29 a 8,33 mg EAG /100g amostra seca.

Os resultados obtidos da análise de Potencial antioxidante pelo método de DPPH, expressos em equivalente Trolox ( $\mu\text{M}$ ), calculado através do modelo matemático da curva de calibração, estão expressos na tabela 9. Assim como os resultados da análise de capacidade antioxidante total realizada pelo método de Fosfato molibdênio, expresso em equivalente de Trolox ( $\mu\text{M}$ ), e calculado através do modelo matemático da curva de calibração.

Em termos de capacidade antioxidante na farinha de batata doce de polpa roxa, foi observado um incremento na capacidade antioxidante com a secagem, e que o melhor resultado foi obtido na farinha seca a 50 °C para o método de captura de radicais livres realizado por DDPH, e para a farinha de 60 °C, para o método de capacidade antioxidante total realizado pela análise de fosfomolibdênio. Essa diferença nas análises se deve ao teor de antocianinas contido nas amostras de 50 e 60 °C, onde a degradação das antocianinas na secagem com maior temperatura resulta na diminuição de capacidade de captura de radicais livres (LOPES *et al.*, 2007).

Os resultados das antocianinas totais e monoméricas das farinhas de batata doce de polpa roxa, expressos em equivalente cyanidin-3-glucoside, foram calculados através das leituras de absorbâncias em pH 1,0 e 4,5 segundo o método de Lee, Durst & Wrolstad (2005).

Quando comparamos as antocianinas totais das amostras de batata doce de polpa roxa com os dados obtidos na literatura de diferentes espécies de batatas doces roxas, conforme apresentado na Tabela 10, pode se observar que as amostras das três farinhas com teor entre 37,09 – 72,07 mg/100g de amostra seca, estão de acordo com o encontrado por outros grupos de trabalho. Teow *et al.* (2007) reportou que o conteúdo de antocianinas totais em 19 genótipos de batatas doces de variaram entre 1,7 – 53,1 mg/100g de amostra fresca. Na tabela 10, pode se observar que a batata doce utilizada neste trabalho apresenta teores de antocianinas totais semelhantes a outros trabalhos, mas de uma forma geral em quantidades menores do que algumas espécies, sobretudo das variedades asiáticas. Segundo Ishiguro *et al.*, (2017), durante a produção, fatores como umidade relativa do ar e a temperatura são variáveis que influenciam na quantidade de antocianinas em batatas doces de polpa roxa, sendo que temperaturas climáticas mais baixas levam a batatas doces de polpa roxa com maiores teores de antocianinas.

**Tabela 10.** Comparação do teor de antocianinas totais em diferentes espécies de batatas doce roxas reportados na literatura

| Nome da variedade              | Antocianinas | Método         | Referências                                  |
|--------------------------------|--------------|----------------|----------------------------------------------|
| Stokes Purple                  | 328*         | pH diferencial | Truong <i>et al.</i> (2010)                  |
| NC 415                         | 178*         |                |                                              |
| Okinawa                        | 65*          |                |                                              |
| Shinzami                       | 1342         | HPLC           | Kim <i>et al.</i> (2012)                     |
| Aya Murasaki                   | 261*         | HPLC           | Suda <i>et al.</i> (2003)                    |
| Tanegashima Murasaki           | 32           | não reportado  | Yoshinaga <i>et al.</i> (1999)               |
| 12 Variedades da China Central | 78 - 695     | HPLC           | Zhu, Cai, Yang, Ke, and Corke (2010)         |
| NDOP5847-1                     | 175          | pH diferencial | Rodriguez-Saona, Giusti, and Wrolstad (1998) |
| P40                            | 1390         | HPLC           | Jiateng Xu <i>et al.</i> (2015)              |
| ILS 16                         | 1112*        | pH diferencial | Vizzotto <i>et al.</i> (2017)                |
| ILS 56                         | 1072*        |                |                                              |
| ILS 71                         | 361*         |                |                                              |
| CNPH 0005                      | 88,6         | pH diferencial | Pilon <i>et al.</i> (2020)                   |
| CNPH 0080                      | 60,6         |                |                                              |
| CNPH 1261                      | 57           |                |                                              |
| CNPH 1399                      | 193,8        |                |                                              |
| CNPH 1402                      | 56,2         |                |                                              |
| CNPH 1405                      | 200          |                |                                              |

\* Valores convertidos para base seca usando 77% de umidade conforme indicado na USDA Food and Nutrient Database for Dietary Studies.

Observa-se que a temperatura de secagem da farinha, teve influência direta no conteúdo de antocianinas totais. Sendo a farinha seca a 50 °C a que obteve o maior teor de antocianinas totais (72,07 mg/100g de amostra seca), seguida pela de 40 °C (38,19

mg/100g de amostra seca) e pela de 60 °C (37,09 mg/100g de amostra seca). Este comportamento parabólico no teor de antocianinas nas diferentes temperaturas tem duas explicações, a primeira é que devido a secagem à 40 °C ter um tempo maior que as demais (pelo menos 60% maior), ocorre uma degradação das antocianinas durante a secagem. A segunda, é que existe um efeito deletério nas antocianinas em temperaturas mais elevadas (Oliveira *et al.* 2020).

Em relação as antocianinas monoméricas, os resultados seguem a mesma lógica das antocianinas totais, sendo o maior teor encontrado na amostra de 50 °C (14,95 mg/100g de amostra seca), sendo seguida pela de 40 °C (7,67 mg/100g de amostra seca) e pela de 60 °C (7,36 mg/100g de amostra seca) respectivamente.

## **6. CONCLUSÃO**

O presente estudo demonstrou que é possível obter farinhas de batata doce que atendam a especificação de umidade, em tempos de secagem baixos, de 140 a 300 min, quando utilizado desidratador com circulação contínua de ar quente.

O melhor modelo matemático que descreveu a cinética de secagem em todas as temperaturas foi o modelo de Page, seguido pelo modelo de Henderson e Pabis. O desenvolvimento do modelo permite a previsibilidade do tempo de secagem versus o teor de água da amostra que se pretende obter em desidratadores com circulação contínua de ar quente.

O comportamento das propriedades físico químicas variaram de acordo com a temperatura do ar quente utilizado para a secagem em estufa com ventilação forçada. Os compostos fenólicos totais tiveram decréscimos conforme o aumento da temperatura de secagem, porém com teores maiores do que a amostra in natura. Já o potencial antioxidante apresentou incremento até a temperatura de secagem a 50°C e decréscimo na temperatura de 60°C. O mesmo comportamento foi observado na análise das antocianinas totais e monoméricas, incremento até a temperatura de secagem a 50 °C e decréscimo na temperatura de 60 °C. Contudo, das temperaturas estudadas a que se mostrou mais adequada para se trabalhar com essa batata doce de polpa roxa, foi a secagem com ventilação forçada a 50 °C.

## **7. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS**

A batata doce de polpa roxa, além de ser rica em carboidratos, o que a torna hábil para ser a matéria prima de xaropes de maltose, é rica em antocianinas. A combinação destas duas características possibilitaria a produção de um adjunto cervejeiro, com coloração e com propriedades antioxidantes, que agregariam valor nutricional a uma cerveja produzida com ela.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELMANN, J.; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2005.

AHMED, M., AKTER, M.S., EUN, J. Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. **Food Chemistry**, 121, 112–118, 2010.

ALONSO, L. F. T.; PARK, K. J. Métodos de seleção de secadores. **Food Science and Technology**, v. 25, p. 208-216, 2005. ISSN 0101-2061. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612005000200004&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612005000200004&nrm=iso)>.

BARBOSA JÚNIOR, J. L.; MANCINI, M. C.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science and Technology**, 48, 2463–2473, 2013.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA F.W.; HALL; C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. **The AVI Publishing Company**, Westport, Connecticut, USA, 1992.

COSTA, Z.R.T.; SILVA, L.F.R.; ALVES, V.R.; SILVA, H.A.; VIEIRA, A.F. Mathematical models of banana drying kinetics (*musa ssp*). **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC’2018**. 2018 Maceió/AL, Brasil Available from: <[https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/157\\_mm\\_dcdsdbms.pdf](https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/157_mm_dcdsdbms.pdf)> Accessed: Nov. 22, 2020.

CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*, 2nd edn. Oxford, UK: Clarendon Press. 1975.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. , n. FAOSTAT, 2015

HENRÍQUEZ, C.; CORDOVA, A.; ALMONACID, S.; TORRICO, J.S. Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. **Journal of Food Engineering**. v. 143, p. 146–153, 2014.

IWE, M. O.; VAN ZUILICHEM, D. J.; NGODDY, P. O. Amino acid and protein digestibility index (PDI) of mixtures of extrudes soy and sweet potato flours. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**, v. 34, n. 2, p. 71-75, 2001.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos. Brasília. IV Edição, 1018p, 2005.

ISHIGURO, K.; KURANOCHI, T.; KAI, Y.; KATAYAMA, K. Comparison of anthocyanin and polyphenolics in purple sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) grown in different locations in Japan. **Preprints**, 2017.

JIANTENG XU; XIAOYU SU; SOYOUNG LIM ; JASON GRIFFIN; EDWARD CAREY; BENJAMIN KATZ; JOHN TOMICH; J. SCOTT SMITH; WEIQUN WANG. Characterisation and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato P40. **Food Chemistry**, 2015.

JÖDICKE, K.; ARENDT, S; HOFACKER, W.; SPECKLE, W.; The influence of process parameters on the quality of dried agricultural products determined using the cumulated thermal load. **Drying Technology**, 2020, 38:3, 321-332

KIM, H. W., KIM, J. B., CHO, S. M., CHUNG, M. N., LEE, Y. M., CHU, S. M. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. **Food Chemistry**, 130(4), 966–972, 2012.

LEE, J.; DURST, R.; WROLSTAD, R. Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural colorants, and Wines- pH Differential Method. **AOAC**, 2005.

LEONEL, M.; OLIVEIRA, M. A.; DUARTE-FILHO, J. Espécies tuberosas tropicais como matérias-primas amiláceas. **Revista Amidos Tropicais**, v. 1, p. 49-68, outubro 2005.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; FRANCO, C. M. L. Avaliação de Cultivares de Batata Doce como Matéria-Prima para Extração de Amido. **Braz. Journal Food Technology**, v. 7, n. 1, p. 47-55, 2004.

LOPES, T.J.; XAVIER, M.F.;QUADRI, M.G.N.; QUADRI, M.B. Anthocyanins: a brief review of structural characteristics and stability. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.13, n.3, p. 291-297, jul-set, 2007.

NASCIMENTO, C. M. O. Propriedades físico-químicas, nutricionais e funcionais de farinha de batata doce de polpa alaranjada e seu potencial de coloração de Petit Suisse., v. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p. 58, 2017.

OLIVEIRA,K.K.G.; BASTOS, R. S.; LIMA, V.L.A.G.. Efeito do calor sobre a estabilidade das antocianinas purificadas do resíduo agroindustrial de uva cv. Isabel. In: anais do simpósio latino americano de ciências de alimentos, 2015, . **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2015. Disponível em: <<https://proceedings.science/slaca/slaca-2015/papers/efeito-do-calor-sobre-a-estabilidade-das-antocianinas-purificadas-do-residuo-agroindustrial-de-uva-cv--isabel?lang=pt-br>> Acesso em: 29 out. 2020.

OLIVEIRA, H.; PEREZ-GREGÓRIO, R.; DE FREITAS, V.; MATEUS, N. Comparison of the in vitro gastrointestinal bioavailability of acylated and non-acylated anthocyanins: Purple-fleshed sweet potato vs red wine. **Food Chemistry**, v. 276, p. 410-418, 2019/03/15/ 2019. ISSN 0308-8146. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814618317448>> .

OLIVEIRA, V.B.; ZUCHETTO, M.; OLIVEIRA, C.F.; PAULA, C.S.; DUARTE, A.F.S.; MIGUEL, M.D.; MIGUEL, O.G. Effect of different extraction techniques on the

yield, antioxidant activity, total dosages, and profile by hplc-dad of *Dicksonia sellowiana* (Presl.). Hook, dicksoniaceae. **Rev. bras. plantas med.** v.18 n.1 supl.1, Botucatu, 2016.

PANDA, S. K.; PANDA, S. H.; SWAIN, M. R.; RAY, R. C. Anthocyanin-Rich Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Beer: Technology, Biochemical and Sensory Evaluation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 3040-3049, 2015. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12569> >.

PARK, K. J., ANTONIO, G.C., OLIVEIRA, R. A., PARK, K. J. B. Conceitos de processo e equipamentos de secagem. **CTEA**, Unicamp. 2007. Disponível em: < <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html> >

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*pyrus* sp.) em fatias. **Food Science and Technology**, v. 21, p. 288-292. 2001.

PEREIRA, R. J.; CARDOSO, M. D. G. Vegetable secondary metabolites and antioxidants benefits. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 4, p. 146-152, 2012. Disponível em: < <http://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Metab%C3%B3litos-secund%C3%A1rios-ARTIGO.pdf> >. Acesso em: 12/10/2018.

PRIETO, P., PINEDA, M., AGUILAR, M., Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. **Analytical Biochemistry** v. 269, p. 337–341, 1999.

PILON, L., WARTHA, C.C., ROSSETTO, L.M. SOUZA, D.G., CASTRO E MELO, R.A., VENDRAME, L.P.C. Avaliação físico-química e compostos bioativos de farinhas de batatas-doces de polpa roxa. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 202, **EMBRAPA**, 2020

RAY, R. C.; TOMLINS, K. I. Sweet potato: Post harvest aspects in food, feed and industry. Nova Iorque. **Nova Science Publishers**, 2010.

RODRIGUES, N. da R.; BARBOSA, J. J. L.; BARBOSA, M. I. M. J. Determination of physico-chemical composition, nutritional facts and technological quality of organic orange and purple-fleshed sweet potatoes and its flours. **International Food Research Journal**, v.23, n. 5, p. 2071-2078, 2016.

RODRIGUEZ-SAONA, L. E., GIUSTI, M. M., WROLSTAD, R. E. Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes. **Journal of Food Science**, 63(3), 458–465, 1998.

ROESLER, P. V. S. O.; GOMES, S. D.; MORO. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no oeste do Paraná. **Acta Science Agronômica**, v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008.

RUFINO, M. DO S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

RUTTARATTANAMONGKOL, K.; CHITTRAKORN S.; WEERAWATANAKORN, M.; DANGPIUM, N. Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. **J Food Sci Technol** V.53(4), paginas 1811–1822, 2016.

SANTOS, K.B.; TONIN, L.T.D. Study of the influence of drying temperature and extractive solvent on the antioxidant capacity of *Plantago major* leaves. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro. v.13(3): 200-211, 2019.

SILVA, L.M.M.; SOUSA, F.C.; CASTRO, D.S.; GOMES, J.P.; ALMEIDA, F.A.C. Experimental study of achachairu pulp of drying in thin layer. *Gaia scientia* v. 9(1), p. 151-155, 2015. Available from: <<https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/download/18136/14849>> Accessed: Oct. 29, 2020.

SHIH, M. C.; KUO, C. C.; CHIANG, W. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. **Food Chemistry**, v. 117, n. 1, p. 114-121, 2009/11/01/2009. ISSN 0308-8146. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609004075>> .

SUDA, I.; OKI, T.; MASUDA, M.; KOBAYASHI, M.; NISHIBA, Y.; FURUTA, S. Physiological functionality of purple-fleshed sweet potatoes containing anthocyanins and their utilization in foods. **Japan Agricultural Research**, 37(3), 167–173, 2003.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA-UNICAMP. 4. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011.

TANG, Y.; CAI, W.; BAOJUN X.; Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed white, yellow, orange and purple sweet potatoes grown in Guilin, China. **Food Science and Human Wellness**, v.4 123–132, 2015.

TAVONE, L.A.S.; ARÉVALO, C.R.B.; PINEDO, A.A.; MALDONADO, C.A.B.; CORTEZ-VEGA, W.R.; PIZATO, S.; PINEDO, R.A. Comparison of mathematical models of banana pão/sapo drying kinetics in green maturation stage. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.6, n.6, p.35611-35622, 2020.

TEOW, C. C., TURONG, V. D., MCFEETERS, R. F., THOMPSON, R. L., PECOTA, K.V., YENCHO, G, C. Antioxidant activities, phenolic and  $\beta$ - carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food Chemistry**, 103, 829-838, 2007.

TOYAMA, J.; YOSHIMOTO, M.; YAMAKAWA, O. Selection of sweetpotato lines with high protein content and/or low trypsin inhibitor activity. **Breeding Science**, v. 56, p. 17-23, 2006.

TRUONG, V.-D., DEIGHTON, N., THOMPSON, R. T., MCFEETERS, R. F., DEAN, L. O., PECOTA, K.V. Characterization of anthocyanins and anthocyanidins in purple fleshed sweetpotatoes by HPLC-DAD/ESI-MS/MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58(1), 404–410, 2010.



ULLMANN, R.; RESENDE, O.; RODRIGUES, G. B.; CHAVES, T. H. Physiological quality of sweet sorghum seeds submitted to drying and storage. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, p. 313-321, 2018.

VIZZOTTO, M.; PEREIRA, E. D. S.; VINHOLES, J. R.; MUNHOZ, P. C. Physicochemical and antioxidant capacity analysis of colored sweet potato genotypes: in natura and thermally processed. **Ciência Rural**, v. 47, 2017. ISSN 0103-8478. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782017000400751&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000400751&nrm=iso) >.

YADAV, A.R.; GUHA M.; THARANATHAN R.N.; RAMTEKE R.S. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. **LWT - FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY** Volume 39, Issue 1, January 2006, Pages 20-26

YANG, J.; JIN-FENG, C.; YU-YING, Z.; LIN-CHUN, M. Effects drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. **Agric Sci China**, 2010, Pages 1522–1529

YOSHINAGA, M., YAMAKAWA, O., NAKATANI, M. Genotypic diversity of anthocyanin content and composition in purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Breeding Science**, 49(1), 43–47, 1999.

ZHU, F., CAI, Y.-Z., YANG, X., KE, J., CORKE, H. Anthocyanins, hydroxycinnamic acid derivatives, and antioxidant activity in roots of different Chinese purplefleshed sweetpotato genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58(13), 7588–7596, 2010.