



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS



**FARINHAS DE SEMENTES DE MELÃO NEVE (*Cucumis melo* SP.) PRODUZIDAS
POR SECAGEM INTERMITENTE E CONTÍNUA: PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS E ESTABILIDADE DURANTE O ARMAZENAMENTO**

RENATO COSTA DA SILVA

Campina Grande - PB

Fevereiro – 2019

**FARINHAS DE SEMENTES DE MELÃO NEVE (*Cucumis melo* SP.)
PRODUZIDAS POR SECAGEM INTERMITENTE E CONTÍNUA:
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE DURANTE O
ARMAZENAMENTO**

Renato Costa da Silva

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADORES: Prof.^a Dr.^a Josivanda Palmeira Gomes
Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva

Campina Grande - PB

Fevereiro – 2019

S586f

Silva, Renato Costa da.

Farinhas de sementes de melão neve (*Cucumis melo* SP.) produzidas por secagem intermitente e contínua : propriedades físico-químicas e estabilidade durante o armazenamento / Renato Costa da Silva. - Campina Grande, 2020.

118 f. : il. color

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes, Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva.

Referências.

1. Convecção. 2. Isoterma. 3. Predição da Cinética de Secagem. 4. Ls Optimizer. I. Gomes, Josivanda Palmeira. II. Silva, Wilton Pereira da. III. Título.

CDU 631(043)



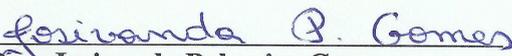
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

RENATO COSTA DA SILVA

“FARINHAS DE SEMENTES DE MELÃO NEVE (*Cucumis melo* SP.)
PRODUZIDAS POR SECAGEM INTERMITENTE E CONTÍNUA:
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE DURANTE O
ARMAZENAMENTO”

APROVADO (A): 20 de fevereiro de 2019

BANCA EXAMINADORA


Dra. Josivanda Palmeira Gomes
Orientadora – UAEA/CTRN/UFCEG


Dr. Wilton Pereira da Silva
Orientador – UAF/CCT/UFCEG


Dra. Cleide Maria Diniz Pereira da Silva e Silva
Examinadora – UAF/CCT/UFCEG


Dr. Dalmo Marcello de Brito Primo
Examinador – DSER/CCA/UFPE

Dedicatória

Aos meus pais, minha esposa e a um guerreiro ao qual tenho
muita ADMIRAÇÃO: Reginaldo Marques †.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por essa conquista, pelo discernimento, coragem e sorte em muitos momentos.

Ao Sr. Edival e a Sr^a. Ana Arlete, meus pais, que mesmo indo contra muitas de suas vontades, com o tempo sempre me apoia em minhas decisões.

À minha amiga, cúmplice, meu apoio, minha amada amante e esposa: Regilane.

Aos meus amigos camaradas, que são poucos, mas são os melhores: Mesei, Yuri Lugo, Curupira, Cabeça de Miojo, Franklito, Mãozinha, Ronaldo o mudo ... entre outros bons que conheci durante o mestrado.

Aos meus grandes orientadores Prof. Dr. Wilton, pelo acolhimento, ensinamento e paciência com meus erros e sumiços e a Prof.^a Dr.^a Josivanda, por me acolher desde o PIBIC na graduação, e se Deus quiser vai continuar me apoiando durante meus últimos anos de aluno na UFCG. Enfim, ambos são gente finíssima da melhor qualidade !!

A Prof.^a Dr.^a Cleide por ter aceitado participar da banca, mesmo sabendo que sou ruim em escrever introduções.

Ao Prof. Dr. Dalmo, por ter aceitado participar da banca, sendo um apoio durante essa dissertação assim como a Dr. Inácia.

E a meu Xbox one... que não colaborou em nada com a minha dissertação, na verdade atrapalhou... mas, me dá bons momentos de descanso nos mundos dos RPGs.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1.INTRODUÇÃO	1
2. Objetivo geral.....	3
2.1. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Sementes de melão.....	4
3.2. Secagem.....	5
3.2.1. Secagem intermitente.....	6
3.2.2. Secagem contínua.....	7
3.2.2.1. Modelos empíricos para a predição da secagem contínua.....	7
3.3. Aplicação de farinhas obtidas de subprodutos.....	8
3.4. Armazenamento.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. Matéria-Prima.....	11
4.2. Propriedades físicas e caracterização físico-químicas das sementes.....	11
4.3. Propriedades físicas das sementes.....	11
4.3.1. Massa unitária da semente e massa de mil sementes.....	12
4.3.2. Volume e massa específica real.....	12
4.3.3. Massa específica aparente.....	12
4.3.4. Porosidade.....	12
4.3.5. Eixos axiais (comprimento, largura e espessura).....	13
4.3.6. Parâmetros de forma.....	13
4.4. Análises físico-químicas.....	14
4.4.1. Análise colorimétrica.....	15
4.5. Secagem.....	15
4.5.1. Secagem intermitente e contínua.....	15
4.5.2 – Cinética de secagem.....	16
4.5.2.1. Predição da secagem intermitente utilizando o modelo de Page.....	17
4.6. Obtenção da farinha.....	18
4.6.1. Higroscopicidade.....	18
4.7. Isoterma de adsorção de umidade.....	19
4.7.1. Calor isostérico de sorção.....	21
4.8. Análises físicas das farinhas das sementes do melão neve.....	22
4.8.1. Molhabilidade.....	22
4.8.3. Densidade aparente.....	23
4.8.4. Densidade compactada.....	23
4.8.5. Porosidade.....	23
4.8.6. Rendimento.....	23

4.9. Armazenamento.....	23
4.9.1. Cinética de degradação.....	24
4.10. Análise estatística dos dados.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1. Propriedades físicas das sementes de melão neve <i>in natura</i>	26
5.2. Caracterização físico-químicas das sementes de melão neve <i>in natura</i>	28
5.3. Análise colorimétrica das sementes de melão neve <i>in natura</i>	29
5.4. Predição das cinéticas de secagem intermitente (tempo efetivo) e contínua...	30
5.4.1. Predição da cinética de secagem intermitente utilizando o modelo de Page.....	38
5.5. Caracterização físico-química das farinhas, obtidas através das secagens das sementes de melão neve.....	42
5.5.1. Higroscopicidade.....	46
5.6. Isotermas de adsorção de umidade.....	47
5.7. Calor isostérico de sorção.....	51
5.8. Análises físicas das farinhas das sementes do melão neve.....	54
5.9. Armazenamento das farinhas.....	56
5.10. Cinética de degradação.....	68
6. CONCLUSÕES.....	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
APÊNDICE.....	86
ANEXOS.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem....	8
Tabela 4.1. Estruturação das secagens realizadas.....	15
Tabela 4.2. Dados meteorológicos do ambiente externo ao secador.....	16
Tabela 4.3. Modelos matemáticos utilizados para as isotermas de adsorção de umidade.....	20
Tabela 4.4. Modelos cinéticos de zero, primeira e segunda ordem e os tempos de meia vida.....	25
Tabela 5.1. Valores médios das características físicas das sementes do melão neve <i>in natura</i>	26
Tabela 5.2. Valores médios das características físico-químicas das sementes do melão neve <i>in natura</i>	28
Tabela 5.3. Valores médios dos parâmetros de cor das sementes do melão neve <i>in natura</i>	29
Tabela 5.4. Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) dos modelos ajustados às curvas de secagem da semente do melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	31
Tabela 5.5. Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) do modelo de Page ajustado a curva de secagem do experimento 1 (intermitente 1n = 10 out = 20) da semente do melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	37
Tabela 5.6. Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) do modelo de Page ajustado à curva de secagem do experimento 2 (intermitente 1n = 20 out = 40) da semente do melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	40
Tabela 5.7. Valores médios e desvio padrão da caracterização físico-química das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	43
Tabela 5.8. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros de cor das farinhas obtidas através da secagem das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	45
Tabela 5.9. Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios relativos médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C, das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	48
Tabela 5.10. Propriedades físicas das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	55
Tabela 5.11. Valores médios e desvio padrão da umidade (% b. s.) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	56

Tabela 5.12. Valores médios e desvio padrão da atividade de água (adimensional) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	58
Tabela 5.13. Valores médios e desvio padrão da acidez total titulável (ATT, %, ácido cítrico) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	59
Tabela 5.14. Valores médios e desvio padrão do pH durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	60
Tabela 5.15. Valores médios e desvio padrão dos lipídeos (%) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	61
Tabela 5.16. Valores médios e desvio padrão das proteínas (%) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	62
Tabela 5.17. Valores médios e desvio padrão da luminosidade (L*), da intensidade de vermelho (+a*) e da intensidade de amarelo (+b*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	64
Tabela 5.18. Valores médios e desvio padrão do Croma (C) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	65
Tabela 5.19. Valores médios e desvio padrão do ângulo matiz (h °) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	66
Tabela 5.20. Valores médios e desvio padrão da diferença total de cor (ΔE*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	67
Tabela 5.21. Valores médios e desvio padrão do índice de escurecimento (ΔI*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	67
Tabela 5.22. Parâmetros cinéticos da degradação da luminosidade (L*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Fruta recém adquirida (a); corte longitudinal (b); sementes entre arilo (c).....	11
Figura 5.1. Distribuição de resíduos do modelo Page na predição das cinéticas de secagem da semente de melão neve: experimento 1 (a), experimento 2 (b), experimento 3 (c).....	33
Figura 5.2. Cinética de secagem das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , apresentando o tempo efetivo de operação: experimento 1 (a), experimento 2 (b), experimento 3 (c).....	34
Figura 5.3. Superposição das curvas preditas pelo modelo de Page para os experimentos de cinética de secagem das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	35
Figura 5.4. Taxas de secagem para o modelo de Page dos experimentos 1, 2 e 3, para a secagem das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	36
Figura 5.5. Distribuição de resíduos do modelo Page na predição das cinéticas de secagem com razão de intermitência in = 10 e out = 20 das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).....	38
Figura 5.6. Cinética de secagem com razão de intermitência in = 10 e out = 20 das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , preditas pelo modelo de Page, sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).....	39
Figura 5.7. Distribuição de resíduos do modelo Page na predição das cinéticas de secagem com razão de intermitência in = 20 e out = 40 das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).....	41
Figura 5.8. Cinética de secagem com razão de intermitência in = 20 e out = 40 das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , preditas pelo modelo de Page, sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).....	42
Figura 5.9. Comportamento higroscópico das farinhas obtidas através da secagem das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	47
Figura 5.10 – Isotermas de adsorção de água das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹ , sendo: isoterma a 20 °C (a), isoterma a 30 °C (b), e isoterma a 40 °C (c), com ajustes pelo modelo de Peleg.....	50
Figura 5.11. Valores de Ln (aw) para diferentes teores de umidade de equilíbrio (b.s., %), sendo: experimento 1 (a) e experimento 3 (b).....	52
Figura 5.12. Valores calculados a partir dos coeficientes angulares e valores preditos do calor isostérico integral de sorção em função do teor de água de equilíbrio das farinhas de melão neve secas a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s ⁻¹	54

**FARINHAS DE SEMENTES DE MELÃO NEVE (*Cucumis melo* SP.)
PRODUZIDAS POR SECAGEM INTERMITENTE E CONTÍNUA:
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E ESTABILIDADE DURANTE O
ARMAZENAMENTO**

RESUMO

As indústrias e a população em geral têm como hábito alimentar, a partir do processamento dos frutos, o descarte das cascas e das sementes gerando resíduos, quando os mesmos podem ser aproveitados como subprodutos. Atualmente transformar esses subprodutos que geralmente contém propriedades nutritivas em farinha é um processo viabilizador, pois além de ser uma opção para elaboração de alimentos, permite um destino mais nobre a um produto que geralmente é descartado junto a outros resíduos orgânicos. Poucos relatos se têm sobre o melão neve, de acordo com o pressuposto objetivou-se neste projeto a obtenção da farinha das sementes de melão neve secas de modo intermitente e contínua. Por não existir relatos na literatura da semente, o estudo foi realizado inicialmente a partir das propriedades físicas e da caracterização físico e físico-química das sementes. A secagem das mesmas foi feita em secador de leito fixo na temperatura de 60 °C sob influência da velocidade do ar a 1 m s⁻¹. As farinhas foram submetidas as avaliações quanto a parâmetros físicos, químicos e físico-químicos; com as melhores foi realizada a higroscopicidade através de isoterma de adsorção, calor isostérico e o armazenamento em temperatura ambiente, durante 90 dias. Constatou-se que as sementes de melão neve tem diferenças físicas em comparação a outras variedades de melão. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou na predição dos dados experimentais da cinética de secagem das sementes, sendo capaz de obter a predição da cinética de secagem intermitente incluindo o tempo de têmpera. As farinhas apresentaram umidade inferior a 6%, a secagem intermitente preservou as proteínas e lipídios mais que a contínua. O modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou na predição dos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade. Durante o armazenamento houve o aumento da umidade e atividade de água (a_w), a degradação de proteínas e lipídeos e cor das farinhas. A farinha produzida de forma contínua tendeu a ter maior absorção de água e aumento da a_w . O tipo de embalagem não influenciou nos resultados.

Palavras chave: caracterização, convecção, isoterma, predição, Ls Optimizer

**MELON SNOW SEED FLOUR (*Cucumis melo* SP.) PRODUCED BY
INTERMITTENT AND CONTINUOUS DRYING: PHYSICAL-CHEMICAL
PROPERTIES AND STABILITY DURING STORAGE**

ABSTRACT

Industries and the population in general have as a food habit, from the processing of the fruits, the discard of the husks and the seeds generating waste, when they can be used as by-products. Nowadays, turning these byproducts, which generally contain nutritional properties, into flour is a viable process, since besides being an option for food preparation, it allows a more noble destination to a product that is usually discarded along with other organic waste. Few reports have been made about the melon snow, according to the assumption the purpose of this project was to obtain the flour of the snow melon seeds dried intermittently and continuously. Because there are no reports in the seed literature the study was carried out initially from the physical properties and the physical and physicochemical characterization of the seeds; the drying was done in a fixed bed dryer at a temperature of 60 °C under the influence of the air velocity at 1 m / s; obtained, the flours were evaluated for physical, chemical and physicochemical parameters; of the best flours was carried out hygroscopicity through adsorption isotherm, isosteric heat and storage at room temperature for 90 days. It has been found that snow melon seeds have physical differences compared to other melon varieties. The Page model was the best fit for the prediction of experimental kinetics of seed drying and was able to predict the kinetics of intermittent drying including quenching time. Flours had a moisture content of less than 6%, intermittent drying preserved proteins and lipids more than continuous. The PELEG model was the one that best fit the prediction of the experimental data of the moisture adsorption isotherms. During storage there was increased moisture and water activity (a_w), degradation of proteins and lipids and color of flours. The continuously produced flour tended to have higher water absorption and increased a_w . The type of packaging did not influence the results.

Keyword: characterization, convection, isotherm, prediction, Ls Optimizer

1.INTRODUÇÃO

O gênero *Cucumis* é uma importante cultura hortícola que pertence à família Cucurbitaceae (KOLI e MURTHY, 2013). Possui uma ampla variação morfológica, como tamanho, forma, cor e gosto. O melão neve (*Cucumis melo* sp.) tem sua origem nos países asiáticos e pequenas produções podem ser encontrada na região Nordeste do Brasil. O mesmo diferencia-se de outros grupos de melões devido à característica de quando maduro a sua casca parte-se naturalmente, apresenta ainda uma polpa branca ou levemente alaranjada com baixo teor de açúcar (BRANDÃO et al., 2010).

Um dos subprodutos gerados após a extração da polpa do melão é a semente, que mesmo apresentando um potencial nutritivo, acaba sendo um material de descarte na indústria de alimentos e no consumo doméstico. Segundo Silva et al. (2016a) as perdas na área de frutas e legumes, chegam a 25% da produção total e existe uma crescente preocupação com o descarte desses resíduos, que podem levar a problemas ambientais pela presença de substâncias de alto valor orgânico. O aproveitamento, além de evitar o desperdício, poderá contribuir no combate à desnutrição.

O interesse na utilização de partes não comestíveis como sementes, cascas e outras partes dos frutos tornou-se intenso ultimamente, em virtude da escassez de alimentos e do desperdício em todo o mundo. Baseado nisso, algumas pesquisas têm sido realizadas para investigar as técnicas, procedimentos e processos de produção sobre o aproveitamento dos subprodutos gerados durante o beneficiamento dos frutos. Souza (2013) elaborou dois tipos de farinha (a farinha estufa e farinha forno), a partir das sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L.) para a posterior produção de doces, afirmando que o aproveitamento desses resíduos no processamento de novos alimentos é viável e representa um segmento importante para as indústrias de alimentos. Bastioğlu et al. (2016) obtiveram o leite vegetal das sementes de melão do tipo Kırkağaç, (*Cucumis melo* subsp. *melo* cv. Kırkağaç) e do tipo Çeşme (*C. melo* subsp. *Melo* cv. Çeşme), para a obtenção do leite em pó, através do processo de secagem por atomização.

Assim, percebe-se que a elaboração de farinhas utilizando frutas e seus subprodutos para uso em massa alimentícia já vem sendo utilizado há um bom tempo. A viabilidade técnica e econômica do uso dessas farinhas na produção de alimentos também já foi demonstrada e empregada na indústria (FASOLIN et al., 2007). Essas farinhas podem incrementar propriedades nutritivas, além de apresentarem características exclusivas e ao

serem adicionadas na elaboração de pães, biscoitos e bolos podem causar alterações nas características físico-químicas e mudanças sensoriais.

Para a fabricação da farinha e posterior estocagem e comercialização, é essencial reduzir a massa de água do material e em consequência sua atividade biológica. A secagem surge, então, como o método mais empregado para expandir sua vida útil, por garantir estabilidade durante a armazenagem (SANTOS et al., 2013).

Tendo em vista a constante procura por uma alimentação saudável e de baixo custo, os alimentos enriquecidos são uma alternativa viável (MOURA et al., 2014). Diante do exposto, e por não existir relatos na literatura, nem o possível aproveitamento das sementes de melão neve como ingrediente alimentício, esse produto foi estudado como componente de enriquecimento em dietas ou no processamento de alimentos diferenciados. Assim, foi elaborado farinha a partir das sementes do melão neve, para a sua introdução na formulação de alimentos, como uma forma de aproveitar esse subproduto, ao mesmo tempo em que agregará valor ao mesmo.

2. OBJETIVO GERAL

Realizar a secagem das sementes de melão neve na forma intermitente e contínua para obtenção de farinha.

2.1. Objetivos específicos

- Analisar as propriedades físicas, e determinar as propriedades químicas e físico-químicas das sementes do melão neve *in natura*;
- Secar as sementes em secador de leito fixo na forma intermitente e contínua na temperatura de 60 °C sob e velocidade do ar de secagem a 1 m s⁻¹, determinando-se as cinéticas de secagem e ajustando modelos empíricos da literatura aos dados experimentais;
- Detectar, dentre as várias condições de secagem, aquela que apresenta o menor tempo efetivo de processo e, conseqüentemente, consuma a menor quantidade de energia, até um determinado teor de umidade;
- Caracterizar as farinhas quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Determinar as isotermas de adsorção de umidade das farinhas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e o calor isostérico de sorção;
- Avaliar, durante o armazenamento, as características físico-químicas das melhores farinhas por 90 dias em embalagem flexível laminada e transparente na temperatura ambiente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sementes do melão

Pesquisas com melões neve (*Cucumis melo* sp.) são quase inexistentes, por esse motivo merece destaque, em razão de não está incluído no grupo que concentra a maior parte de frutos de melão cultivados e comercializados no Brasil. Seus frutos são menos expressivos, e tem importância econômica restrita à áreas específicas do país como no sertão do Ceará e Paraíba (VALADARES et al., 2013). Existem poucos estudos sobre essa variedade quando comparada aos grupos de melão cultivados (BRANDÃO et al., 2010).

O consumo do melão deve-se basicamente a sua polpa; apesar disso, as sementes possuem componentes que pode lhe empregar um destino além do descarte. Vários relatos são encontrados na literatura do aproveitamento e da composição da semente de melão dentre elas destacam-se: Malacrida et al. (2007) ao determinarem a composição centesimal da semente de melão amarelo, encontraram valores de 20,1% de proteína, 30% de fibras, 25,2% de lipídios e 15,8% de carboidratos. Magalhães et al. (2004), ao submeterem as amostras da semente de melão japonês e nacional (oriundas de Caucaia, CE), a secagem a 50 °C por 24 h em estufa, obtiveram o pó que peneiraram numa malha de 0,2mm de diâmetro, para a determinação dos minerais, ferro, cálcio e fósforo, os pesquisadores relatam valores para o melão japonês 477,39; 90,63; 525,79 (mg/ 100 g), e melão nacional 10,30; 255,0; 687,20 (mg/ 100 g), respectivamente. Storck et al. (2013) caracterizaram as sementes de melão (*Cucumis melo* L. var. inodorus Naud), secas em estufa com circulação forçada de ar a 55 °C até a completa secagem e relataram valores de calorias kcal 109 g; fibra 16,02 g; proteína 9,56 g; lipídios 0,94 g; e carboidrato 15,57 g.

O conteúdo fenólico e a atividade antioxidante de extratos metanólicos de diferentes partes de melão, incluindo folha, caule, pele, sementes e polpa, foram investigados, relatando para as sementes valores de 13,66% de rendimento, 2,85 de fenólico total (mgGAE/g extrato), 1,62 de flavonoides total (µgRE/g extrato); e para o extrato da semente foi constatado 25,44 de atividade de eliminação de radicais DPPH (IC₅₀ (mg / mL) e 37,37 de atividade de eliminação de radicais hidroxilo (g DMSOE /g extracto) (ISMAIL et al., 2010).

Além da composição das sementes de melão, o perfil de ácidos graxos foi verificado e relatado a presença do ácido linoleico, oleico, palmítico e esteárico, constatando maior teor de ácido linoleico, embora sejam variados e dependentes de genótipos (YANTY et al., 2008).

Apesar de ser uma rica fonte de proteína e óleo, suas sementes ainda estão sendo classificadas como resíduos (MIAN-HAO e YANSONG, 2007). No Irã as sementes de melão são geralmente descartadas como um agro-desperdício, devido à indisponibilidade de máquinas adequadas para operações de pós-colheita de sementes de melão, e podem ser economicamente utilizadas para extrair óleo (MANSOURI et al., 2017). A aplicação eficiente desses resíduos, no caso as sementes, é importante por agregar valor aos subprodutos agroindustriais e prevenir problemas de poluição ambiental (MALACRIDA et al., 2007).

3.2. Secagem

A secagem é definida como um processo de transferência simultânea de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem (SILVA et al., 1995). Dos procedimentos existentes para a conservação de alimentos após a colheita, a secagem é o método que pode ser considerado o mais utilizado, quando comparada com a refrigeração a liofilização, entre outros. Com a redução do teor de água até níveis seguros, inibe-se o crescimento de micro-organismos, reduz-se a possibilidades de insetos, além de minimizar mudanças físicas e químicas durante o armazenamento (ULLMANN et al., 2010).

Dentre os benefícios de se utilizar o processo de secagem está a capacidade na conservação do produto; equilíbrio dos elementos aromáticos à temperatura ambiente por tempo prolongado; diminuição na degradação enzimática e oxidativa e o fato de não precisar de refrigeração faz com que ocorra economia de energia (FARIA et al., 2014).

Existem vários métodos de secagem, que foram variando de tradicional (secagem natural ao sol) para sistemas de secagem artificiais sofisticados e com automação. Grande parte desses métodos utiliza o ar como mecanismo de secagem e sua temperatura como fator de troca de energia, sendo as temperaturas mais altas utilizadas para tornar o processo mais rápido, na qual se vê a importância do estudo da secagem, pois as altas

temperaturas podem matar a parte biológica quando se trata de sementes, e causar trincamento dos grãos (BASHIR et al., 2016).

Estudar os sistemas de secagem é importante para projetar, aperfeiçoar, dimensionar e otimizar equipamentos para a sua viabilidade na aplicação comercial. Assim é de grande importância simular e obter informações investigativas a respeito do assunto (DOTTO et al., 2018).

A análise da cinética de secagem fornece informações sobre o comportamento da transferência de massa entre as sementes e o agente de secagem, normalmente o ar atmosférico é de extrema importância para o projeto e simulação de secadores (GUEDES e FARIA, 2000). A cinética de secagem é composta por pontos experimentais coletados em determinados tempos de secagem de um produto em que juntos representam a curva de variação da massa total do material úmido e do tempo de duração do processo (SANTANA, 2011).

3.2.1. Secagem intermitente

A secagem artificial intermitente se dá pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de sementes, fazendo assim com que a difusão da água do interior para o exterior da semente e a evaporação da água superficial ocorram de uma maneira mais pacífica e equilibrada (YANG et al., 2013). Geralmente nas unidades de beneficiamento de sementes é utilizado secadores próprios para a secagem intermitente, todavia o processo ocorre com a passagem do ar de secagem aquecido, que mantém períodos de contato e não contato com o produto alternadamente.

Os secadores construídos diretamente para esse tipo de secagem, são constituídos de duas câmaras: uma de secagem, na qual ocorre a troca de energia e de massa durante o contato das sementes com o ar aquecido e outra de equalização, onde as sementes encontram-se na câmara em repouso, sem que ocorra contato com fluxo de ar de secagem. Ou seja, na primeira divisão ocorre a secagem, lugar em que o ar cede energia térmica as sementes, se resfria e absorve a água periférica que evapora das sementes. Já na divisão de equalização o repouso da semente permite que a água mais interna da semente migre para sua periferia, predominantemente por difusão (ELIAS et al., 2010; MENEGHETTI et al., 2012).

Segundo Kumar et al. (2016) a secagem intermitente pode ser caracterizada pelo processo em que os grãos ou sementes permanecem em contato com o ar aquecido por

períodos determinados, intercalados com períodos sem exposição ao fluxo de ar aquecido na câmara.

Tem-se observado trabalhos na literatura com o objetivo de identificar as características de diversos grãos e sementes durante a secagem de forma intermitente. Meneghetti et al. (2012) realizaram a modelagem matemática na secagem intermitente de arroz com casca; Bernardes (2011) avaliou o efeito de altas temperaturas na qualidade das sementes de soja utilizando secador intermitente; Petry et al. (2015) executaram a modelagem matemática dos processos de transferência de calor e massa na secagem intermitente de grãos de soja; e Ferrari Filho et al. (2010) estudaram o custos da secagem intermitente de grãos de milho submetidos a três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80 °C).

3.2.2. Secagem contínua

A secagem contínua é um método artificial que se baseia pela simples forma da ação contínua do ar aquecido, passando sobre a massa de sementes que pode estar em movimento ou não (FONTEYNE et al., 2014). Técnica geralmente utilizada com o intuito de uma secagem rápida na qual os produtos entram geralmente com 18% e saem de 8 a 11% de umidade (b. u).

A secagem exposta a corrente contínua implica em manter o produto em constante contato com o ar de secagem no interior do secador. Na secagem contínua em secador de leito fixo as sementes ou grãos são depositadas nas câmaras, ficando expostas por determinado período ao ar aquecido, ou seja, as sementes entram úmidas na câmara de secagem, são secas, após resfriadas e retiradas com o teor de água desejado.

Pode-se encontrar vários trabalhos na literatura, em que utilizaram a secagem contínua como Oliveira et al. (2014a) os quais estudaram a forma e o tamanho dos grãos de milho da cultivar p3646 submetidos a diferentes temperaturas, sendo 40, 60, 80 e 100 °C; Araújo et al. (2014) ao secarem amendoim em um secador de leito fixo de forma contínua, estudaram os efeitos em suas propriedades físicas; e Moraes et al. (2013) realizaram o estudo da modelagem matemática nas curvas de secagem e coeficiente de difusão do grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

3.2.2.1. Modelos empíricos para a predição da secagem contínua

Para a predição dos dados experimentais da secagem de produtos agrícolas, são utilizados diversos modelos matemáticos encontrados na literatura. A seguir na Tabela 1, são apresentadas algumas das equações empíricas mais usadas para esse propósito, na qual utilizam a relação do tempo (t) de secagem com a razão de umidade (Rx).

Tabela 3.1 - Modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem

Modelo matemático	Equação	Equação	Referência
Aproximação da difusão	$Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	(1)	Hacihafizoglu et al. (2008)
Henderson e Pabis	$Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(2)	Chinenye et al. (2010)
Logistic	$Rx = a^{\circ} / 1 + a \cdot \exp(k \cdot t)$	(3)	Meneghetti et al. (2012)
Midilli	$Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(4)	Balbay et al. (2013)
Newton	$Rx = \exp(-k \cdot t)$	(5)	Lewis. (1921)
Page	$Rx = \exp(-a \cdot t^b)$	(6)	Page. (1949)
Thompson	$Rx = \exp((-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0.5}) / (2 \cdot b))$	(7)	Thompson; et al. (1968)
Verma	$Rx = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k1 \cdot t)$	(8)	Verma et al. (1985)

RU - razão de umidade (adimensional); k, k0, k1 - coeficiente de secagem, s⁻¹; a, a°, b, c, n - coeficientes dos modelos; e t - tempo (min)

Apesar da grande importância e utilidade da secagem contínua, estes modelos dados na Tabela 3.1 não conseguem prever os dados experimentais da secagem intermitente.

3.3. Aplicação de farinhas obtidas de subprodutos

Farinhas obtidas a partir de subprodutos de frutas, legumes e verduras têm sido usadas na suplementação ou em substituição parcial da farinha de trigo, para a obtenção de produtos como pão, biscoito e macarrão (FEDDERN et al., 2011).

De acordo com Deepa e Krishnaprabha (2016), a mistura de farinhas de produtos não convencionais com a farinha de trigo, melhora a qualidade nutricional de produtos compostos por massa, e podendo aprimorar a palatabilidade tornando-a mais aceita pelos consumidores.

As indústrias têm formulado receitas de biscoitos com o propósito de torná-los fortificados com fibras/proteínas ou serem fontes desses nutrientes, devido ao grande

apelo existente nos últimos tempos para melhorar a qualidade da dieta, mesmo não sendo considerado um alimento base como o pão, os biscoitos são aceitos e consumidos por pessoas de quase todas as idades, sobretudo entre as crianças e jovens (FASOLIN et al., 2007). Por apresentar período longo de vida de prateleira, permite que sejam amplamente produzidos e distribuídos. Por seu longo tempo de validade, aliada à sua enorme diversidade, mostra-se como um bom condutor para o incremento de farinhas de subprodutos, tanto por razões econômicas como de nutricionais (GUTKOSKI et al., 2007).

Muitos estudos vêm sendo publicados com esse seguimento de pesquisa, os quais constituem na substituição de certa quantidade da farinha de trigo por outros tipos de farinhas, visando aumentar o valor nutricional de biscoitos. Santos et al. (2010) realizaram a adição de fécula de mandioca e albedo de laranja em biscoitos de chocolate; Santos et al. (2011) na elaboração de biscoitos de chocolate realizaram a substituição parcial da farinha de trigo por polvilho azedo e farinha de albedo de laranja; Cheng et al. (2016) estudaram as propriedades funcionais, físico-químicas e sensoriais de bolachas produzidas utilizando a farinha de jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.); Moura et al. (2010) acrescentaram diferentes frações de semente de abóbora (*Curcubita maxima*) na formulação de biscoitos tipo cookie; Chávez-Santoscoy et al. (2016) produziram biscoitos com uma farinha enriquecida com antocianinas, flavonoides e saponinas extraídas de cascas de sementes de feijão-preto (*Phaseolus vulgaris*).

3.4. Armazenamento

Sabe-se que o consumidor tem se tornado cada vez mais exigente quanto à qualidade dos produtos alimentícios, fazendo com que haja uma motivação na preocupação no que se refere à conservação das características do produto, prolongando assim o seu período de consumo e prateleira (AHMED, 2015). O armazenamento tem o intuito de preservar o produto em condições favoráveis para o mínimo de degradação e o máximo de vida útil do produto.

Uma das dificuldades durante a armazenagem é reduzir ao máximo as perdas por degradação; para se atingir esse propósito é necessário empregar métodos adequados, de tal forma que o produto chegue ao consumidor com a qualidade desejável. Adotar o armazenamento permite manter a qualidade dos produtos por um período maior conservando um atributo permanente nos produtos (FASOYIRO et al., 2016).

Os processos que dirigem à perda de qualidade, estão associados à temperatura e umidade relativa do ambiente. A temperatura define a porção de vapor d'água solicitada para saturar a atmosfera e afeta tanto a transpiração do produto armazenado como o comportamento fisiológico dominante e o crescimento dos organismos microbianos (BARROS et al. 1994)

Os alimentos industrializados ou não, mantêm-se em constante movimento biológico acarretando alterações de natureza química, física, microbiológica ou enzimática, e que resulta no perecimento da qualidade; a deterioração química traz consequências na qualidade dos alimentos conduzindo-os a reações que lentamente vão transformando o produto durante o armazenamento (NETO et al., 2014). Cada tipo de prateleira tem seu tempo de vida útil, temperatura de estocagem e embalagem utilizada. Os principais parâmetros envolvidos no estudo e estimativa da vida-de-prateleira, são: qualidades estéticas como sabor, aroma, textura e aparência geral, valor nutritivo, avaliado pela concentração de vitaminas e proteínas e crescimento microbiano e ação enzimática ou infestação de insetos (BHATT et al., 2017).

A realização de um armazenamento dos produtos agropecuários bem conduzido é importante para evitar perdas e preservar a qualidade. Assim como ocorre para a colheita, há um teor de umidade apropriado para o armazenamento de grãos e sementes (MONTROSS et al., 1999).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), PB.

4.1. Matéria-Prima

Foi utilizada como matéria-prima sementes de melão neve (*Cucumis melo* sp.) adquiridos na feira livre do município de Juazeiro do Norte, CE (Figura 4.1).

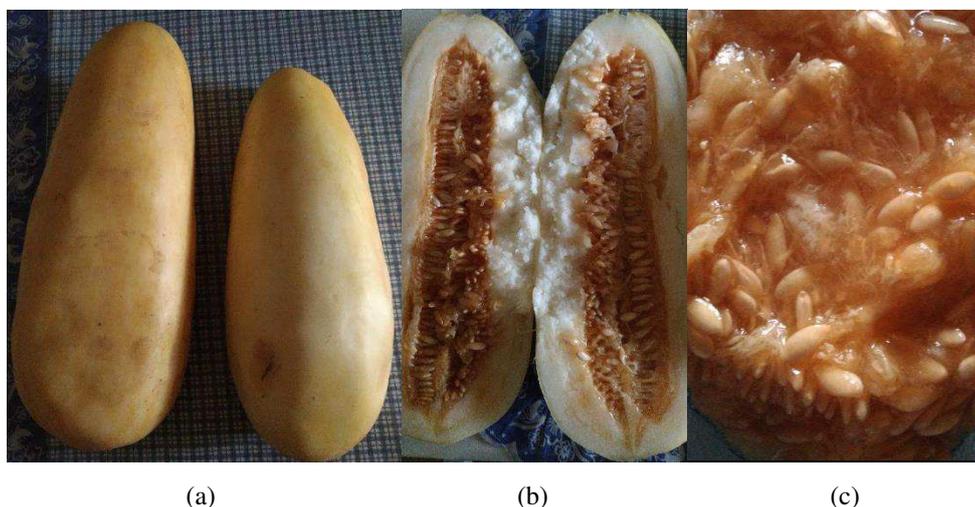


Figura 4.1 – Fruto recém-adquirido (a); corte longitudinal (b); sementes entre Arilo (c).

4.2. Propriedades físicas e caracterização físico-química das sementes

Os melões maduros foram submetidos a higienização e sanitização em água corrente e imersos com cloro, durante 30 min e em seguida ocorreu a separação da matéria-prima das outras partes constituintes do fruto, para a posterior determinação das propriedades físicas e a caracterização físico-química das sementes *in natura*.

4.3. Propriedades físicas das sementes

As análises a seguir foram realizadas em três repetições.

4.3.1. Massa unitária da semente e massa de mil sementes

As massas foram medidas em balança analítica. Foi utilizado cem sementes pesadas unitariamente, e mil sementes pesados juntos. Fazendo a separação das sementes manualmente.

4.3.2. Volume e massa específica real

Para a determinação do volume e da massa específica real utilizou-se o método do deslocamento de massa por pesagens (MOHSENIN,1978). Foi medido a massa do deslocamento da água no momento em que foi colocado uma semente em um becker contendo água, sem tocar em sua base e na parede. Efetuou-se o cálculo do volume da semente utilizando-se a Equação 9. As determinações foram feitas com 10 sementes para cada repetição.

$$Volume (cm^3) = \frac{massa\ do\ fluido\ deslocado\ (g)}{massa\ específica\ do\ fluido\ (g/cm^3)} \quad (9)$$

A massa específica real foi determinada de acordo com a Equação 10:

$$\rho_r = \frac{m}{v}, \quad (10)$$

em que:

ρ_r - massa específica real ($g\ cm^{-3}$);

m - massa da semente (g); e

v - volume (cm^3).

4.3.3. Massa específica aparente

A determinação da massa específica aparente foi feita com a pesagem da quantidade de sementes que ocuparam o volume de $150\ cm^3$, obtendo assim ($g\ cm^{-3}$).

4.3.4. Porosidade

A porosidade intergranular foi determinada de acordo com a relação entre a massa específica aparente e a massa específica real (Equação 11) de acordo com Gustafson e Hall (1972).

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \right] \times 100, \quad (11)$$

em que:

ε – porosidade da massa granular (%);

ρ_a - massa específica aparente (g cm^{-3}); e

ρ_r - massa específica real (g cm^{-3}).

4.3.5. Eixos axiais (comprimento, largura e espessura)

As dimensões das sementes foram medidas utilizando paquímetro digital com graduação de 0,01 mm. As medições do comprimento, largura e espessura foram realizadas no total de 100 sementes.

4.3.6. Parâmetros de forma

As propriedades dimensionais das sementes foram calculadas com base no comprimento (c), largura (l) e espessura (e). O diâmetro médio geométrico (Dg), diâmetro médio aritmético (Da) e área da superfície (As) foram determinados usando as Equações 12, 13 e 14 respectivamente, conforme relatado por Baryeh (2001), Koocheki et al. (2007) e Mansouri et al. (2017):

$$Dg = \sqrt[3]{c \cdot l \cdot e} \quad (12)$$

$$Da = \frac{c \cdot l \cdot e}{3} \quad (13)$$

$$As = \pi \cdot (Dg)^2 \quad (14)$$

A proporção de razão de forma (Rf) e proporção de razão de alongamento (Ra) foram calculadas de acordo com as Equações 15 e 16, conforme relatado por Mora e Kwan (2000):

$$R_f = \frac{\text{Espessura do grão}}{\text{Largura do grão}} \quad (15)$$

$$R_a = \frac{\text{Comprimento do grão}}{\text{Largura do grão}} \quad (16)$$

Para determinar a circularidade e esfericidade foi utilizado 50 sementes, realizou-se a projeção da semente em papel milimetrado na escala de 3:1 utilizando-se um retroprojetor. A medição da área da semente foi realizada na sua posição de repouso e a área do círculo que a circunscreve, possibilitando assim a determinação da circularidade de acordo com a Equação 17.

$$Cr = \frac{A_p}{A_c} \times 100, \quad (17)$$

em que:

Cr - circularidade (%);

Ap - área projetada da semente na posição de repouso; e

Ac - área do menor círculo que circunscreve a projeção da semente na posição de repouso.

Da mesma forma a projeção da posição de repouso da semente foi utilizada para determinar a esfericidade da semente, sendo medido o diâmetro do maior círculo inscrito e o diâmetro do menor círculo circunscrito na projeção com paquímetro digital, e posteriormente feito a razão entre eles, de acordo com a Equação 18.

$$Es = \frac{d_i}{d_c} \times 100, \quad (18)$$

em que:

Es – esfericidade (%);

di - diâmetro do maior círculo inscrito na projeção da semente na posição de repouso;

e

dc - diâmetro do menor círculo circunscrito na projeção da semente na posição de repouso.

4.4. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas das sementes foram realizadas em triplicata. O teor de umidade (base úmida), as cinzas, acidez total titulável foram determinados de acordo com as metodologias descritas no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005a); o pH através do método potenciométrico; a atividade de água foi determinada por medida direta no higrômetro Aqualab, na temperatura de 25 °C; proteínas pelo método micro-Kjeldahl (AOAC, 2010); a determinação de lipídeos foi baseada segundo a metodologia descrita por FOLCH (1957); e os carboidratos totais foram determinados pela diferença: (100% – %Umidade – %Cinzas – %Lipídeos – %Proteínas).

4.4.1. Análise colorimétrica

A determinação dos parâmetros de cor das sementes foi determinada utilizando-se o espectrofotômetro Mini Scan HunterLab XE Plus, no sistema de cor Cielab, obtendo-se os valores de L*, a* e b*. O L* representando a luminosidade, valores de -a* define a cor verde e valores de +a* a cor vermelha, já os valores de -b* representam a cor azul e +b* a a cor amarela.

Foi calculada o croma ou saturação da cor (C*) e o ângulo Hue ou ângulo de matiz (h°) de acordo com as Equações (19) e (20):

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (19)$$

$$h = \arctg \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (20)$$

4.5. Secagem

As sementes do melão neve foram secas em camadas finas no secador de leito fixo que consiste na secagem cujo ar aquecido passa por entre as sementes que ficam estacionados na bandeja do secador, com temperatura do ar de secagem a 60 °C e velocidades de ar a 1,0.

4.5.1. Secagem intermitente e contínua

Foram realizados três experimentos de secagem, sendo duas secagens intermitentes com razão de intermitência de 2:3, e uma secagem contínua, de acordo com a Tabela 4.1. Cada experimento foi realizado em triplicata para uma melhor representatividade do comportamento das sementes do melão neve.

Tabela 4.1 – Estruturação das secagens realizadas

Experimento	Secagem	Temp. (°C)	In (min)	Out (min)
1	Intermitente	60	10	20
2	Intermitente	60	20	40
3	Contínua	60	-	-

in – dentro do secador; out – fora do secador

Foi utilizado a nomenclatura “in” e “out” para definir a localidade, já que as sementes vão ser colocados e retirados do secador sem que ocorra o desligamento do aparelho.

Para a têmpera, que é o período em que as amostras ficam fora do contato do ar aquecido do secador na secagem intermitente, foi utilizado um dessecador sem a sílica, para proteger as amostras do ar corrente presente no ambiente.

4.5.2. Cinética de secagem

Na Tabela 4.2 encontra-se os dados meteorológicos do ambiente externo ao secador, segundo o site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, através da estação automática de Campina Grande. Período em que foi realizada a cinética de secagem (entre 12 a 14/03/2018).

Tabela 4.2 – Dados meteorológicos do ambiente externo ao secador

Experimento	Data	T (°C)		UR (%)		Radiação (kJ m ⁻²)	Chuva (mm)
		Máx.	Min.	Máx.	Min.		
1	12/03/2018	27,6	22,5	91	62	1807	0
2	13/03/2018	27,4	22,1	92	68	1705,5	0
3	14/03/2018	28	22,4	95	62	1406	0

T – Temperatura; UR – Umidade Relativa; Radiação – Média entre 8 as 14 horas

Os dados experimentais das cinéticas de secagem foram obtidos pesando-se as bandejas com as sementes em intervalos de tempo pré-determinado, finalizando o processo quando atingirem massa constante. Após a estabilização, as amostras foram levadas para estufa a 105 °C para a obtenção da massa seca, utilizada para determinar o teor de umidade de acordo com a metodologia descrita no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005a). Assim, com os dados das umidades em base seca foi calculado os valores da razão de umidade (Equação 21).

$$RX = \frac{X-X_e}{X_i-X_e} \quad (21)$$

em que:

RX – razão de umidade do produto (adimensional);

X – teor de umidade do produto em determinado tempo (base seca);

X_i – teor de umidade inicial do produto (base seca); e

X_e – teor de umidade equilíbrio do produto (base seca).

Em seguida, foram traçadas as curvas de cinética de secagem (Umidade (b.s.%) em função do tempo de secagem) e (razão de umidade em função do tempo de secagem).

Posteriormente, foi utilizado o modelo matemático de Page (Equação 6) para a predição da secagem contínua e intermitente, porém para esse último, foi utilizada a metodologia descrita por Galvão (2017), sendo a única existente na literatura.

4.5.2.1. Predição da secagem intermitente utilizando o modelo de Page

Com base no estabelecido por Galvão (2017) para um processo de secagem intermitente, tem-se:

Para $t_{c0} \leq t < t_{c0} + \frac{tc}{3}$, põe-se :

$$Rx(t) = Rx (t_{c0}). \exp(-a_{in}(t - t_{c0})^{b_{in}}), \quad (22)$$

onde, a_{in} e b_{in} denotam o parâmetro e constante da equação de Page no período em que as amostras se encontram no interior do secador.

Para $t_{c_0} + \frac{tc}{3} \leq t < t_{c_0} + tc$, põe-se :

$$RX(t) = RX \left(t_{c_0} + \frac{tc}{3} \right) \cdot \exp(-a_{out}(t - t_{c_0} - \frac{tc}{3})^{b_{out}}), \quad (23)$$

onde, a_{out} e b_{out} denotam os parâmetros constantes da equação de Page quando as amostras se encontram no período de têmpera;

O tempo final de um ciclo, isto é, $t_{c_0} + tc$ é igual ao tempo inicial do ciclo que o sucede.

Com isso observa-se que é atribuído o translado de tempo, e assim, da cinética, equivalente ao tempo transcorrido, a fim de concatenar os eventos de dentro e fora da estufa, tais como os ciclos consecutivos.

Para o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional LS Optimizer Software, desenvolvido por Silva e Silva (2016b).

Três critérios foram empregados para determinar se o modelo terá um bom ajuste aos dados experimentais: o coeficiente de determinação (R^2), a distribuição dos resíduos (DR) e Qui-quadrado (χ^2) expresso na Equação 24. Foi considerado como um ajuste aceitável o modelo que apresentou alto valor de R^2 , sabendo que o mesmo pode variar de 0 a 1, baixo valor de χ^2 , e que a DR seja aleatória. A DR é julgada aleatória no momento em que os resíduos se encontram perto à barra horizontal próximo do zero, e também não se modelarem em figuras definidas. Goneli et al. (2011) diz em que se o DR é tendencioso o modelo é considerado inadequado.

$$\chi^2 = \frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{GLR} \quad (24)$$

em que:

RX_{pred} – Razão de umidade predito pelo modelo;

RX_{exp} – Razão de umidade experimental; e

GLR : Graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo)

4.6. Obtenção da farinha

Após a obtenção da cinética de secagem ficou definido o tempo para que as sementes atingissem o seu equilíbrio (Tabela 1, 2 e 3 no apêndice). Com isso colocou-se uma nova

quantidade de sementes para secar de acordo com cada experimento, para obter quantidade suficiente de sementes secas que foram processados em um moinho elétrico e transformados em farinhas, daí foram submetidas a caracterização descrita nos itens 4.4 e 4.4.1.

4.6.1. Higroscopicidade

A higroscopicidade das amostras das farinhas foi determinada de acordo com a metodologia proposta por TONON et al. (2009). Amostras de aproximadamente 2 g foram pesadas em placas de Petri, postas dentro de recipientes herméticos contendo solução saturada de NaCl (umidade relativa $\cong 75,29\%$ a 25 °C) e colocados em estufa com temperatura controlada de 25 °C. As amostras foram pesadas diariamente e a higroscopicidade foi expressa a umidade de equilíbrio atingida pelo produto, quando exposto à esta condição.

A farinha seca de forma intermitente que obteve melhores resultados nas análises realizadas, foi estudada junto com a farinha obtida através da secagem contínua de acordo com os próximos itens.

4.7. Isotermas de adsorção de umidade

As isotermas de adsorção de umidade das amostras da farinha da semente de melão neve foram determinadas utilizando-se o método especial indireto estático, segundo Capriste e Rotstein (1982) nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C; para tal, foi feita a leitura da atividade de água das amostras utilizando o equipamento *Aqualab* modelo 3TE da Decagon Devices. Após o equilíbrio as amostras foram levadas à estufa para determinação da massa seca, e posteriormente, o teor de água de equilíbrio, determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca da amostra (Equação 25).

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \times 100, \quad (25)$$

em que:

X_e – teor de água de equilíbrio (% base seca);

m_e – massa da amostra no equilíbrio; e

m_s – massa seca da amostra.

Para o ajuste dos modelos matemáticos a os dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade das amostras das farinhas foi utilizado os modelos encontrados na Tabela 4.3. Utilizando-se o programa Statistica 7 (STATSOFT, 1995), através de regressão não linear.

Tabela 4.3 – Modelos matemáticos utilizados para as isotermas de adsorção de umidade

Modelo	Equação	Equação
GAB	$U_{eq} = \frac{x_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)}$	(26)
Peleg	$U_{eq} = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$	(27)
Oswin	$U_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$	(28)
Henderson	$U_{eq} = a(-\log(1 - a_w))^b$	(29)

X_{eq} - umidade de equilíbrio; kg/kg; X_m - umidade na monocamada molecular; kg/kg; a_w - atividade de água, adimensional; e k_1 , k_2 , n_1 , n_2 , C , K , a , b - constantes das equações.

Para a seleção do melhor modelo foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2), e o desvio relativo médio (DRM), calculado pela Eq. 30 descrita por Lomauro et al. (1985) que consideram erro de até 10% razoável para as práticas propostas.

$$DRM = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_{exp} - M_{teor})|}{M_{exp}} \quad (30)$$

em que:

DRM – desvio relativo médio (%)

M_{exp} – valores obtidos experimentalmente

M_{teor} – valores preditos pelo modelo

n – número de observados realizados.

4.7.1. Calor isostérico de sorção

O cálculo do calor isostérico foi realizado utilizando as leituras de atividade de água (a_w) das sementes do melão neve obtidas no higrômetro AquaLab 3TE (Decagon) nas

temperaturas de 20, 30 e 40 °C, e as umidades de equilíbrio (% b. s.) foram determinadas de acordo com o descrito no item 4.7, com a Equação 25.

Para a realização do cálculo do calor isostérico líquido (Q_{st}) foi aplicado o modelo exponencial de Sopade e Ajisegiri (1994) mostrada na Equação 31, onde representa o comportamento do calor isostérico de sorção em função apenas do teor de umidade de equilíbrio (OLIVEIRA et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2012) e a Equação de Clausius-Clapeyron (Equação 32), modificada por Wang e Brennan (1991), que considerou além do teor de umidade de equilíbrio, a temperatura.

$$q_{st} = A \cdot \exp(-B \cdot U_{eq}) \quad (31)$$

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{q_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (32)$$

em que:

q_{st} - calor isostérico líquido de sorção (kJ/kg);

A e B - coeficientes do modelo;

a_w - atividade de água (decimal),

T_a - temperatura em absoluta (K);

R - constante universal dos gases (8,314 kJ.kmol/K) sendo para o vapor d'água 0,4619 kJ/kg K; e

C - constante de integração, adimensional.

Para a equação de Clausius-Clapeyron, o calor isostérico líquido de sorção (q_{st}) foi determinado a partir das inclinações das retas do gráfico ln(a_w) x (1/T_{abs}) para os diversos teores de umidade de equilíbrio (Equação 33).

$$q_{st} = \text{coeficiente angular} \times R \quad (33)$$

Foi calculado o calor isostérico integral de sorção (Q_{st}), que além do calor isostérico líquido de sorção, também considera o calor latente de vaporização da água livre (L = kJ/kg), de acordo com a Equação 34.

$$L = 2502,2 + 2,39 \cdot T \quad (34)$$

em que:

T – temperatura média (°C).

Obtendo-se o calor isostérico integral de sorção ($Q_{st} = \text{kJ/kg}$) (Eq. 35) adicionando aos valores de calor isostérico líquido de sorção ($q_{st} = \text{kJ/kg}$) (Eq. 33) e o valor do calor latente de vaporização da água livre ($L = \text{kJ/kg}$) representada pela Equação 34.

$$Q_{st} = q_{st} + L = A \cdot \exp(-B \cdot U_{eq}) + L \quad (35)$$

em que:

A e B - coeficientes do modelo.

Os cálculos de inclinação das retas e curvas do calor isostérico foram realizados utilizando-se do programa computacional Statistica 7. Na análise de representatividade dos dados, os experimentais foram comparados com os valores preditos pela Equação 35, verificando-se a porcentagem de erro médio relativo (DRM) (Equação 30) e o coeficiente de determinação (R^2).

4.8. Análises físicas das farinhas das sementes do melão neve

4.8.1. Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada pelo método de Schubert, pesando-se cerca de 1 g da amostra e vertendo-se em Becker de 250ml com 100ml de água destilada a temperatura ambiente. O tempo foi cronometrado, até a completa capilaridade da água na farinha na superfície do líquido em repouso. O cálculo da taxa da molhabilidade foi feita através da Equação 36.

$$T = \frac{N}{t}, \quad (36)$$

em que:

T – taxa de molhabilidade (g s^{-1});

N – massa da amostra (g);

t – tempo (s).

4.8.3. Densidade aparente

A densidade aparente (ρ_{ap}) das farinhas foi determinada colocando-se a amostra em uma proveta graduada até atingir um volume predeterminado, a seguir foi medida a massa da amostra para este volume e então calculou-se a densidade pela relação massa/volume (g cm^{-3}).

4.8.4. Densidade compactada

A densidade compactada (ρ_c) foi determinada a partir da densidade aparente, pegando-se a proveta com a amostra e submetendo-a ao batimento da proveta 50 vezes sobre a bancada a partir de uma altura preestabelecida (2,5 cm), repetiu-se o procedimento até obtenção do volume constante; anotou-se o novo volume e calculou-se a densidade compactada pela relação entre a massa e volume compactado (g cm^{-3}) (TONON, 2009; TZE et al., 2012).

4.8.5. Porosidade

Para a determinação da porosidade da farinha, foi utilizado a Equação 11.

4.8.6. Rendimento

O rendimento das farinhas foi calculado baseado na massa a qual é levada para a respectiva secagem e a massa de farinha que sai do processo após a trituração.

4.9. Armazenamento

Foram submetidas ao armazenamento em temperatura ambiente as farinhas, da secagem intermitente 1 (baseada nos resultados mostrou melhor resultados nas análises anteriores), e da secagem contínua, ambas em embalagem flexível laminada e transparente. Na Figura 1 e 2 do apêndice estão apresentados os dados meteorológicos durante o armazenamento, segundo o site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, através da estação automática de Campina Grande, PB.

Calculando previamente a quantidade de farinha necessária para o estudo do armazenamento, fez-se 14 amostras (em triplicata), sendo 7 das secagens intermitentes e 7 das secagens contínuas, as quais foram analisadas a cada 15 dias (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias), resultando em 90 dias de armazenamento. As análises realizadas nas farinhas durante o armazenamento foram: umidade, atividade de água, acidez total titulável, pH, lipídeos e proteínas descritas no item 4.4; e análise colorimétrica de acordo com item 4.4.1.

Com os valores das coordenadas L^* , a^* e b^* foi possível calcular a diferença total de cor (ΔE^*) (Equação 37) e o índice de escurecimento (IE) (Equação 38 e 39).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (37)$$

$$IE = \frac{100(X-0,31)}{0,172} \quad (38)$$

em que:

$$X = \frac{a^* + 1,75L}{5,64L^* + a^* - 3,01b^*} \quad (39)$$

ΔE^* - diferença total de cor;

ΔL^* - diferença entre a luminosidade da farinha no tempo zero e a cada tempo;

Δa^* - diferença entre a intensidade de vermelho da farinha no tempo zero e a cada tempo;

Δb^* - diferença entre a intensidade de amarelo da farinha no tempo zero e a cada tempo; e

IE- índice de escurecimento.

4.9.1. Cinética de degradação

As amostras das farinhas de melão neve foram submetidas ao estudo da cinética de degradação dos parâmetros de cor L^* , a^* e b^* , avaliadas a cada 15 dias, na temperatura ambiente durante 90 dias. Os modelos cinéticos de ordem zero, primeira ordem e segunda ordem (Tabela 4.4) foram ajustados aos dados experimentais, permitindo determinar as constantes da velocidade da reação (k). Para avaliar qual o melhor modelo, foi utilizado como parâmetro o coeficiente de determinação (R^2). Para calcular os tempos de meia vida ($\theta_{(1/2)}$) (Tabela 4.4) foi utilizado-se o valor de k do modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais das cinéticas de degradação da cor.

Tabela 4.4 - Modelos cinéticos de zero, primeira e segunda ordem e os tempos de meia vida.

Ordem da reação	Modelo	Tempo de meia vida $\theta_{(1/2)}$	Equação
Zero	$A = A_0 - k\theta$	$\theta_{1/2} = \frac{1}{k} \left(A_0 - \frac{A_0}{2} \right)$	(40)
Primeira	$\ln \frac{A}{A_0} = -k\theta$	$\theta_{(1/2)} = \frac{0,693}{k}$	(41)
Segunda	$\frac{1}{A} = \left(\frac{1}{A_0} \right) + kt$	$\theta_{1/2} = \frac{1}{k} (A_0)$	(42)

A – concentração do parâmetro avaliado após um tempo θ ; A_0 - concentração inicial do parâmetro avaliado; k – constante da velocidade da reação; θ – tempo.

4.10. Análise estatística dos dados

Os dados experimentais obtidos das análises realizadas nas farinhas das sementes de melão neve foi aplicado o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para o armazenamento utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 x 7, com 2 tipos de secagem (intermitente e contínuo), 4 embalagens e 7 tempos de armazenamento (0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias) com 3 repetições, utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2016c), para se verificar prováveis diferenças estatísticas entre os parâmetros determinados. O teste de comparação entre médias aplicadas foi o de Tukey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades físicas das sementes de melão neve *in natura*

Na Tabela 5.1 encontram-se as médias dos resultados das características físicas das sementes do melão neve *in natura*.

Tabela 5.1 - Valores médios das características físicas das sementes do melão neve *in natura*

Parâmetro	Média e desvio padrão
Teor de água (% , b.u.)	60,98 ± 0,65
Atividade de água (-)	0,992 ± 0,002
Cinzas (%)	1,13 ± 0,009
Massa unitária (g)	0,0351 ± 0,001
Massa de mil sementes (g)	33,96 ± 2,55
Volume (cm ³)	0,0302 ± 0,005
Massa específica real (g.cm ⁻³)	1,1734 ± 0,14
Massa específica aparente (g.cm ⁻³)	0,8270 ± 0,008
Porosidade (%)	29,92 ± 3,79
Comprimento (mm)	10,14 ± 0,73
Largura (mm)	3,54 ± 0,27
Espessura (mm)	1,6 ± 0,18
Diâmetro médio geométrico (mm)	3,85 ± 0,24
Diâmetro médio aritmético (mm)	5,09 ± 3,4
Área da superfície (mm ²)	46,67 ± 5,65
Proporção de razão de forma (-)	0,45 ± 0,06
Proporção de razão de alongamento (-)	2,88 ± 0,33
Circularidade (%)	33,38 ± 4,15
Esfericidade (%)	32,75 ± 3,89

Observa-se, na Tabela 5.1, que as sementes apresentaram um teor de água intermediário, isso possivelmente ocorreu devido a semente se desenvolver em volta do arilo, substância mucilaginosa que envolve a semente e que é popularmente chamada de placenta. Porém, a atividade de água (a_w) contida na semente foi acima de 0,99,

classificando assim a semente como de alta umidade, baseado na classificação de Ribeiro e Seravalli (2007), que ao dividir os alimentos em função da atividade de água, os classifica em três grupos: baixa umidade (a_w até 0,6); umidade intermediária (a_w entre 0,6 e 0,9) e com alta umidade (a_w acima de 0,9). Storck et al. (2013) estudando a composição nutricional para aproveitamento na alimentação das folhas, cascas e sementes de diferentes vegetais, observaram o valor de 56,3, 73,9 e 84,4% para o teor de água das sementes de melão, moranga e manga respectivamente.

Os valores médios obtidos para a análise de cinzas, que representa a quantidade de matéria seca absoluta, ou seja, sem a presença da água livre e de constituição da semente. Foram inferiores ao apresentado nas sementes do melão, do tipo amarelo, obtidos na Central de Abastecimento S/A (CEASA) (3,2%) (Malacrida et al., 2007); semente de melão (*Cucumis melo* L. var. inodorus Naud), obtidos em feira de produtos orgânicos no município de Santa Maria, RS (1,64%) (Storck et al., 2013).

A massa unitária e de mil sementes tiveram resultados relativamente próximos à semente da mamona que apresenta massa de mil sementes de aproximadamente 34,06 g (FARIAS et al., 2017), e volume superior à do trigo que apresenta um volume de 0,0265 cm³ (NUNES et al., 2014), esse último se deve ao alto teor de umidade da semente de melão em comparação à do trigo que era em torno de 12%.

Constata-se uma diferença de cerca de 0,3464 g.cm⁻³, entre a massa específica real e a aparente, observa-se para a massa específica aparente um menor valor devido ao método utilizado, para obter o seu valor o espaço vazio entre as sementes não é desprezado. Sousa et al. (2016) ao estudarem as propriedades físicas do arroz vermelho em casca apresentando diferentes umidades, observaram o mesmo comportamento, a massa específica aparente sempre apresentou menor que a real nas distintas umidades.

A porosidade apresentou um valor de aproximadamente 30%, valor inferior quando comparado a mamona 42,5% (Farias et al., 2017) e ao arroz 50,14% (Sousa et al., 2016).

Ainda na Tabela 5.1, estão expressos os valores médios do comprimento, largura e espessura das sementes de melão neve. Mansouri et al. (2017) ao estudarem as propriedades físicas das sementes de duas variedades de melão Somsori e Varamin, relataram valores médios do comprimento inferiores (8,61 e 9,07 mm); superiores para a largura (4,21 e 4,09 mm) e espessura próximo a variedade Varamin (1 e 1,68 mm).

Em relação aos diâmetros médios geométrico e aritmético, área da superfície, proporção de razão de forma e de alongamento, Mansouri et al. (2017) encontraram valores médios para a variedade Somsori de 3,19 e 4,42 mm, 31,97 mm², 0,28 e 2,48, e

para a variedade Varamin de 3,56 e 4,53 mm, 39,80 mm², 0,52 e 2,82 respectivamente. Assim, podemos observar que os parâmetros apresentados da semente de melão neve abordam valores aproximados a variedade Varamin, apenas a semente de melão neve tem uma maior área da superfície, provavelmente, devido ao maior comprimento e diâmetro. Em relação a circularidade e esfericidade observa-se que os valores dos dois índices estão distantes do valor de 100%, mostrando que a forma das sementes de melão neve não se aproxima de uma esfera, nem a área da posição de repouso se aproxima de um círculo. Polachini et al. (2015) estudando o efeito da umidade nas propriedades físicas de sementes de cevada brasileira, observaram que a esfericidade ao longo da faixa de umidade trabalhada não obteve diferença significativa, assumindo um valor de 51,92%, mostrando ser um parâmetro que não se modifica facilmente.

5.2. Caracterização físico-químicas das sementes de melão neve *in natura*

Na Tabela 5.2 estão apresentados os valores médios obtidos através da características físico-químicas das sementes do melão neve *in natura*. É possível observar que a acidez total titulável da semente tem valor inferior a 1%, mostrando que a mesma não é acida, fator confirmado com o valor do pH, que foi próximo ao valor neutro para acidez que é 7. Lemos et al. (2015) realizaram a caracterização das sementes de noni com e sem resíduos de polpa, obtendo para a acidez total titulável uma média de 0,43%, em relação ao pH manteve a faixa de 3,7 a 4,7 mostrando ser um produto mais ácido.

Tabela 5.2- Valores médios das características físico-químicas das sementes do melão neve *in natura*

Parâmetro	Média e desvio padrão
Acidez total titulável (% , ácido cítrico)	0,88 ± 0,13
pH	6,68 ± 0,03
Proteínas (%)	10,98 ± 1,29
Lipídeos (%)	3,67 ± 0,52
Carboidratos (%)	23,22 ± 0,02

Na Tabela 5.2 também estão expressos em porcentagem os valores médios de proteínas, lipídeos e carboidratos constituintes da semente de melão neve *in natura*. Diante dos valores obtidos, pode-se afirmar que a semente do melão neve é um produto

que apresenta na sua composição características que devem ser aproveitadas na alimentação. Storck et al. (2013) ao caracterizarem as sementes de melão (*Cucumis melo* L. var. inodorus Naud), obtidos em feira de produtos orgânicos no município de Santa Maria- RS, revelaram valores de 9,56 e 0,94 %, de proteínas e lipídeos, respectivamente. Malacrida et al. (2007) relataram valor inferior para os carboidratos (15,5%) nas sementes do melão, do tipo amarelo, obtidos na Central de Abastecimento S/A (CEASA). Oliveira et al. (2014b) realizaram a caracterização físico-química da semente de uva da variedade *cabernet sauvignon* e encontraram o valor médio de 5,26 e 12,26% de proteínas e lipídeos, respectivamente. Já Silva et al. (2017a) estudando a inclusão da torta da semente de cupuaçu na ração de animais, realizaram análises na torta da semente, encontrando o valor de 14% de proteínas.

5.3. Análise colorimétrica das sementes de melão neve *in natura*

Os valores médios obtidos dos parâmetros de cor das sementes do melão neve *in natura*, estão apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Valores médios dos parâmetros de cor das sementes do melão neve *in natura*

Parâmetro	Média e desvio padrão
Luminosidade (L*)	62,57 ± 1,64
Intensidade de vermelho (+a*)	7,21 ± 0,2
Intensidade de amarelo (+b*)	28,27 ± 0,47
Croma (C)	29,17 ± 0,42
Ângulo matiz (h °)	75,66 ± 0,55

Observa -se que a semente de melão neve tem uma luminosidade (L*) de 62,57, indicando uma tendência para a claridade da semente, com uma predominância da intensidade de amarelo (+b*) em relação a intensidade de vermelho (+a*), mostrando assim uma predominância de laranja amarelado claro. Silva et al. (2017b) estudando o efeito da secagem solar sob a colorimetria das sementes de melão pele de sapo (*Cucumis melo* 'Santa Claus'), constataram valores para L*, +a*, +b* das sementes *in natura* de 46,81, 12,09 e 40,10 respectivamente, mostrando que as sementes de melão sapo em comparação ao melão neve tem uma cor amarela mais escura. O croma e o ângulo matiz para as sementes de melão neve são de 29,17 e 75,66 respectivamente. Segundo Trigo et

al. (2012), quanto menor o valor do croma, menos pura é a cor, ou seja, quanto maior o valor, maior é a pureza ou intensidade da cor, e de acordo com o sistema CIELAB, se o ângulo estiver entre 0° e 90°, quanto maior esse for, mais amarelo é o produto, e, quanto menor, mais vermelho ele será.

5.4. Predição das cinéticas de secagem intermitente (tempo efetivo) e contínua

Na Tabela 5.4 estão apresentados os valores dos parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) obtido através dos modelos ajustados às curvas da cinética de secagem dos grãos de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m.s⁻¹, sendo utilizado nos experimentos 1 e 2 (intermitentes) apenas o tempo efetivo de secagem. Portanto, os dados da cinética de secagem foram estudados até o tempo de 60 min, justificando que ambos os experimentos obtiveram valores próximos ao 0 de razão de umidade nesse tempo, e que os dados experimentais coletados completos estão disponíveis no apêndice.

Verifica-se (Tabela 5.4), que dos modelos estudados, apenas Wang e Singh não obteve $R^2 \geq 0,99$. Segundo Sozzi e Ramos (2015), quanto mais próximo a 1 o R^2 mais explicativo o modelo e melhor se ajusta à amostra. Mesmo o R^2 ficando com valores satisfatório (em torno de 0,99), não é possível nem recomendado que o mesmo sozinho, seja utilizado para afirmar se um modelo matemático é o melhor para a predição de determinada curva. Foi observado baixos valores de qui-quadrado (χ^2) para o experimento 3 (secagem contínua) para todos os modelos, já para o experimento 1 e 2, apenas os modelos Page e Silva et al. mantiveram baixos valores.

Ainda é possível observar o resultado da distribuição de resíduos (DR), onde os modelos obtiveram valores aleatórios (A) para a secagem do experimento 3 (contínua) com execução do modelo de Wang e Singh o qual teve todos seus valores tendenciosos (T). Todos os modelos mostraram valores tendenciosos para o ajuste das curvas do experimento 1 e 2, o que já era esperado, pois os dados utilizados são um arranjo forçado das leituras da secagem intermitente, utilizando apenas o tempo efetivo, ou seja, os dados coletados quando a amostra se encontrava em contato com o ar de secagem.

Tabela 5.4 – Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) dos modelos ajustados as curvas de secagem da semente do melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Modelo	Experimento	Parâmetros		R^2	χ^2	DR
		a	b			
Lewis	1	0,06587		0,9971	0,0120	T
	2	0,06566		0,9966	0,0113	T
	3	0,05197		0,9976	0,00523	A
Henderson e Pabis	1	1,031	0,06784	0,9964	0,00974	T
	2	1,017	0,06673	0,9962	0,0106	T
	3	0,9786	0,05046	0,9973	0,00406	A
Wang e Singh	1	-0,04503	0,000503	0,9883	0,0422	T
	2	-0,0444	0,000488	0,9872	0,0547	T
	3	-0,03962	0,000419	0,9792	0,0462	T
Peleg	1	13,5	0,7251	0,9913	0,0207	T
	2	12,99	0,7520	0,9909	0,0228	T
	3	15,66	0,7804	0,9989	0,00156	A
Page	1	0,0459	1,124	0,9986	0,00331	T
	2	0,0508	1,087	0,9974	0,00652	T
	3	0,0652	0,9225	0,9986	0,00191	A
Silva et al.	1	0,07686	-0,04493	0,9976	0,00572	T
	2	0,07259	-0,02882	0,9967	0,00857	T
	3	0,04504	0,02829	0,9983	0,00242	A

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), 2 (Intermitente in = 20 min out = 40 min) e 3 (contínua).

A Figura 5.1 apresenta a tendência de distribuição dos resíduos, esses foram obtidos por meio da diferença entre os valores experimentais e os valores estimados pelo modelo de Page, sendo o modelo que melhor se ajustou a predição dos dados da cinética de secagem dos grãos de melão neve, obtendo maiores R^2 e menores χ^2 em todos os experimentos. Mendonça et al. (2015) ao realizarem a cinética de secagem da semente de andiroba, também constataram que o modelo de Page apresentou $R^2 \geq 0,99$ e DR aleatória, visto que sua secagem foi de método contínuo.

Na Figura 5.2 encontram-se os primeiros 60 min. das curvas preditas do modelo matemático de Page ajustadas aos dados experimentais do tempo efetivo dos experimentos 1 e 2, e experimento 3 das cinéticas de secagem da semente de melão neve, na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de secagem a 1 m s⁻¹.

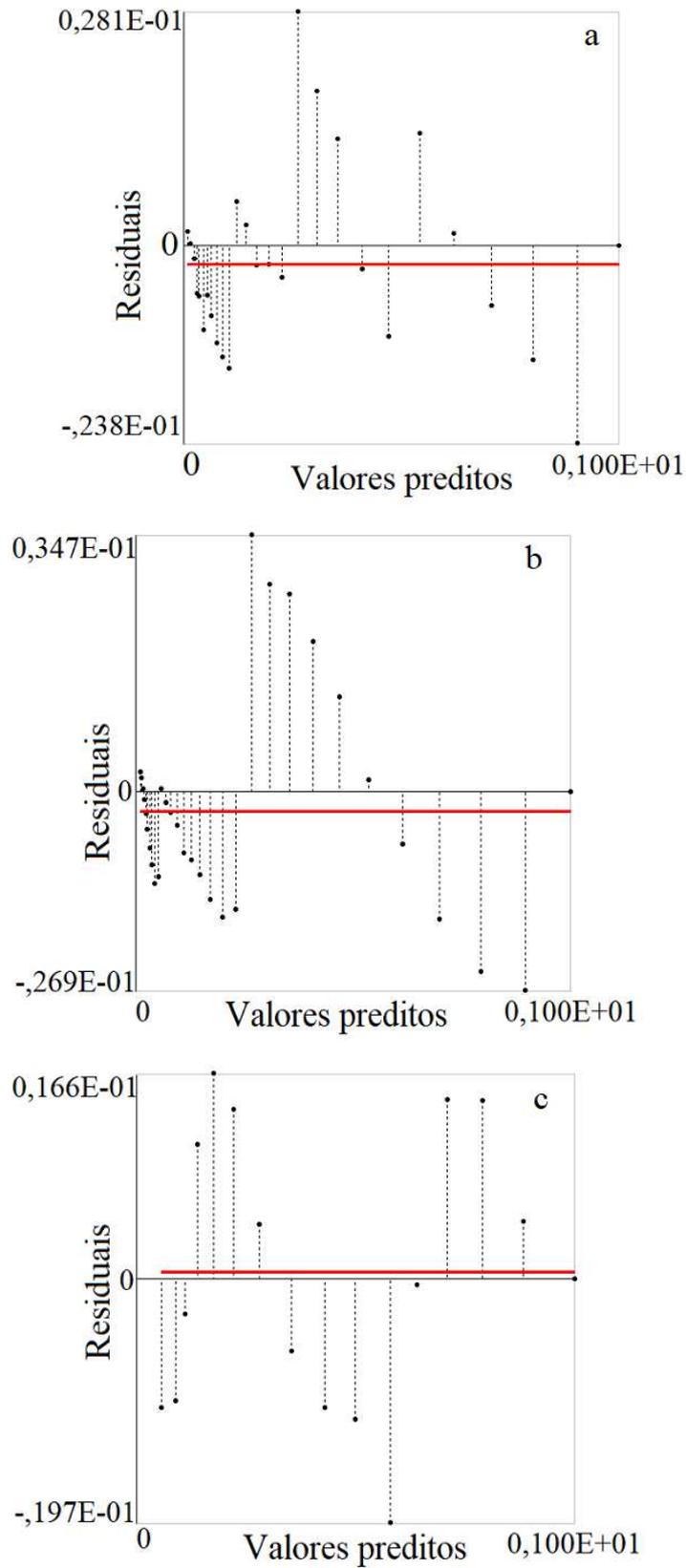


Figura 5.1 – Distribuição de resíduos do modelo Page na predição das cinéticas de secagem da semente de melão neve: experimento 1 (a), experimento 2 (b), experimento 3 (c).

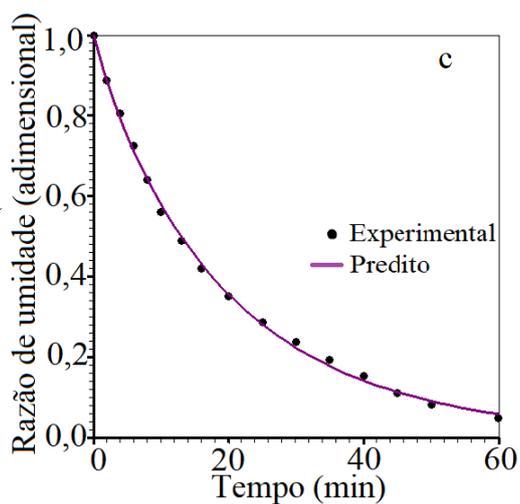
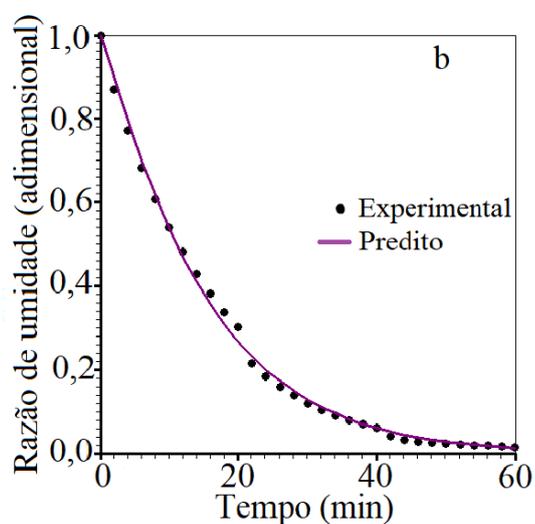
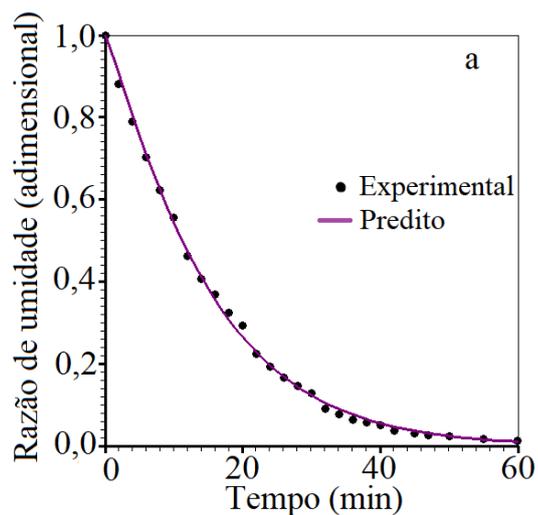


Figura 5.2 – Cinética de secagem das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s^{-1} , apresentando o tempo efetivo de operação: experimento 1 (a), experimento 2 (b), experimento 3 (c).

Na Figura 5.3 está apresentado a superposição das curvas geradas pela predição do modelo de Page, possibilitando assim observar a funcionalidade e melhor comparação dos experimentos. A princípio é possível observar que ao tempo de 60 min os experimentos 1 e 2 já apresentam dados de razão de umidade muito próximo ao 0, já o experimento 3 ao mesmo tempo de secagem, apresenta valor de razão de aproximadamente a 0,06.

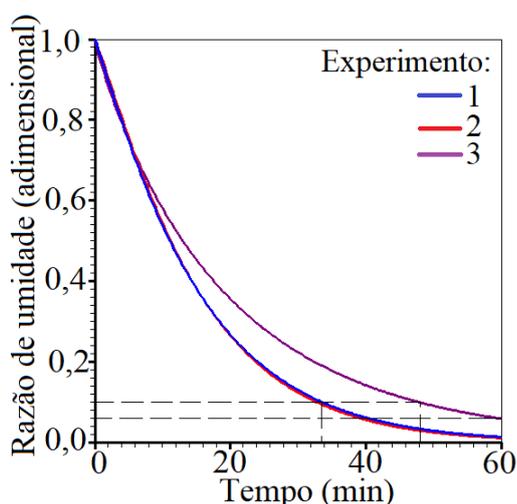


Figura 5.3 – Superposição das curvas preditas pelo modelo de Page para os experimentos de cinética de secagem das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Ainda, na Figura 5.3, é possível observar que, para atingir 0,1 da razão de umidade, os experimentos 1 e 2 levaram aproximadamente 34 min, já o experimento 3 levou aproximadamente 48 min para atingir o mesmo ponto. Em outros termos, os experimentos 1 e 2 levam 29,17% menos tempo para atingir 0,1 de razão de umidade em comparação ao experimento 3, levando a afirmar que a secagem intermitente resulta em uma economia de energia de 29,17% durante o processo de secagem em comparação à secagem contínua. A explicação desse fenômeno, se da pela difusividade da água no interior do produto durante o processo intermitente, pois durante o tratamento da têmpera, a água contida no interior do produto tende a migrar para as bordas, fazendo com que quando o produto volte a ter o contato com o ar de secagem, exija uma menor energia para a retirada da água. Segundo Yang et al. (2013) na secagem intermitente a difusão da água do interior para o exterior do produto e a evaporação da água superficial ocorrem de uma maneira mais pacífica e equilibrada. Martin et al. (2009) estudando a secagem intermitente do café cerejea descascado, alternando 12 h em contato com o ar quente a 50 °C, com 12 horas de têmpera, observaram uma redução de 24,56% no tempo efetivo de secagem do café,

quando comparado com a secagem contínua. Zhu et al. (2016) ao secarem soja verde de forma intermitente e contínua a fim de verificarem a eficiência do tempo de têmpera na secagem, constataram uma economia de 23 a 28% na diminuição do tempo de secagem em relação a secagem contínua.

Constata-se, na Figura 5.4, a taxa de secagem obtida através da equação 46, que é a derivação do modelo de Page (Eq. 6), na qual foi utilizado os parâmetros da Tabela 5.4. Segundo Ahmed (2015) trata-se da parcela da massa de água retirada em unidade de tempo com base em um determinado produto seco por unidade da superfície de secagem, sendo a derivada do teor de umidade total (X) pelo tempo (t) de secagem, $-dX/dt$.

$$\frac{dX^*}{dt} = -a \cdot b \cdot t^b \cdot \exp(-a \cdot t^b) \quad (43)$$

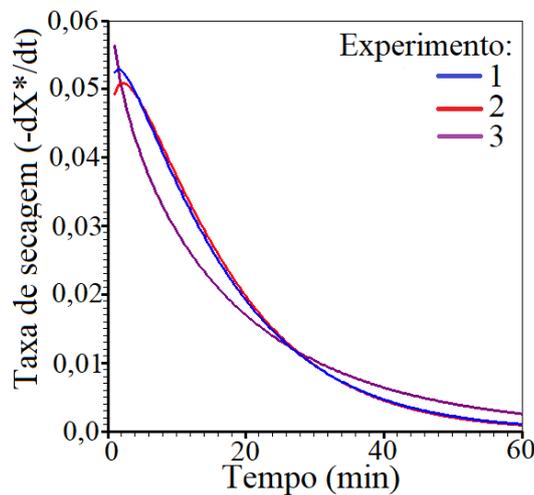


Figura 5.4 – Taxas de secagem para o modelo de Page dos experimentos 1, 2 e 3, para a secagem das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Na Figura 5.4 viu-se que em todos os experimentos não existe taxas constantes de secagem mas, há uma diferença notória entre a taxa de secagem dos experimentos intermitentes (1 e 2) para o experimento no qual foi utilizado a secagem contínua (3). Os experimentos 1 e 2 nos primeiros momentos de secagem tende um momentâneo crescimento e posterior decréscimo dos níveis da taxa e se mostra inicialmente superior, já o experimento 3 tem sua taxa totalmente decrescente. Oliveira et al. (2016) ao estudarem a qualidade fisiológica da semente do milho após a secagem em diferentes temperaturas, observaram que a taxa de secagem das sementes de milho também tem um comportamento decrescente durante toda a secagem em todas as temperaturas estudadas.

5.4.1. Predição da cinética de secagem intermitente utilizando o modelo de Page

Na Tabela 5.5 estão apresentados os parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) do modelo de Page ajustado à curva de secagem do experimento 1 (intermitente 1n = 10 out = 20). Observa-se que o coeficiente de determinação para a descrição da curva teve valores maiores que 0,99, tanto para dois como para três parâmetros, o qui-quadrado (χ^2) de ambos apresentou valores bem próximos a zero, e DR aleatórios. Visto que a predição da cinética de secagem intermitente obteve bons resultados, é possível ser realizada utilizando dois ou três parâmetros, tendo a predição com três parâmetros a que obteve menores valores de χ^2 e maior coeficiente de determinação. Silva et al. (2017c) realizaram a predição da cinética de secagem intermitente na banana seca a 70 °C com velocidade do ar a 0,55 m.s⁻¹ utilizando um programa de otimização desenvolvido pelos mesmos, obtiveram valores R^2 maiores que 0,999 e os valores de 1,27x10⁻³, 2,04x10⁻³ e 2,71x10⁻³ para os intervalos de têmpera de 30, 60 e 120 min respectivamente de χ^2 .

Tabela 5.5 – Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) do modelo de Page ajustado a curva de secagem do experimento 1 (intermitente 1n = 10 min out = 20 min) da semente do melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Número de Parâmetros		Parâmetros			R^2	χ^2	DR
		a1 in	a2 in	a3 out			
2	P	5,97 x10 ⁻²	1,037	-	0,9966	1,93x10 ⁻²	A
	U	8,81 x10 ⁻³	6,60 x10 ⁻²	-			
3	P	6,55 x10 ⁻²	0,948	4,68 x10 ⁻³	0,9971	1,26 x10 ⁻²	A
	U	8,16 x10 ⁻³	5,78 x10 ⁻²	9,24 x10 ⁻⁴			

P – Parameter; U – Uncertainty

Para que consiga modelar ou prever o processo intermitente por completo, estudos consideram que durante o período de têmpera, o coeficiente convectivo de transferência de massa seja zero (SILVA et al. 2017c). Analisando-se as Figura 5.5a e 5.5b, nota-se que apesar da perda na quantidade de água retirada do produto durante o período de têmpera, ainda se percebe essa redução, causando um pequeno declínio nessa parte da

curva. Possivelmente esse seja o motivo da equação com três parâmetros ter se destacado na predição, pois utilizando apenas dois parâmetros se admite que o momento da têmpera na cinética seja uma reta, e incluindo o terceiro se admite uma diminuição aos valores da razão de umidade em cada ponto experimental coletado na têmpera. Estudando a eficácia da secagem intermitente com taxa de intermitência em sete tempos diferentes, comparada com a secagem contínua da soja verde, Zhu et al. (2016) também observaram que no período da têmpera existe a perda de água do produto.

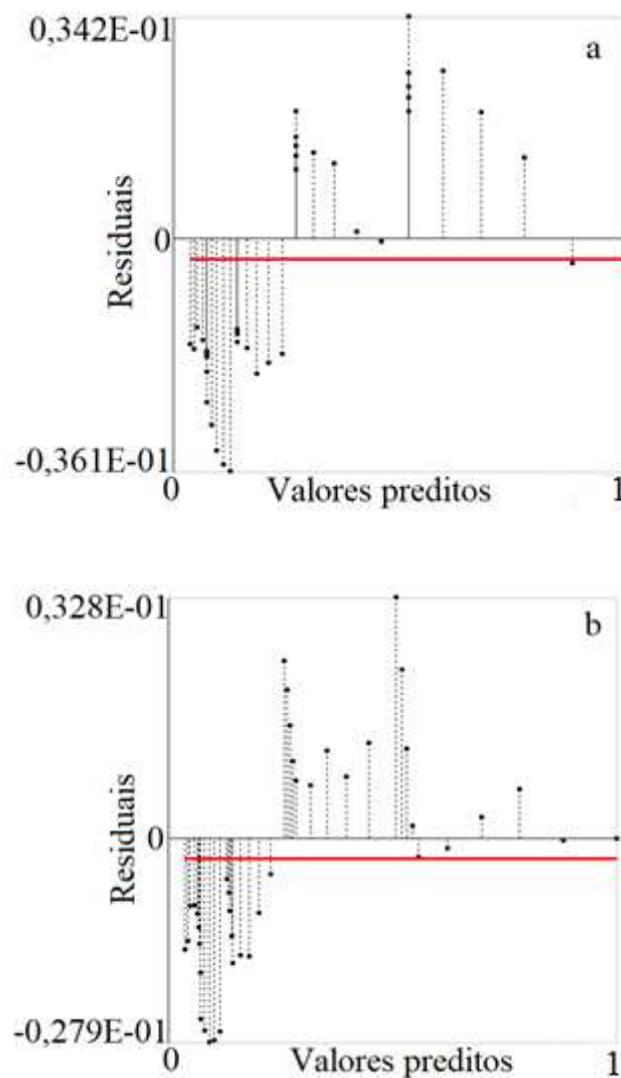


Figura 5.5 – Distribuição de resíduos do modelo Page na predição das cinéticas de secagem com razão de intermitência in = 10 min e out = 20 min das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).

Na Figura 5.6 está apresentada a curva da cinética de secagem do experimento 1, predita pelo modelo de Page, com dois e três parâmetros utilizados.

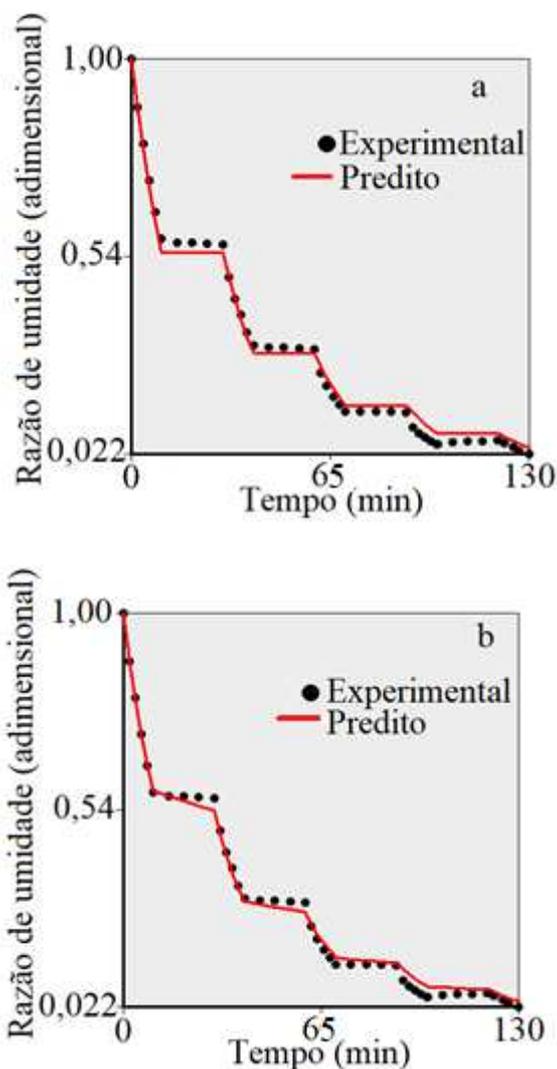


Figura 5.6 – Cinética de secagem com razão de intermitência in = 10 min e out = 20 min das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, preditas pelo modelo de Page, sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).

Na Tabela 5.6 estão apresentados os Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) do modelo de Page ajustado à curva de secagem do experimento 2 (intermitente in = 20 min out = 40 min). Assim como os resultados da predição do experimento 1, os valores de R^2 foram maiores que 0,99, os χ^2 ficaram bem próximos a zero, e o DR foi aleatório para o ajuste utilizando 2 e 3 parâmetros. Mostrando que ambos realizaram uma boa representatividade dos valores experimentais, podendo ser utilizados para a predição da cinética de secagem intermitente das sementes de melão neve secas a 60 °C com velocidade do ar a 1 m s⁻¹. O modelo de

Page com três parâmetros foi o que obteve maior coeficiente de determinação (R^2) e menores valores de qui-quadrado (χ^2).

Putranto, et al. (2011) realizaram a modelagem matemática da secagem convectiva contínua e intermitente do arroz e do café utilizando a abordagem de engenharia de reação (REA), obtendo valores de $R^2 > 0,99$ para ambos os produtos. Silva et al. (2014) estudando a secagem da pera de forma contínua e intermitente nas temperaturas de 30 e 40 °C, utilizaram as soluções das equações de difusão de Fick para modelar o procedimento intermitente, se bem que em seu trabalho, os mesmos não demostrem de forma clara os desvios estatísticos do ajuste. Já Holowaty et al. (2012) embora tenham publicado um trabalho intitulado: Simulação de secagem intermitente em um secador de câmara profundo de erva-mate, utilizaram o modelo de Page mas, não consideraram o tempo de têmpera.

Tabela 5.6 – Parâmetros, coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (χ^2) e distribuição de resíduo (DR) do modelo de Page ajustado a curva de secagem do experimento 2 (intermitente in = 20 min out = 40 min) da semente do melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Número	Parâmetros	Parâmetros			R^2	χ^2	DR
		a1 in	a2 in	a3 out			
2	P	6,54 x10 ⁻²	0,9957	-	0,9958	1,53x10 ⁻²	A
	U	5,36 x10 ⁻³	2,90 x10 ⁻²	-			
3	P	7,38 x10 ⁻²	0,9283	4,6087	0,9980	7,01x10 ⁻³	A
	U	4,27 x10 ⁻³	2,16 x10 ⁻²	6,05 x10 ⁻⁴			

P – Parameter; U – Uncertainty

Na Figura 5.8 estão expressos os gráficos da cinética de secagem do experimento 2, com predição do modelo matemático de Page, com dois e três parâmetros. Sendo possível observar na Figura 5.8 que a perda de água é mais perceptível durante o período de têmpera devido o experimento 2 ter maior intervalo de tempo, mostrando assim, o pequeno declívio que a curva tem, e com isso mostrando o fato da equação de Page com três parâmetros ter uma melhor predição, uma vez que, o parâmetro a3 serve para dar uma pequena inclinação na curva no momento de têmpera. Lima e Nebra (2001) estudando a intermitência em corpos esferoidais e Munson-McGee (2014) checando os perfis de

umidade durante a imersão intermitente de um esferóide oblato (grão do sorgo), consideram que na têmpera não ocorre a perda de água.

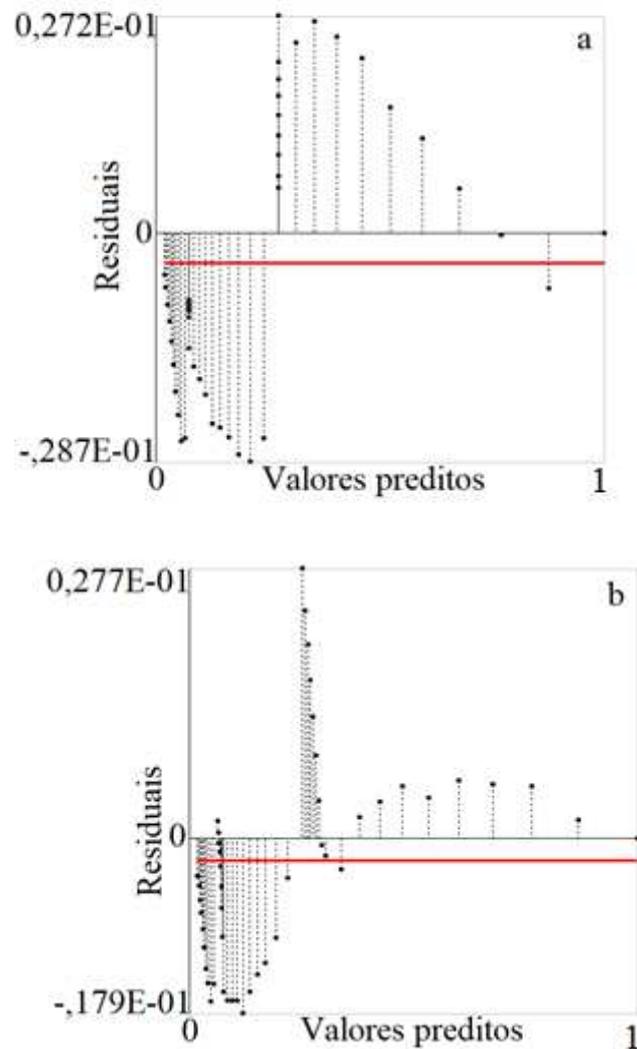


Figura 5.7 – Distribuição de resíduos do modelo Page na predição das cinéticas de secagem com razão de intermitência in = 20 min e out = 40 min das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).

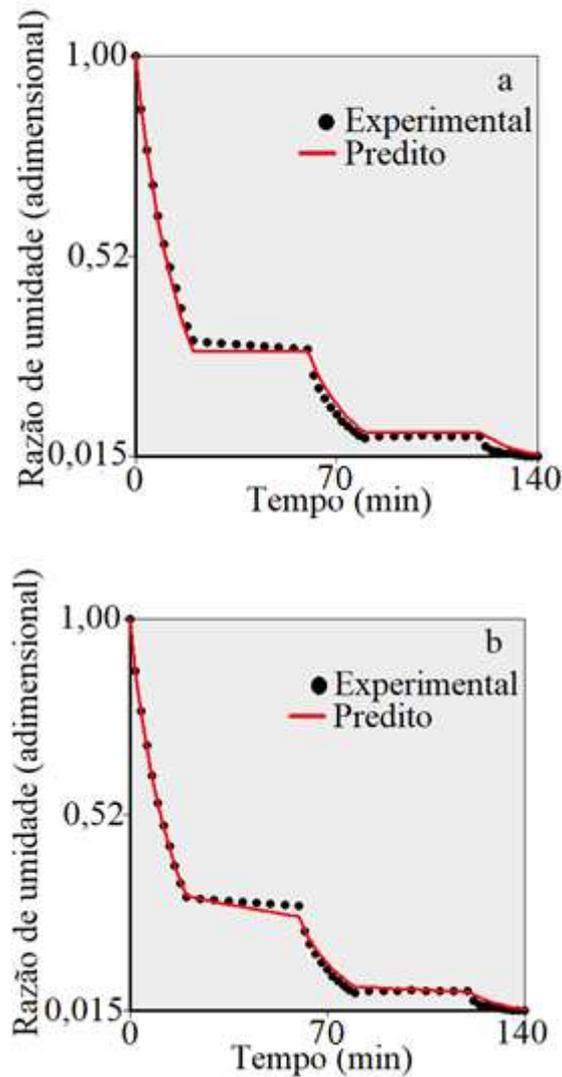


Figura 5.8 – Cinética de secagem com razão de intermitência in = 20 min e out = 40 min das sementes de melão neve a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, preditas pelo modelo de Page, sendo com dois parâmetros (a) e três parâmetros (b).

5.5. Caracterização físico-química das farinhas, obtidas através das secagens das sementes de melão neve

Na Tabela 5.7 estão apresentados os resultados da caracterização físico-química das farinhas, obtidas através da secagem das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹. A legislação brasileira regulamenta que o teor máximo de umidade é de 15,00% (g/100 g) para farinhas, amido de cereais e farelos (Brasil, 2005b), indicando que as farinhas obtidas se apresentaram dentro da legislação por suas médias

estarem abaixo de 6%. Consta-se também diferença estatística apenas para a farinha seca aplicando a secagem intermitente (in = 10 min out = 20 min), experimento 1, sendo superior as demais. Silveira et al. (2016) ainda reforçam que a baixa atividade de água impede reações bioquímicas as quais dependem da atividade de água, contribuindo assim para a conservação do produto, prolongando o seu tempo útil de prateleira. Pereira et al. (2013) constataram o valor de $8,25\% \pm 0,98$ de umidade para a farinha de resíduos de acerola (*Malpighia glabra* L.) secas a 60 °C em estufa a 24 h. Já Silveira et al. (2016) encontraram valores para a farinha produzida das sementes de goiaba de $5,74 \pm 0,16$ para umidade e $0,11 \pm 0,01$ para atividade de água (a_w). Ogunbusola et al. (2012) relataram 5% de umidade para a farinha desgordurada das sementes de melão branco (*Cucumeropsis mannii*).

Tabela 5.7 – Valores médios e desvio padrão da caracterização físico-química das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s^{-1} .

Parâmetros	Experimentos		
	1	2	3
Umidade (% b.s.)	5,11a \pm 0,15	4,18b \pm 0,43	4,04b \pm 0,09
Atividade de água (-)	0,377a \pm 0,01	0,304b \pm 0,02	0,300b \pm 0,01
Cinzas (%)	3,32b \pm 0,08	3,38ab \pm 0,05	3,36a \pm 0,01
ATT(%, ácido cítrico)	0,69a \pm 0,03	0,65a \pm 0,06	0,62a \pm 0,04
pH	6,55b \pm 0,01	6,61a \pm 0,01	6,57ab \pm 0,02
Proteínas (%)	48,24a \pm 3,26	42,32b \pm 2,36	39,63b \pm 1,11
Lipídeos (%)	25,52a \pm 0,16	22,25c \pm 0,32	23,50b \pm 0,78
Carboidratos (%)	17,81c \pm 1,56	27,87b \pm 1,89	29,47a \pm 1,14

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), 2 (Intermitente in = 20 min out = 40 min) e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios das cinzas não diferiram estatisticamente entre si, mas em relação aos valores das cinzas do produto *in natura* (Tabela 5.1 – 1,13%) é possível notar uma diferença considerável, sendo um aumento de 2% de cinzas. Kiin-Kabari e Akusu (2014) estudando o efeito do processamento na composição, propriedades funcionais e estabilidade do armazenamento na farinha de semente de melancia (*Citrullus lanatus*),

encontraram valores de cinzas em torno de 4% para a farinha. Ogunbusola et al. (2012) obtiveram valor de 3,45 e 4,4% de cinzas para a farinha do melão branco com e sem gordura respectivamente.

Em relação a acidez total titulável (ATT) é possível observar que as farinhas produzidas nos três experimentos não diferiram estatisticamente entre si, e que com a obtenção da farinha, através da secagem, ocorreu uma degradação dos ácidos orgânicos presentes nas amostras ou redução na perda de qualidade, quando comparadas as sementes *in natura* (Tabela 5.2 - 0,88%). Segundo Borém et al. (2014), o índice de acidez informa o estado de conservação do produto, quantificam as substâncias ácidas presentes e é um indicador de qualidade, ou seja, quanto menor o índice de acidez, melhor é a qualidade do produto (óleo). Quanto ao pH houve diferença estatística entre as farinhas produzidas nos experimentos 1 e 2, mas a farinha do experimento 3 não diferiu estatisticamente de nenhuma das amostras. Mesmo após a secagem e elaboração das farinhas, o pH ainda se manteve próximo ao neutro. Amorim et al. (2012) afirmaram que a faixa de pH de 2,0 a 8,5 é a melhor para o desenvolvimento de mofo e leveduras, e relataram um percentual de 23% para a acidez e 6,22 para o pH para a farinha das sementes de abóbora.

Ainda na Tabela 5.7 estão apresentados os valores das proteínas, lipídeos e carboidratos das farinhas produzidas através dos experimentos 1, 2 e 3. Percebeu-se uma concentração no percentual das proteínas e lipídeos ao secar as sementes para a produção da farinha, devido à concentração da massa seca após a retirada da água através da secagem. O experimento 1, secagem intermitente (in = 10 min out = 20 min), foi o que reteve a maior quantidade de proteínas, apresentando-se estatisticamente superior aos demais. Comprovando que a metodologia empregada causou menor degradação das proteínas e maior conservação na quantidade da gordura. Comportamento inverso, foi observado para a média dos carboidratos totais, em relação ao experimento 1, que foi constatado o menor percentual. Indicando que o tipo de secagem aplicada influenciou de forma significativa nas três aplicações estudadas. Kiin-Kabari e Akusu (2014) encontraram o valor de 25 a 29% de proteína e 8% de carboidrato na farinha da semente de melancia. Olanipekun et al. (2015) ao analisarem o efeito da fervura e torrefação na composição dos nutrientes da farinha de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*), obtiveram valores de 24,04, 25,24 e 20,92% de proteínas para a farinha do feijão fervido, assado e cru respectivamente. Malacrida et al. (2007) ao secarem a 40 °C, as sementes de melão do tipo amarelo, relataram 20,1% de proteínas e 25,2% de lipídeos, afirmando que

podem ser aproveitadas no desenvolvimento de produtos alimentícios destinados ao consumo humano, desde que comprovada a ausência de substâncias tóxicas ou alergênicas.

Na Tabela 5.8 estão apresentados os valores médios e desvios padrões dos resultados obtidos através das análises de colorimetria realizado nas farinhas das sementes do melão neve. Constata-se que as farinhas obtidas da secagem intermitente (in = 10 min out = 20 min) e da secagem contínua, não diferiram estatisticamente entre si quanto a luminosidade, ocorrendo uma redução significativa para a secagem intermitente (in = 20 min out = 40 min), indicando que ocorreu um leve clareamento das farinhas com as secagens (quando comparadas as sementes *in natura*). Comportamento semelhante foi constatado por Abano et al. (2011) ao secarem fatias de tomate em várias temperaturas observaram que a luminosidade aumentou quando comparadas com o tomate fresco. Salec et al. (2016) ao estudarem diferentes tipos de secagem para a obtenção de farinhas das mangas Palmer e Tommy Atkins, verificaram o valor de (L*) de 63,81 e 69,87 para as variedades, respectivamente.

Tabela 5.8 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros de cor das farinhas obtidas através da secagem das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹

Parâmetro	Experimentos		
	1	2	3
Luminosidade (L*)	68,18a ±0,94	66,00 b ±0,52	68,31a ±0,51
Intensidade de vermelho (+a*)	4,2 a ±0,24	4,54 a ±0,22	4,39 a ±0,14
Intensidade de amarelo (+b*)	27,3 b ±0,64	28,21ab ±0,53	29,5a ±0,80
Croma (C)	27,62b ±0,61	28,58ab ±0,54	29,82a ±0,77
Ângulo matiz (h °)	81,24a ±0,63	81,21a ±0,40	81,52a ±0,49

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), 2 (Intermitente in = 20 min out = 40 min) e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A intensidade de vermelho (+a) das farinhas manteve-se estatisticamente iguais independentes do tipo de secagem aplicada, tendeu a diminuir após a secagem em relação a semente *in natura*, constata-se também que esse comportamento foi inverso ao observado para a luminosidade. A intensidade de amarelo (+b) da farinha foi

significativamente menor para a secagem intermitente (in = 10 min out = 20 min), quando comparada a secagem contínua. Silva et al. (2017b) ao secarem sementes de melão sapo em secador solar, relataram valores superior para a intensidade de vermelho (7,40) e intensidade de amarelo (31,72).

Ainda na Tabela 5.8 encontra-se o valor médio do Croma (C) das farinhas, observa-se que apenas a secagem intermitente (in = 10 min out = 20 min) diferiu estatisticamente da contínua, apresentando média inferior. Pode-se dizer que a secagem contínua foi mais eficaz na preservação do croma, resultando em uma farinha com a coloração mais intensa. Segundo Trigo et al. (2012) quanto maior o valor do croma, mais pura é a cor e se o ângulo matiz estiver entre 0° e 90°, quanto maior esse resultado for, mais amarelo é o produto. Em relação ao h°, todas as farinhas apresentaram forte tendência a tonalidade amarela predominante, não diferindo estatisticamente entre si. Costa et al. (2017) estudando a farinha obtida através da secagem do mesocarpo do pequi, encontraram valores de 47,80 e 61,95 para o (h°) e (C) respectivamente, afirmando que a mesma também tende a cor amarela.

5.5.1. Higroscopicidade

Na Figura 5.9 estão apresentados em forma de gráfico a observação do comportamento higroscópico na temperatura de 25 °C e 75% de umidade relativa do ar, das farinhas de melão neve obtidas através da secagem intermitente e contínua das sementes, na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹. Pode-se observar, na Figura, que a farinha obtida através do experimento 3 foi a que mais absorveu água ao longo do tempo em comparação aos experimentos 1 e 2. Provavelmente esse comportamento de maior absorção tenha ocorrido devido as partículas da farinha do experimento 3 terem se apresentado mais soltas e com menos grumos, facilitando a maior higroscopicidade da mesma. Em relação as farinhas do experimento 1 e 2 constatou que mesmo começando em umidades diferentes, as mesmas tenderam a ter um comportamento de absorção próximos. Latorres et al. (2014) ao estudarem a farinha de arroz e o isolado proteico de arroz, observaram que o isolado proteico de arroz é mais higroscópico em comparação à farinha.

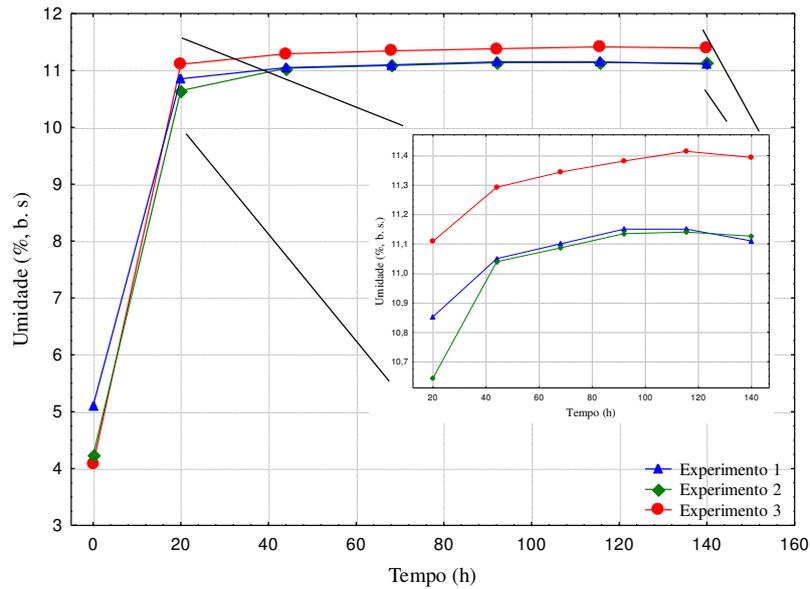


Figura 5.9 - Comportamento higroscópico das farinhas obtidas através da secagem das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

5.6. Isotermas de adsorção de umidade

Na Tabela 5.9 tem-se os valores dos parâmetros dos modelos de Peleg, GAB, Smith e Henderson ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de umidade das farinhas das sementes do melão neve, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios médios relativos (DRM).

Observa-se que todas as equações se ajustaram adequadamente aos dados experimentais das amostras, com coeficiente de determinação ($R^2 > 0,98$) e baixos desvios relativos médios (DRM < 10%), configurando ajuste satisfatório. Constata-se que o modelo que apresentou os maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,98$) e os menores desvios relativos médios (DRM < 4%) nas farinhas secas em secagem intermitente e contínua foi o modelo de Peleg, ajustando-se melhor aos dados experimentais das isotermas de adsorção.

Tabela 5.9 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios relativos médios dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C, das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Modelo	Experimento	T (°C)	Parâmetros				R ²	DRM (%)
			k1	n1	k2	n2		
Peleg	1	20	12,32	1,31	16,39	9,46	0,9996	1,75
		30	22,23	1,08	159	120,19	0,9925	3,12
		40	11,59	1,27	18,56	10,93	0,9988	2,44
	3	20	12,89	1,29	56,70	23,51	0,9986	1,63
		30	14,60	7,19	16,17	1,61	0,9980	3,09
		40	11,85	0,99	22,68	9,29	0,9985	2,19
GAB	1	20	Xm	C	Ka			
		30	3,91	2,94	0,87	0,9977	3,19	
		40	8,43	4,80	0,76	0,9771	3,65	
	3	20	3,20	4,23	0,90	0,9975	5,19	
		30	2,60	49,41	0,94	0,9708	9,82	
		40	9,56	0,83	0,77	0,9919	4,27	
Smith	1	20	a	b				
		30	-0,13	7,19	0,9967	2,62		
		40	3,33	9,47	0,9726	6,58		
	3	20	-0,30	6,91	0,9917	6,35		
		30	0,27	6,61	0,9490	6,56		
		40	-0,73	9,01	0,9869	4,59		
Henderson	1	20	a	b				
		30	0,28	7,90	0,9878	7,25		
		40	7,00	1,03	0,9965	2,28		
	3	20	13,26	0,72	0,9799	3,20		
		30	6,42	1,08	0,9942	5,63		
		40	6,64	1,04	0,9582	8,53		
3	20	8,31	1,05	0,9848	7,19			
	30	8,01	1,02	0,9872	9,77			
	40	8,01	1,02	0,9872	9,77			

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min) e 3 (contínua).

O modelo de GAB apresentou valores dos coeficientes de determinação maiores que 0,97 e DRM menor que 10%. Observa-se que as amostras com o aumento da temperatura apresentaram comportamento similar, independente da secagem aplicada, sem uma tendência definida; a 30 °C, tem-se o maior valor para o parâmetro umidade na

monocamada molecular (x_m). Sendo que a temperatura de 40 °C apresentou o menor valor dessa umidade (3,20%) para a secagem intermitente, e na temperatura de 20 °C para a secagem contínua (2,60%). Para Goula et al. (2008) o teor de umidade na monocamada é aquele que proporciona maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento, em baixos valores a taxa das reações de deterioração, exceto a oxidação de lipídeos, é mínima, sendo importante para prever as condições de armazenamento. Para Ferreira e Pena (2003) o parâmetro pode ser relacionado com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos. Matos et al. (2014) relataram o conteúdo de umidade da camada monomolecular (x_m) de 5,82% o experimento de adsorção a 25 °C e 8,45% para a adsorção a 40 °C, para farinhas de babaçu, afirmando que em produtos alimentícios, esse valor é indicativo da estabilidade do alimento frente à maioria das transformações físicas e químicas indesejáveis.

Observa-se que o parâmetro K do modelo de GAB apresentou valores variando entre 0,76 e 0,94. Rangabhashiyam et al. (2014) relataram que os valores de K geralmente variam entre 0,7 e 1 para materiais alimentícios.

As isotermas das farinhas das sementes do melão neve foram classificadas como Tipo II, de acordo com a classificação de Blahovec (2004) em razão de terem apresentado valores de $0 < K \leq 1$ e $C > 2$, exceto a farinha produzida através da secagem contínua, e aplicada a temperatura de 30 °C para as isotermas, que ficou enquadrada nos valores do Tipo III por estar apresentada entre $0 < K \leq 1$, $0 \leq C \leq 2$. Para Aguirre-Cruz et al. (2010) as isotermas das farinhas de bananas, na temperatura de 30 °C, apresentaram forma sigmoideal, Tipo II de acordo com a classificação BET. Também tem-se na literatura como do Tipo II a farinha de pinhão (CLADERA-OLIVERA et al., 2011) e farinha de tapioca (CHISTÉ et al., 2012).

O parâmetro C do modelo de GAB é a constante relacionada com o calor de adsorção do produto (GUERRA et al., 2005). Moreira et al. (2012) ao ajustarem o modelo de GAB as isotermas da farinha de sementes de chia em diferentes temperaturas (20, 35, 50 e 65 °C) observaram que o parâmetro C diminuiu com o aumento da temperatura. Para o estudo em questão nota-se que apenas a secagem contínua apresentou uma tendência de redução com o aumento da temperatura.

A Figura 5.10 são apresentadas as isotermas de adsorção de umidade das farinhas das sementes do melão neve, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, com o modelo de Peleg ajustado aos dados experimentais. Em todas as temperaturas, verifica-se que com o

aumento do teor de umidade de equilíbrio houve aumento da atividade de água, demonstrando a influência do ambiente sobre a umidade das amostras.

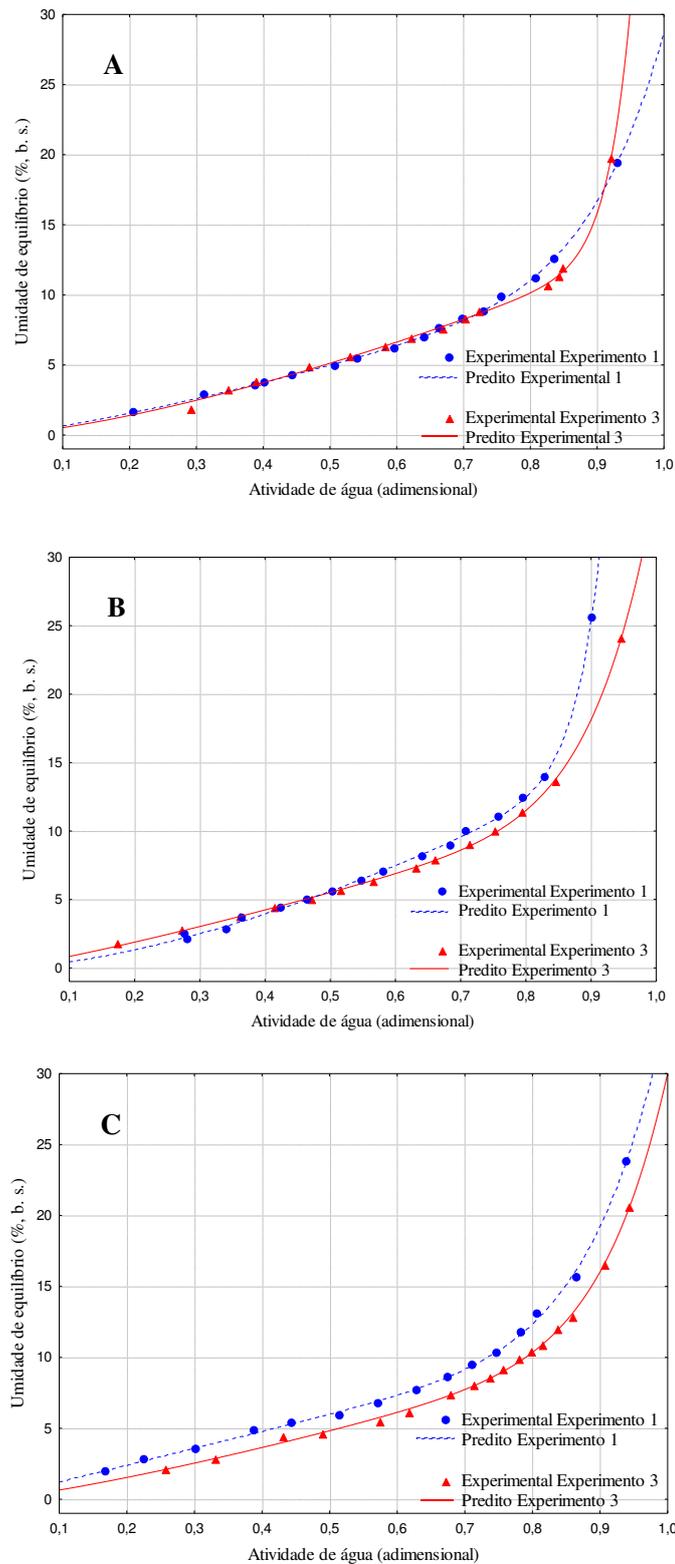


Figura 5.10 – Isotermas de adsorção de água das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹: isotermas a 20 °C (a), a 30 °C (b), e a 40 °C (c), com ajustes pelo modelo de Peleg.

Constata-se que a cada temperatura aplicada para as isotermas, as farinhas obtidas em diferentes métodos de secagem, tiveram um tipo de comportamento, mostrando a esperada dependência da umidade de equilíbrio em relação à temperatura. As isotermas apresentam-se sobrepostas na temperatura de 20 °C (Figura 5.10A), indicando que a temperatura ou o tipo de secagem praticamente não influencia sobre o comportamento da absorção de água nas amostras. Ambas apresentam condições de atividade de água e teor de água de equilíbrio muito próximas para a temperatura estudada.

Na Figura 5.10B (Temp. 30 °C) inicialmente verifica-se que na faixa de atividade de água entre 0,2 a 0,4 a curva a 30 °C, para a secagem contínua apresentou as maiores umidades de equilíbrio e a partir da atividade de água > 0,5 as menores umidades de equilíbrio. Na Figura 5.10C, para a adsorção a 40 °C, constata-se que a farinha seca através da secagem intermitente se apresenta visivelmente superior, mostrando maiores valores de umidade, quando comparada aos dados obtidos para a isoterma da farinha seca utilizando a secagem contínua. É importante ressaltar que analisando os gráficos pelas linhas tracejadas é possível observar que na Figura 5.10B, a farinha do experimento 1 (intermitente) atinge 0,9 de atividade de água com 25% de umidade, por enquanto que a farinha do experimento 3 (contínua) atinge 0,9 de atividade de água com aproximadamente 18% umidade. Já na Figura 5.10C, tem-se por exemplo que quando a farinha do experimento 1 atinge 5% de umidade, está com 4,2 de atividade de água, e a farinha do experimento 3 com 5% de umidade está com 5,2 de atividade de água. Mostrando que a partir dos 0,5 de atividade de água para isoterma a 30 °C (Figura 5.10B), e durante toda a isoterma de 40 °C (Figura 5.10B) a farinha do experimento 3, tem maiores valores de atividade de água para a mesma quantidade de umidade em comparação à farinha do experimento 1.

5.7. Calor isostérico de sorção

A partir dos dados de atividade de água (a_w) e umidade de equilíbrio (U_e) coletados durante o estudo das isotermas de sorção, foi-se possível realizar o cálculo do calor isostérico das farinhas, o qual indica a possível quantidade de energia para a retirada de determinada quantidade de água do produto.

Os valores de $\ln(a_w)$ estão representadas na Figura 5.11. Mostram as retas do logaritmo neperiano da atividade de água das farinhas dos experimentos 1 e 3 em função

do inverso da temperatura absoluta ($1/T$, $1/K$) para diferentes teores de umidade de equilíbrio (% b.s.). Fornecendo assim, a equação de cada reta e respectivos coeficientes angulares. (Ver apêndice).

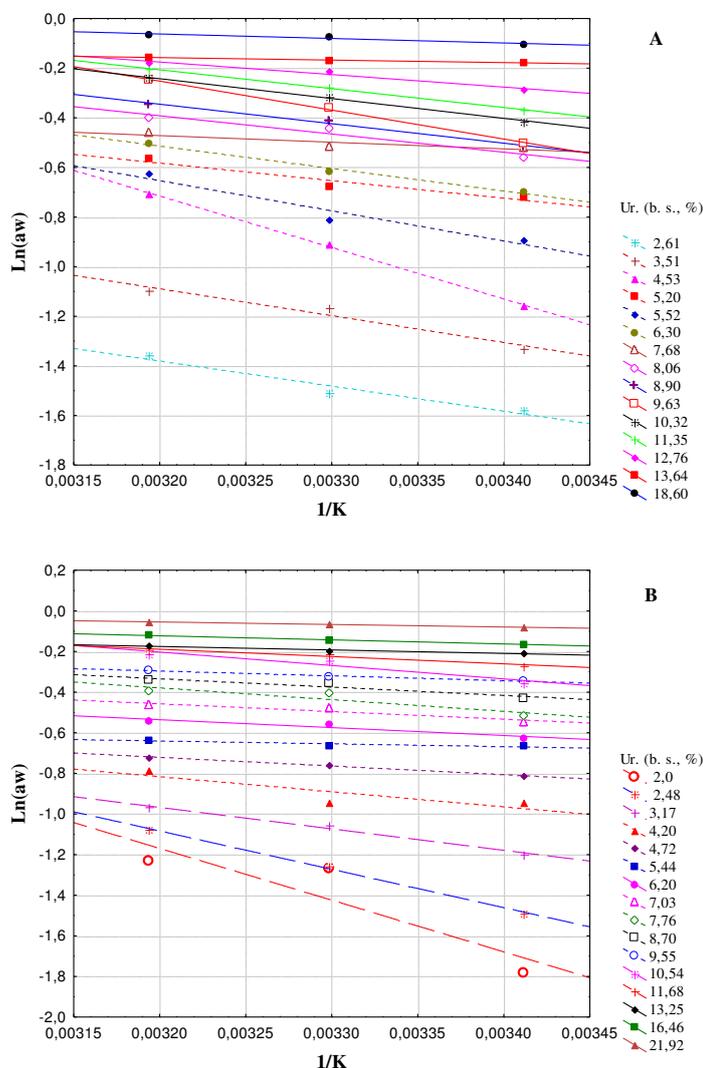


Figura 5.11 - Valores de $\text{Ln}(a_w)$ para diferentes teores de umidade de equilíbrio (b.s., %), sendo: experimento 1 (a) e experimento 3 (b).

Em função do coeficiente angular, calculou-se, através da equação (33), os valores do calor isostérico líquido de sorção (q_{st}). Para a determinação do calor isostérico integral de sorção (Q_{st}), em kJ.kg^{-1} , como o representado pela equação (35), levou-se também em consideração o valor do calor latente de vaporização da água livre (L), o qual segundo Teixeira et al. (2015) representam a mínima quantidade de energia necessária para evaporar a água. Para este cálculo foi considerada a temperatura média utilizada para o estudo das isothermas; $30\text{ }^\circ\text{C}$, o que resultou em um valor de calor latente de vaporização

de 2430,5 kJ.kg⁻¹. Os valores do calor isostérico líquido e integral de sorção obtidos, respectivamente, a partir do coeficiente angular e do calor latente de vaporização estão expostos em apêndice na Tabela 6 e 7.

A partir da obtenção desses dados, e utilizando-se do programa STATISTICA 7 chegou-se à equação que fornece o calor isostérico integral de sorção para as farinhas do experimento 1 e 3 (Eq. 44. e 45), em função do teor de água de equilíbrio (b.s., %) e da temperatura média de 30 °C.

$$Q_{st} = 1205,07 \times \exp(-0,1562 \times U_e) + 2430,5 \quad (44)$$

$$Q_{st} = 2454,86 \times \exp(-0,4173 \times U_e) + 2430,5 \quad (45)$$

em que:

Q_{st} - Calor isostérico integral de sorção, kJ kg⁻¹; e

U_e – Umidade de equilíbrio (b. s., %).

Na Figura 5.12 estão apresentadas as curvas do calor isostérico integral de sorção obtido a partir das Eqs. (44) e (45) (Preditos), e o calor isostérico integral de sorção obtido a partir da Eq. (35) (Experimental), ambos em função do teor de umidade de equilíbrio (U_e b.s., %). Os valores dos parâmetros estimados e coeficiente de determinação foram, respectivamente, A = 1205,07, B= 0,1562, R² = 0,8978 e A = 2454,86, B = 0,4173, R² = 0,9488 para o experimento 1 (intermitente) e 3 (contínua), respectivamente. É possível observar que o coeficiente de determinação do experimento 1 foi bem menor que 0,99, devido aos 11% de umidade o calor isostérico ter uma alta diminuição no seu valor, tirando a forma exponencial dos valores experimentais e conseqüentemente sendo difícil serem preditos pela equação.

Analisando a Figura 5.12, assim como o mencionado por Oliveira et al. (2013) e por Teixeira et al. (2012), é possível verificar que à medida que o teor de umidade do produto diminui, é necessário fornecer mais energia ao mesmo, para a remoção de água. Constatando que o calor isostérico integral de sorção é superior ao calor latente de vaporização (L), em todos os momentos observados. Segundo Madamba et al (1966) esse fato ocorre porque a energia responsável pela ligação entre as moléculas de água aos sítios de sorção é superior ao da energia de ligação das moléculas de água entre si na fase líquida.

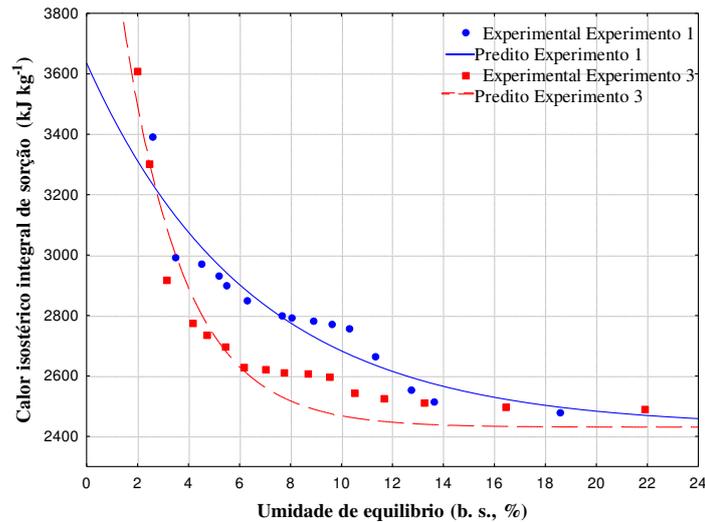


Figura 5.12 - Valores calculados a partir dos coeficientes angulares e valores preditos do calor isostérico integral de sorção em função do teor de água de equilíbrio das farinhas de melão neve secas a 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹.

Em grande parte dos valores do calor isostérico para o experimento 1 são maiores em relação ao experimento 3 para a mesma faixa de umidade de equilíbrio, mostrando que para retirar a água da farinha do experimento 1 (intermitente) é exigido uma maior quantidade de energia em comparação à farinha produzida de forma contínua. Possivelmente essa diferença deve ter ocorrido pela mudança de metodologia de secagem, e confirma que cada método deixa características únicas no produto.

A partir desses dados, verifica-se que os valores de calor isostérico integral de sorção, para a farinha do experimento 1 na faixa de teor de água de 2,61 a 18,60% (b.s.), variaram de 3389,7 a 2476,88 kJ.kg⁻¹, e para o experimento 3 na faixa de teor de água de 2 a 21,92% (b.s.), oscilaram de 3606,78 a 2487,51 kJ.kg⁻¹. Silva et al. (2017d), estudando o comportamento da entropia diferencial do pó do mix de batata yacon com suco de limão, realizaram o cálculo do calor isostérico de sorção encontrando para a faixa de umidade de 10 a 80% (b.s.) o valor de 5651,91 a 2811,81 kJ.kg⁻¹. Também foi constatado por Baptistini (2015), valores de 2421,28 a aproximadamente 3900 kJ.kg⁻¹, para o pó de graviola, obtido em secagem em leite de espuma; e por Matos et al. (2014), para a farinha de babaçu valores do calor isostérico de adsorção de 179,7 a 1063,2 kJ.kg⁻¹.

5.8. Análises físicas das farinhas das sementes do melão neve

Na Tabela 5.10 estão apresentados os valores médios e seus respectivos desvios em relação às análises físicas das farinhas das sementes de melão neve produzidas através da secagem convectiva na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m.s⁻¹. Os resultados das análises da taxa de molhabilidade realizadas na farinha do experimento 1 (intermitente) e experimento 3 (contínua) mostraram que a farinha produzida de forma intermitente leva um tempo maior para absorver a água, fato também constatado na análise de higroscopicidade. Segundo Forny et al. (2011) a molhabilidade é um teste simples que fornece o tempo necessário para que o produto absorva o líquido. Santos et al. (2018) estudando a farinha da amêndoa da manga encontraram valor de 0,216 g.s⁻¹, já Lima (2006) estudando a farinha de facheiro relatou valor de 0,209 g.s⁻¹, sendo valores superiores ao da farinha de melão neve.

Tabela 5.10 – Propriedades físicas das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹

Parâmetro	Experimentos	
	1	3
Taxa de molhabilidade (g.s ⁻¹)	0,1025a ± 0,0131	0,0711b ± 0,003
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	0,3107a ± 0,001	0,3196a ± 0,001
Densidade compactada (g.cm ⁻³)	0,4273a ± 0,002	0,4261a ± 0,001
Porosidade (%)	25,00b ± 0,06	27,27a ± 0,10
Rendimento (%)	35,46a ± 0,05	34,2b ± 0,15

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se (Tabela 5.10) que os valores da densidade aparente são inferiores ao da compactada, devido à densidade aparente levar em consideração junto a sua determinação os espaços vazios existentes entre os grãos das farinhas. Gurjão et al. (2008) observaram o mesmo comportamento no pó da polpa de tamarindo, foi de 0,4 aparente a 0,5 g.cm⁻³ compactada. A porosidade da farinha obtida através do experimento 3 apresentou maior valor, dando diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Em relação ao rendimento das farinhas, observa-se que a farinha obtida pelo experimento 1 teve maior porcentagem, possivelmente devido à essa farinha ter uma porcentagem maior na quantidade de água, fazendo com que a farinha obtenha uma maior massa em comparação à farinha do experimento 3. Michel et al. (2014) ao estudarem a produção de farinha de yacon em diferentes épocas do ano, observaram rendimento de 12,33% para o mês de julho de 2013 e 11,89% para o mês de março de 2014.

5.9. Armazenamento das farinhas

Nas Tabelas 5.11 a 5.21 encontram-se os valores médios do teor de umidade, atividade de água, acidez total titulável, pH, lipídeos, proteínas, luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo, croma, ângulo matiz, diferença total de cor e índice de escurecimento obtidos durante o armazenamento das farinhas das sementes do melão neve.

Os valores médios da umidade das farinhas estão apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Valores médios e desvio padrão da umidade (% b. s.) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	5,18 ± 0,53 gA	5,18 ± 0,12 fA	4,12 ± 0,16 gB	4,12 ± 0,33 gB
15	5,21 ± 0,09 fB	5,44 ± 0,45 eA	4,21 ± 0,04 fD	4,96 ± 0,14 fC
30	5,69 ± 0,27 eA	5,44 ± 0,75 eB	5,31 ± 0,25 eC	5,68 ± 0,22 eA
45	5,96 ± 0,49 dA	5,85 ± 0,06 dC	5,54 ± 0,26 dD	5,91 ± 1,28 dB
60	6,56 ± 0,30 cB	6,84 ± 0,49 cA	6,30 ± 0,67 cC	6,57 ± 0,22 cB
75	6,71 ± 0,11 bD	7,40 ± 0,11 bA	6,97 ± 0,72 bC	7,37 ± 0,3 bB
90	6,97 ± 0,35 aD	7,65 ± 0,28 aC	8,57 ± 0,78 aB	9,07 ± 1,03 aA

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (Contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

É perceptível que ao longo do armazenamento ocorreu um aumento gradativo de água nas farinhas para todas as amostras estudadas. Constata-se ainda que as amostras submetidas ao armazenamento no tempo zero, já apresentavam diferenças de umidades influenciadas pelo tipo de secagem submetidas. As amostras secas através da secagem intermitente apresentaram estatisticamente, valor superior ao das amostras secas de forma contínua. Valor superior (7,1 %) de teor de umidade foi relatado por Lima et al. (2014) ao determinarem a composição centesimal da farinha da semente do melão (*Cucumis melo* L.), secas em uma câmara a 50 °C, por cerca de 48 h. Também é possível observar que as farinhas, com 90 dias de armazenamento, se encontram com teor de umidade (< 10%) inferior à média estipulada pela Anvisa para farinhas, que é de 14% (BRASIL,2005b).

Teores de 21,69 e 22,17% de umidade inicial e final, após armazenamento de 75 dias em condições ambientes (25 °C e umidade relativa de 48%), foram relatados por Reis et al. (2017) para a farinha de acerola com semente, produzida a partir da secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 60 °C, acondicionadas em embalagens de plástico de tereftalato de polietileno, com tampa acoplada. Os mesmos afirmam que o tipo de embalagem utilizada influenciou diretamente no aumento da umidade do presente experimento, uma vez que, o material não propôs uma barreira suficiente para impedir a absorção de água do ar pelo produto.

Santos et al. (2010) ao estudarem a estabilidade da farinha de banana verde, cultivar Prata (*Musa paradisíaca*) em estágio de maturação II, armazenada em embalagens de polietileno tereftalato (PET) durante 90 dias, relataram aumento do teor de umidade de 3,43 para 6,47 %.

Ao longo do armazenamento percebe-se que as embalagens utilizadas não mantiveram uma estabilidade de ganho de água, variando constantemente. Porém, dos 75 até os 90 dias, as embalagens laminadas absorveram a menor quantidade de água, quando comparadas as embalagens transparentes, ou seja, estatisticamente, a farinha seca por secagem intermitente e armazenada em embalagem laminada foi mais efetiva, apresentando a menor absorção, quando comparadas aos demais experimentos.

Constata-se na Tabela 5.12 que a atividade de água aumentou ao longo do armazenamento para todas as amostras, observa-se ainda que a farinha da secagem intermitente armazenada em laminado, apresentou absorção ao longo do armazenamento de forma mais sutil. Durante os 90 dias de armazenamento, apenas a farinha seca de forma contínua e na embalagem transparente apresentou atividade de água superior a 6.

Indicando que a embalagem transparente com a farinha do experimento 3, mostrou no final do armazenamento, risco de desenvolvimento de fungos (0,6), bactérias halófilas (0,65) e levedura osmófilas (0,62) (FERREIRA NETO et al., 2005).

Tabela 5.12 – Valores médios e desvio padrão da atividade de água (adimensional) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	0,373 ± 0,01 eA	0,373 ± 0,07 gA	0,299 ± 0,01 gB	0,299 ± 0,03 gB
15	0,373 ± 0,01 eB	0,376 ± 0,02 fA	0,302 ± 0,02 fD	0,327 ± 0,02 fC
30	0,382 ± 0,04 dA	0,380 ± 0,02 eA	0,314 ± 0,03 eC	0,364 ± 0,02 eB
45	0,452 ± 0,03 cA	0,436 ± 0,12 dC	0,418 ± 0,02 dD	0,449 ± 0,03 dB
60	0,486 ± 0,02 bC	0,537 ± 0,02 cA	0,441 ± 0,04 cD	0,512 ± 0,01 cB
75	0,488 ± 0,01 bB	0,558 ± 0,01 bA	0,471 ± 0,03 bC	0,556 ± 0,01 bA
90	0,501 ± 0,01 aD	0,562 ± 0,03 aC	0,568 ± 0,01 aB	0,612 ± 0,05 aA

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Lima et al. (2013) ao produzirem farinhas do resíduo de caju e armazenarem em embalagens plásticas de polietileno transparente, em temperatura ambiente, durante seis semanas, observaram comportamento elevatório da atividade de água, justificando que a embalagem e forma de armazenamento, por não serem embaladas à vácuo, permitiu a passagem de ar, mesmo que em pequena quantidade. Notou-se ao fim do experimento que as demais farinhas das sementes de melão neve apresentaram valores de atividade de água inferior a 6. Santos et al. (2010) também verificaram aumento significativamente no decorrer do armazenamento da atividade de água da farinha de banana verde, com variações significativas entre os valores iniciais e finais.

Em relação as embalagens utilizadas, não se constatou uma tendência de comportamento ao longo do armazenamento. Porém, é possível verificar que a embalagem laminada, a qual armazenou a farinha seca em secagem contínua, apresentou na maior parte do tempo a menor atividade de água.

O aumento da umidade e atividade de água pode ser atribuído ao tempo, condições de umidade relativa e temperatura do ambiente ao qual o alimento foi armazenado, interferindo na permeabilidade da embalagem e conseqüentemente permitindo a absorção de água durante o armazenamento (TEIXEIRA NETO et al. 2004).

Na Tabela 5.13 encontram-se os valores obtido para a acidez total titulável (ATT, %, ácido cítrico) durante o armazenamento das farinhas.

Tabela 5.13 – Valores médios e desvio padrão da acidez total titulável (ATT, %, ácido cítrico) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	0,67 ± 0,04 bA	0,67 ± 0,04 aA	0,65 ± 0,06 dA	0,65 ± 0,06 aA
15	0,79 ± 0,02 bA	0,70 ± 0,04 aA	0,72 ± 0,01 cdA	0,75 ± 0,01 aA
30	0,87 ± 0,01 abA	0,82 ± 0,01 aB	0,79 ± 0,01bcdB	0,76 ± 0,01 aC
45	0,88 ± 0,05 abA	0,83 ± 0,1 aB	1,03 ± 0,3 abcA	0,79 ± 0,03 aB
60	1,00 ± 0,2 abA	0,87 ± 0,05 aB	1,07 ± 0,2 abA	0,81 ± 0,04 aB
75	1,17 ± 0,06 aA	0,87 ± 0,06 aC	1,08 ± 0,11 abB	0,88 ± 0,14 aC
90	1,19 ± 0,47 aA	0,96 ± 0,05 aB	1,12 ± 0,2 aA	0,89 ± 0,02 aB

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Nota-se que todas as amostras armazenadas nas embalagens laminadas e transparentes, aumentaram significativamente o teor da acidez total titulável, independente da secagem aplicada. Santos et al. (2010) ao estudarem a estabilidade da farinha de banana verde, cultivar Prata (*Musa paradisiaca*) em estágio de maturação II, armazenada em embalagens de polietileno tereftalato (PET) durante 90 dias, relataram com relação à acidez total titulável, uma diferença significativa (p < 0,05) durante o armazenamento, apresentando uma pequena elevação da acidez. Segundo El-Dash e Miranda (2002), as farinhas armazenadas por longo períodos ao ter sua acidez elevada, pode ser atribuído à ocorrência de vários fenômenos diferentes, como: hidrólise gradual de lipídios, produzindo ácidos graxos; hidrólise de proteínas, produzindo aminoácidos ou

produtos intermediários da decomposição de proteínas. Possivelmente, essa alteração pode ter decorrido devido à presença dos lipídios contidos na farinha, que podem ter provocado a rancidez oxidativa. Provavelmente essa alteração lipídica pode ter ocorrido devido ao aquecimento das sementes durante a secagem e pela incidência da luz sobre as farinhas durante o armazenamento. Segundo Brasil (2001) a deterioração dos glicérides presente nos óleos e gorduras é acelerada por aquecimento e pela luz e a rancidez geralmente é acompanhada da formação de ácido graxo livre.

Para Dias e Leonel (2006) o teor de acidez das farinhas fornece indicações sobre o processo de fermentação pelo qual o produto passou; quanto maior a acidez, maior a intensidade da fermentação ou tempo de processamento. Esses valores indicam que as farinhas produzidas nesta pesquisa estão armazenadas inadequadamente ou durante um tempo superior e com indício de processo fermentativo.

Em relação as embalagens utilizadas, constata-se que em até 15 dias de armazenamento, as embalagens utilizadas não diferiram significativamente, ocorrendo mudanças ao logo do armazenamento. Verifica-se que dos 30 aos 90 dias a embalagem laminada, da secagem intermitente, manteve os maiores valores da acidez, seguida da mesma embalagem da secagem contínua.

Na Tabela 5.14 encontram-se os valores obtidos para o pH durante o armazenamento das farinhas.

Tabela 5.14 – Valores médios e desvio padrão do pH durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	6,52 ± 0,01 aA	6,52 ± 0,01 aA	6,57 ± 0,02 aA	6,57 ± 0,02 aA
15	6,27 ± 0,05 bA	6,29 ± 0,05 bA	6,27 ± 0,06 bcA	6,25 ± 0,03 bA
30	6,33 ± 0,03 bA	6,33 ± 0,02 bA	6,35 ± 0,01 bcA	6,32 ± 0,05 bA
45	6,29 ± 0,07 bcA	6,32 ± 0,01 bA	6,33 ± 0,04 bcA	6,32 ± 0,01 bA
60	6,22 ± 0,06 bcA	6,29 ± 0,01 bA	6,24 ± 0,06 cA	6,24 ± 0,08 bA
75	6,30 ± 0,05 bA	6,32 ± 0,01 bA	6,36 ± 0,02 bA	6,31 ± 0,01 bA
90	6,32 ± 0,03 bA	6,32 ± 0,01 bA	6,31 ± 0,05 bcA	6,34 ± 0,03 bA

Onde: Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação ao pH, constata-se uma redução significativa para todas as amostras ao longo do armazenamento de forma mais sutil para as amostras armazenadas na embalagem transparente. Este resultado era esperado, já que ocorreu aumento concomitante da acidez total. Em relação as embalagens, pode-se verificar que as mesmas mantiveram estatisticamente iguais ao longo do armazenamento. Reis et al. (2017) para farinha de acerola com sementes acondicionadas em embalagens de plástico de tereftalato de polietileno, com tampa acoplada, observaram uma redução do pH final concomitante com o aumento da acidez durante o armazenamento da farinha de acerola. Relatando na possibilidade que mudanças químicas podem ter ocorrido no estudo, durante o armazenamento de farinhas desidratadas a 70 e 80 °C. Miranda e El-Dash (2002) relataram diminuição do pH da farinha de trigo durante o armazenamento, relacionada aos níveis de mudança e/ou aumento da acidez que, por sua vez, foi atribuído à deterioração por rancificação, uma vez que, no processo de moagem o óleo, e as enzimas presentes no germe são liberados.

Para Aquino et al. (2010) o valor de pH abaixo de 4,5, delimita o desenvolvimento de microrganismos, inibindo a sua proliferação. Considerando-se assim, que a farinha de melão neve é pouco ácida, sendo de fácil proliferação microbiana, necessitando, portanto, de uma atenção especial.

Na Tabela 5.15 encontram-se os valores obtidos para os lipídeos durante o armazenamento das farinhas.

Tabela 5.15 – Valores médios e desvio padrão dos lipídeos (%) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	24,76±0,68 aA	24,71±0,55 aA	23,93±0,16 aB	23,82±0,32 aB
30	22,26±0,55 bA	22,25±0,24 bA	22,12±2,34 bB	22,11±1,45 bB
60	21,22±0,11 cC	21,88±1,88 cA	21,77±0,88 cB	21,05±3,23 cD
90	20,56±0,42 dB	20,95±0,36 dA	20,20±0,14 dC	19,26±0,14 dD

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto aos lipídeos constata-se que ocorreu uma redução gradativa e significativa ao longo do armazenamento, apresentando uma média de 24% de lipídeos no tempo zero. Valor superior (33%), ao tempo zero de lipídeos, foi relatado por Lima et al. (2014) ao determinarem a composição centesimal da farinha de semente de melão (*Cucumis melo* L.) que, de acordo com os resultados obtidos, consideraram as sementes de melão como oleaginosas. Santos et al. (2010) ao estudarem a estabilidade da farinha de banana verde, cultivar Prata (*Musa paradisiaca*) em estágio de maturação II, armazenada em embalagens de polietileno tereftalato (PET) durante 90 dias, relataram que os lipídeos, não diferiram significativamente durante o período de armazenamento.

Quanto as embalagens constatam-se que as médias das embalagens laminadas e transparente mantiveram os valores significativamente iguais, ao longo do armazenamento. A diferença que é constatada é em relação ao tipo de secagem aplicada, é notável que as sementes submetidas a secagem intermitente manteve maior quantidade de óleo.

Na Tabela 5.16 encontram-se os valores obtidos para as proteínas durante o armazenamento das farinhas.

Tabela 5.16 – Valores médios e desvio padrão das proteínas (%) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	46,83±1,04 aA	46,59±0,52 aA	38,96±0,75 aB	38,90±2,62 aB
30	37,86±0,86 bA	36,74±1,11 bB	37,69±2,36 bA	34,49±1,02 bC
60	35,68±0,07 cA	34,68±0,23 cB	25,19±0,12 cC	24,01±0,2 cD
90	19,41±1,01 dA	19,12±1,43 dA	18,56±0,37 dB	18,79±0,29 dB

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Percebe-se uma redução significativa nas proteínas das farinhas ao longo do armazenamento, para todos os experimentos, devido ao maior teor de água corresponder a menor proporção de sólidos, o que justifica menos proteína bruta. É possível observar que as amostras do experimento 1, nas duas embalagens utilizadas, se destacou com os maiores teores de proteínas. A embalagem laminada do experimento 1, manteve estatisticamente as maiores médias de proteínas. Valor inferior ao teor de proteínas (17 %) foi relatado por Lima et al. (2014) ao determinarem a composição centesimal da farinha da semente do melão (*Cucumis melo* L.), afirmando que o teor de proteína das sementes de melão depende não apenas da variedade de frutos, mas das condições locais de cultivo como tipo e pH do solo, condições climáticas (temperatura, umidade, época do ano), fertilizante tipo usado entre outros fatores. De acordo com Melo et al. (1999), as sementes de melão contêm proteínas ricas em aminoácidos tais como arginina, ácido aspártico e ácido glutâmico, enquanto os aminoácidos limitantes são metionina e lisina.

Na Tabela 5.17 a 5.21 estão apresentados os parâmetros de cor. As análises só foram coletadas até os 45 dias de armazenamento devido ao espectrofotômetro se apresentar danificado no período das outras análises.

Os valores de Luminosidade (L^*) variaram de 0 a 100, sendo que um produto é escuro próximo de 0 e branco próximo de 100. Indicando que as farinhas obtidas tenderam para a cor clara, apresentaram baixa intensidade de vermelho e alta tendência para a intensidade de amarelo. De acordo com Benevides et al. (2008), valores elevados de b podem indicar a prevalência dos carotenóides sobre outros pigmentos. Verifica-se ainda que todos esses parâmetros L , a e b , reduziram ao longo do armazenamento, esta redução da luminosidade significa que houve escurecimento do produto e que possivelmente sofreram os prováveis efeitos ambientais ao longo do armazenamento.

Pagani e Santos (2017) ao avaliarem farinhas de batata branca acondicionadas em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade com e sem o abrigo da luz, à temperatura ambiente, armazenadas durante 50 dias, observaram os valores dos componentes L^* , a^* e b^* , reduzidos durante o armazenamento. Reis et al. (2017) com relação ao tempo de armazenamento, das farinhas de acerola com semente desidratadas a 60 e 70 °C, verificaram valores decrescentes de luminosidade com o tempo, constatando médias na faixa de 30 a 42, classificando-as com uma aparência de cor escura. Alves e Corrêa (2012) ao avaliarem a estabilidade da farinha de cascas de jabuticaba durante 6 meses de armazenamento a temperatura ambiente, em frascos hermeticamente fechados,

perceberam que os parâmetros de cor L^* ($37,10 \pm 0,77$), b^* ($6,72 \pm 0,42$) e a^* ($19,72 \pm 0,42$), com o passar do tempo reduziram gradualmente.

Comportamento inverso foi observado por Oliveira et al. (2017) ao estudarem o efeito do tempo de armazenamento da farinha de sorgo de dois genótipos, relataram aumento da Luminosidade, intensidade de vermelho e de amarelo, no final do armazenamento, para as duas farinhas. Indicando que ocorreu um clareamento nas amostras e intensificação da cor vermelha e amarela no final do armazenamento.

Tabela 5.17 – Valores médios e desvio padrão da luminosidade (L^*), da intensidade de vermelho ($+a^*$) e da intensidade de amarelo ($+b^*$) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de $60\text{ }^\circ\text{C}$ e velocidade do ar a 1 m s^{-1} , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Luminosidade (L^*)				
Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	64,85±0,94 aC	66,95±0,52 aA	64,13±0,49 aD	65,80±0,34 aB
15	64,14±0,18 bC	66,14±0,34 bA	62,88±0,25 bD	64,17±0,26 bB
30	58,97±0,44 cA	54,74±0,11 cC	58,64±0,19 cB	53,36±0,14 cD
45	52,82±0,07 dD	53,92±0,04 dA	53,74±0,08 dB	52,93±0,07 dC
Intensidade de vermelho ($+a^*$)				
Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	5,60±0,07 aD	6,15±0,17 aA	5,91±0,17 aC	6,05±0,18 aB
15	5,60±0,16 aB	4,99±0,13 bC	5,76±0,18 bA	5,80±0,14 bA
30	2,38±0,15 bBC	2,32±0,1 cC	2,89±0,07 cA	2,45±0,13 cB
45	2,25±0,07 cB	2,24±0,04 dB	2,73±0,07 dA	2,05±0,13 dC
Intensidade de amarelo ($+b^*$)				
Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	34,06±0,38 aD	37,10±0,54 aA	35,17±0,49 aC	35,90±0,56 aB
15	33,92±0,25 aB	33,49±0,12 bC	34,33±0,25 bA	34,32±0,14 bA
30	23,59±0,16 bB	22,41±0,11 cC	24,14±0,1 cA	22,23±0,01 cC
45	20,43±0,51 cC	21,50±0,50 dB	21,67±0,44 dB	21,93±0,41 dA

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação as embalagens, nota-se que não seguiram uma tendência de comportamento e que a embalagem laminada que reveste a embalagem, não contribuiu para sua proteção.

O croma reduziu consideravelmente ao longo do armazenamento para todos os experimentos. Reis et al. (2017) constataram que as farinhas de acerola sem e com semente, apresentaram diminuição significativa do índice de croma das temperaturas de 60 e 80 °C em função do tempo de armazenamento; visualmente, observaram que as amostras se apresentaram com uma cor mais escura com tendência à coloração vermelha, podendo ser atribuído à oxidação do ácido ascórbico. É possível ter ocorrido também nas farinhas, alguma degradação ou oxidação de algum componente sensível.

Tabela 5.18 – Valores médios e desvio padrão do Croma (C) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	34,52±0,37 aD	37,60±0,52 aA	35,65±0,51 aC	36,40±0,54 aB
15	34,38±0,24 aB	33,85±0,12 bC	34,81±0,23 bA	34,80±0,13 bA
30	23,71±0,15 bB	22,53±0,1 cC	24,31±0,1 cA	22,36±0,2 cC
45	20,55±0,48 cC	21,62±0,49 dB	21,84±0,42dAB	22,02±0,39 dA

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Constata-se na Tabela 5.19, que houve diferenças significativas no ângulo matiz (h°) para ambos os tratamentos para as farinhas das sementes de melão neve, durante a armazenagem. Independente da embalagem utilizada, comportamento similar foi observado até o fim do armazenamento. A tonalidade das amostras apresenta tendência de aumento com o tempo, o que denota visualmente seu aumento na cor laranja. O ângulo

matiz (h°) caracteriza diferentes tonalidades de cor a cada 90° , sendo de 0° para o vermelho, 90° para o amarelo, 180° para o verde e 270° para o azul (SILVA et al., 2015). Os ângulos obtidos a partir da leitura com o colorímetro variaram de 80° a 84° . Evidenciando uma cor amarelo para todas as amostras. Para Fontes (2002), quanto mais alto o valor de h° , mais o produto se torna interessante para a indústria, pois o mesmo com coloração amarela intensa não necessita de adição de corantes, dependendo da aplicação do produto tornando-o atraente ao consumidor. Para Al-Muhtaseb et al. (2010) a secagem de bagaço de tomate em amostras secas a 70° estavam mais próximas da tonalidade amarela, indicando que essas amostras provavelmente seriam melhor aceitas pelos consumidores.

Tabela 5.19 – Valores médios e desvio padrão do ângulo matiz (h°) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60°C e velocidade do ar a 1 m s^{-1} , acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	80,66±0,23 cA	80,59±0,36cAB	80,46±0,35cAB	80,43±0,38 cB
15	80,62±0,21 dC	81,52±0,12 bA	80,47±0,22 cB	80,41±0,14cBC
30	84,24±0,16 aA	84,01±0,10 aB	83,17±0,08 aD	83,71±0,07 bC
45	83,75±0,30 bC	84,05±0,28 aB	82,81±0,31 bB	84,65±0,25 aA

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (Contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A diferença total de cor (ΔE^*) aumentou gradativamente com o tempo do armazenamento. Constata-se que até aos 15 dias de armazenamento as médias das farinhas foram inferior a 5; porém a partir de 30 dias de armazenamento, as amostras já apresentam valor superior a 5. O produto que apresentar baixos valores de ΔE^* , é considerado ideal, em razão de que baixos valores de diferença total de cor são altamente desejáveis, indicando que o pigmento manteve a cor mais próximo da cor original (Silva et al., 2013). Se ΔE^* apresentar valores de 0 a 1,5, considera-se a amostra quase idêntica à original, por meio da observação visual. Quando ΔE^* situar-se dentro do intervalo de 1,5 a 5, a diferença entre as cores já é perceptível e para valor maior que 5 a diferença é evidente (OBÓN et al., 2009).

Constata-se que as embalagens influenciaram de forma efetiva nesse parâmetro, e que as embalagens transparentes ao longo do armazenamento apresentaram médias superiores, quando comparadas as farinhas armazenadas em embalagem laminada. Também verifica-se que essas últimas apresentaram menores valores de diferença total de cor, mostrando-se mais eficiente na proteção dos pigmentos.

Tabela 5.20 – Valores médios e desvio padrão da diferença total de cor (ΔE^*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0-0	0,00±0,0 dA	0,00±0,0 dA	0,00±0,0 dA	0,00±0,0 dA
0-15	0,73±0,23 cD	3,88±0,35 cA	1,51±0,28 cC	2,28±0,36 cB
0-30	12,44±0,29 bC	19,48±0,12 bA	12,68±0,21 bC	18,82±0,14 bB
0-45	18,48±0,12 aC	20,69±0,08 aA	17,33±0,09 aD	19,41±0,03 aB

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 5.21, tem-se o índice de escurecimento e constata-se em todos os tratamentos avaliados uma redução do índice de escurecimento em função do tempo de armazenamento, e a embalagem laminada, das farinhas secas através da secagem intermitente apresentou as menores médias, diferindo estatisticamente das demais.

Tabela 5.21 – Valores médios e desvio padrão do índice de escurecimento (ΔI^*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Dias	Experimento 1		Experimento 3	
	Laminada	Transparente	Laminada	Transparente
0	77,32±0,27 bD	83,26±0,39 aA	82,16±0,34 aB	81,62±0,41 aC
15	78,08±0,27 aC	72,97±0,18 bD	81,65±0,21 bA	79,43±0,14 bB
30	52,32±0,13 cD	53,94±0,09 cC	54,83±0,09 cB	55,36±0,06 cA
45	50,44±0,33 dD	52,21±0,32 dC	53,63±0,29 dB	54,43±0,27 dA

Onde: Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua). As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si. Foi-se aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme Shin e Bhowmik (1995) a mudança de cor do alimento está associada ao tratamento térmico a retenção de cor após esse tratamento, pode ser usada para prever a extensão da deterioração qualitativa resultante da exposição do alimento ao calor.

5.10. Cinética de degradação

Na Tabela 5.22, encontra-se a cinética de degradação da cor das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente. Observa-se que para os dados experimentais da luminosidade (L*) de modo geral o melhor ajuste foi com o modelo de segunda ordem por apresentarem os maiores R². Moura et al. (2007) explicam que este tipo de comportamento cinético ocorre principalmente quando há limitações de difusão de certos participantes da reação, sendo um exemplo, a reação de escurecimento enzimático de produtos desidratados.

Tabela 5.22 – Parâmetros cinéticos da degradação da luminosidade (L*) durante o armazenamento das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹, acondicionadas em embalagem laminada e transparente.

Modelo	Embalagens	Experimento 1			Experimento 3		
		<i>k</i> (dia ⁻¹)	R ²	$\theta_{1/2}$ (dia)	<i>k</i> (dia ⁻¹)	R ²	$\theta_{1/2}$ (dia)
Zero ordem	Laminada	0,9723	0,9531	33,35	0,8238	0,9701	39,36
	Transparente	0,5369	0,9296	60,40	0,6299	0,9363	51,48
Primeira ordem	Laminada	0,0038	0,8943	182,37	0,0034	0,9247	203,82
	Transparente	0,0051	0,8730	135,88	0,0052	0,8787	133,27
Segunda ordem	Laminada	0,0039	0,9756	25,73	0,0037	0,9678	28,06
	Transparente	0,0044	0,9652	24,51	0,0025	0,9610	26,65

Experimentos – 1 (Intermitente in = 10 min out = 20 min), e 3 (contínua)

A constante da velocidade da reação (k) é um indicador que permite a predição da degradação térmica da cor de determinado produto e quanto menor o valor de k , melhor a estabilidade (LOYPIMAI et al., 2016). Verifica-se que o modelo de primeira ordem foi o que apresentou maiores valores de k , e pode-se notar também que o tempo da meia vida calculado por ele foi menor que o tempo total do armazenamento. Outro fator a ser comentado é sobre as embalagens, pois a embalagem que se destacou como os menores valores de k foi a laminada, indicando que a farinha armazenada na mesma sofreu degradação inferior quando comparada a transparente.

A degradação da cor é causada principalmente por oxidação, clivagem da ligação covalente ou reações avançadas de oxidação devido ao processamento térmico (PATRAS et al., 2010). Estudos relatam que a degradação da cor em temperaturas até 100 °C durante o processamento de alimentos ou durante o armazenamento segue um modelo cinético de primeira ordem: xarope de morango (Skrede et al., 1992), arroz preto (Hou et al., 2013), batata-doce com púrpura (Li et al., 2013), suco concentrado de cenoura preta (Türkyilmaz e Özkan, 2012); com valores dos coeficientes de determinação variando de 0,68 a 0,91.

Constata-se que cada modelo teve seu respectivo resultado no tempo de meia vida ($\theta_{1/2}$) da luminosidade (L^*) das farinhas de melão neve, onde já foi mencionado anteriormente, que o modelo de primeira ordem não obteve êxito na predição, já o modelo de segunda ordem, que foi o que obteve maior R^2 , verifica-se um tempo de meia vida em maior para a embalagem laminada.

6. CONCLUSÕES

- As sementes de melão neve possuem características físicas distintas, se destacam na concentração de proteínas e lipídeos, e uma cor mais suave;
- Dos modelos utilizados para a predição da cinética de secagem do tempo efetivo da secagem intermitente e contínua, Page foi o que obteve o melhor resultado;
- O programa LS Optimizer foi capaz de adaptar o modelo de Page para realizar a predição da cinética de secagem intermitente incluindo o tempo de tâmara;
- A secagem intermitente da semente de melão neve se destacou um menor consumo de energia em comparação a secagem contínua, com 29,17% a menos de tempo efetivo no processo de secagem;
- As farinhas produzidas em todos os experimentos obtiveram umidades inferior a 6% b. s., ficando de acordo com a legislação; baixa atividade de água (inferior a 0,4); concentração de cinzas, proteínas, lipídios e carboidratos, e diminuição da acidez (ATT) e pH, sofreram influência na cor, ficando levemente claras em comparação as sementes *in natura*;
- A secagem intermitente resultou na preservação das proteínas e lipídios;
- Das equações utilizadas para a predição das isotermas de adsorção, Peleg foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais;
- Os valores de calor isostérico integral de sorção, para a farinha do experimento 1 na faixa de teor de água de 2,61 a 18,60% (b.s.), variaram de 3389,7 a 2476,88 kJ.kg^{-1} , e para o experimento 3 na faixa de teor de água de 2 a 21,92% (b.s.), variaram de 3606,78 a 2487,51 kJ.kg^{-1} ;
- Durante o armazenamento das farinhas foi observado o aumento da umidade, atividade de água (a_w), acidez (ATT), ângulo matiz e diferença total de cor (ΔE^*), e diminuição do pH, lipídeos, proteínas, luminosidade (L^*), Intensidade de vermelho ($+a^*$) e amarelo ($+b^*$), Cromo (C), índice de escurecimento (ΔI^*);
- A farinha produzida de forma contínua tendeu a ter maior absorção de água e aumento da atividade de água (a_w) durante o armazenamento;
- De modo geral o tipo de embalagem não teve influência no acondicionamento das farinhas durante o armazenamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-MUHTASEB, A. H.; AL-HARAHSEH, M.; HARARAH, M.; MAGEE, T. R. A. Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. **Journal. Industrial Crops and Products**, v. 31, n.-, p. 171-177, 2010.
- ALVES, A. P. C.; CORRÊA, A. D. Avaliação da estabilidade físico-química da farinha de cascas de jaboticaba. **Anais... 52º Congresso Brasileiro de Química**, Recife – PE, 2012.
- ABANO, E. E., MA. H, QU W. Influence of Air Temperature on the Drying Kinetics and Quality of Tomato Slices, **Journal Food Process Technol**, v. 2, n. 5. p. 1-9, 2011.
- AGUIRRE-CRUZ, A.; ALVAREZ-CASTILLO, A.; CASTREJÓN-ROSALES, T.; CARMONA-GARCÍA, R.; BELLO-PÉREZ, L. A. Moisture adsorption behavior of banana flours (*Musa paradisiaca*) unmodified and modified by acid-treatment. **Starch-Starke**, v. 62, n. 12, p. 658-666, 2010.
- AHMED, M. S. H. Effect of storage temperature and periods on some characteristics of wheat flour quality, **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, n. -, p.1148-1159, 2015.
- AMORIM, A. G.; SOUSA, T. A.; SOUZA, A. O. Determinação do pH e acidez titulável da farinha de semente de abóbora (*Cucurbita maxima*). **Anais... VII CONNEPI**, PALMÁSIO, 2012.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**, USA, 18a ed, 3ª Revisão, 1094f, 2010.
- AQUINO, A. C. M. S.; MOES, R. S.; LEÃO, K. M. M.; FIGUEIREDO, A. V. D.; CASTRO, A. A. Avaliação físico-química e aceitação sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com farinha de resíduos de acerola. **Revista do Instituto Adolfo Lutz** v. 69, n. 3, p. 379-386, 2010.
- ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.279–286, 2014.
- BALBAY, A.; SAHIN, O.; ULKER, H. Modeling of convective drying kinetics of pistachio kernels in a fixed bed drying system. **Thermal Science**, v. 17, n. 3, p. 839–846, 2013.
- BAPTESTINI, F. M. **Parâmetros físico-químicos na obtenção do pó de graviola pelo método de secagem em leito de espuma**, 2015, 119f, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa – UFV, MG, 2015.

BARROS, J. C. S. M.; GOES, A.; MINANI, K. Condições de conservação pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annum* L.), **Scientia Agricola**, v. 51, n. 2, p. 363-368, 1994.

BARYEH, E.A. Physical properties of bambara groundnuts. **Journal of Food Engineering**. v. 47, n. 4, p. 321–326. 2001.

BASTIOĞLU, A. Z.; TOMRUK, D.; KOÇ, M.; ERTEKIN, F. K. Spray dried melon seed milk powder: physical, rheological and sensory properties, **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 5, p. 2396-2404, 2016.

BASHI, A. A.; SINHA, J. P.; JHA, G. K.; CHOPRA, S. Drying kinetics for vegetable seeds with Zeolite beads, **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 86, n. 12, p. 1630-1634, 2016.

BERNARDES, I. **Drying temperature of soybean seed intermittent dryer**. 2011. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

BENEVIDES, S. D.; RAMOS, A.M.; STRINGHETA, P. C.; CASTRO, V. C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 571-578, 2008.

BHATT, V. M.; DABHI, M.; RATHOD, P. J. Changes in the Moisture Content, Free FFA and Malondialdehyde of Bajra Flour during Storage, **Advances in Food Science and Engineering**, v. 1, n. 2, p. 67-72, 2017.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p.489-495, 2004.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; OLIVEIRA, P. D.; RIBEIRO, F. C.; SIQUEIRA, V. C.; TAVEIRA, J. H. S. Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 609-616, 2014.

BRANDÃO, A. A.; ALVES, C. C.; NASCIMENTO A. L.; ESCOBAR A. C. N.; COSTA, C. A.; RODRIGUES, M. N. Germinação de sementes de Melão Neve (*Cucumis melo* sp.) expostas a diferentes níveis de pH, **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 4310-4314, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001, **Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**, Diário Oficial da União, Brasília, Seção I, n. 7-E, p.45-53. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, **Métodos químicos e físico-químicos para análise de alimentos**, Brasília: Ministério da Saúde, 1017f, 2005a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária. Resolução n° 263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005b.

CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science, Chicago**, v.47, n. 5, p.1501-1507, 1982.

CHÁVEZ-SANTOSCOY, R. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; PEREZ-CARRILLO, E. Production of maize tortillas and cookies from nixtamalized flour enriched with anthocyanins, flavonoids and saponins extracted from black bean (*Phaseolus vulgaris*) seed coats, **Food Chemistry**, v. 192, p. 90-97, 2016.

CHENG, Y. F.; BHAT, R.; Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.) legume flour, **Food Bioscience**, v. 14, n. 1, p. 54-61, 2016.

CHINENYE, N. M.; OGUNLOWO, A. S.; OLUKUNLE O. J. Cocoa bean (*Theobroma cacao* L.) drying kinetics, **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 70, n. 4, p. 633–639, 2010.

CHISTÉ, R. C.; SILVA, P. A.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Sorption isotherms of tapioca flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 870-874, 2012.

CLADERA-OLIVERA, F.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z.; PETTERMANN, A. C. Modeling water adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) flour and thermodynamic analysis of the adsorption process. **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, n. 3, p. 826-843, 2011.

COSTA, A. P. F.; PINTO, E. G.; SOARES, D. S. B. Obtenção de farinha do mesocarpo de pequi. **Revista Agrarian**, v.10, n.38, p. 349-354, 2017.

DOTTO, G. L.; MEILI, L.; TANABE, E. H.; CHIELE, D. P.; MOREIRA, M. F. P. Evaluation of the mass transfer process on thin layer drying of papaya seeds from the perspective of diffusive models, **Heat Mass Transfer**, v. 54, n. 2, p. 463-471, 2018.

DEEPA. N; KRISHNAPRABHA. V. Development And Analysis of Nutrients, Antioxidant In Muskmelon Seed Powder Incorporated Value Added Products, **International Journal of Scientific Reseach**, v. 5, n. 4, p. 498-500, 2016.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; SCHIAVON, R. A. **Qualidade de arroz na pós-colheita: Ciência, tecnologia e normas**, 543f, 2010.

EL-DASH, A.; MIRANDA de M. Z. Farinha integral de trigo germinado. Características Nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 3, p. 216-223, 2002.

FARIAS, H. F. L.; CAMARGO, F. R. T.; SILVA, I. L.; FARIA, R. C.; MACHADO, V. S.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos de mamona, **Anais ... Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG**, 2017.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; CUNHA, D. A.; HONORATO, J. M.; DEVILLA, I. A. Qualidade fisiológica de sementes de crame submetidas à secagem, **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 453-460, 2014.

FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C.; CASTANHO, P. S.; NETTO-OLIVEIRA, E. R. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliações química, física e sensorial. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.3, p.524-529, 2007.

FASOYIRO, S.; HOVINGH, R.; GOURAMA, H.; CUTTE, C. Change in Water Activity and Fungal Counts of Maize-pigeon Pea Flour During Storage Utilizing Various Packaging Materials, **Procedia Engineering**, v. 159, n. -, p. 72-76, 2016.

FEDDERN, V.; DURANTE, V. V. O.; MIRANDA, M. Z.; MELLADO, M. L. M. S. Physical and sensory evaluation of wheat and rice bran cookies, **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, p. 267-274, 2011.

FERRARI FILHO, E.; GOTTARDI, R. DIONELLO, R. G. Custos da secagem intermitente de grãos de milho submetidos a três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80°C), **Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.16, n.1 e 2, p.7-16, 2010.

FERREIRA, C.D.; PENA, R.S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p.251-255, 2003.

FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinha de mandioca temperada. **Revista Ciência Agrotec**, v.29, n.4, p. 795-802, 2005.

FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal Biological Chemistry**, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957.

FONTEYNE, M.; GILDEMYN, D.; PEETERS, E.; MORTIER, S. T. F. C.; VERCRUYSSSE, J.; GERNAEY, K. V.; VERVAET, V.; REMON, J. P.; NOPENS, I.; BEER, T. D. Moisture and drug solid-state monitoring during a continuous drying process using empirical and mass balance models, **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 87, n. 3, p. 616-628, 2014.

FONTES; E. A. F. **Cinética de alterações químicas e sensoriais em néctar de manga (*Mangifera indica* L. var. Ubá) durante tratamento térmico.** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 112p. 2002.

FORNY, L., MARABI, A., PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n. 1-2, p. 72–78, 2011.

GALVÃO, I. B. **Estudo teórico-experimental de secagens contínua e intermitente de pedaços de maçã cortados na forma de paralelepípedo**, 172f. 2017, Tese (Doutorando em engenharia de processos) – Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2017.

GUEDES, A. M. M.; FARIA, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000.

GUERRA, R. B.; NEVES, E. C. A.; PENA, R. S. Caracterização e processamento de leite bubalino em pó em secador por nebulização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 443- 447, 2005.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p.1-8, 2011.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p.73-83, 2008.

GURJÃO, K. C. O.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Cinética de secagem da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma (foam-mat drying). In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, **Anais...** Vitória: Incaper, 2008. CD-Rom.

GUSTAFSON, J.R.; HALL, G.E. Density and porosity changes of shelled corn during drying, **Transaction of the ASAE**. v. 15, n. 3, p. 523-525, 1972.

GUTKOSKI, L. C.; PAGNUSSATT, F. A.; SPIER, F.; PEDÓ, I. Efeito do teor de amido danificado na produção de biscoitos tipo semi-duros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 119-124, 2007.

HACIHAFIZOGLU, O.; CIHAN, A.; KAHVECI, K. Mathematical modelling of drying of thin layer rough rice. **Food and Bioproducts Processing**, v. 86, n. 4, p. 268-275, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quantidade produzida por Estados. 2015. <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=11>> Acesso em:04/11/2017.

HOLOWATY, S. A.; RAMALLO, L. A. SCHMALKO, M. E. Intermittent drying simulation in a deep bed dryer of yerba maté. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 20, p. 110-114, 2012.

HOU, Z.; QIN, P.; ZHANG, Y.; CUI, S.; REN, G. Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. **Food Research International**. v. 50, n. 2, p. 691–697. 2013.

ISMAIL, H. I.; CHAN, K. W.; MARIOD, A. A.; ISMAIL, M. Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo*) methanolic extracts. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 643-647, 2010.

KIIN-KABARI, D. B. E AKUSU, O. M. Effect of processing on the proximate composition, functional properties and storage stability of water melon (*Citrullus lanatus*) seed flour. **International Journal of Biotechnology and Food Science**, v. 2, n. 7, p. 143-148, 2014.

KOLI, S. P.; H. N. MURTHY. Estimation of phenotypic divergence in a collection of *Cucumis melo* from Kerala State, Southern India, **Agricultural Sciences**, v 4, n.7A, p. 21-31, 2013.

KOOCHEKI, A., RAZAVI, S.M.A., MILANI, E., MOGHADAM, T.M., ABEDINI, M., ALAMATIYAN, S., IZADKHAH, S. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. **International Agrophys**. v. 21, n. 4, p.349-359, 2007.

KUMAR, C.; JOADDER, M. U. H.; FARRELL, T. W.; MILLAR, G. J.; KARIM, M. A. A Mathematical Model for Intermittent Microwave Convective (IMCD) Drying of Food Materials, **Drying Technology**, v. 34, n. 8, p. 962-973, 2016.

LATORRES, J. M.; PAIVA, A. R.; GONZALES, B. A.; MELLADO, M. S. Isolado protéico de farinha de arroz: caracterização e propriedades funcionais. **Vetor**, v. 24, n. 1, p. 53- 65, 2014.

LEMOS, D. M.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M.F. Caracterização físico-química de sementes de noni. **Revista GEINTEC**, v. 5, n. 3, p. 2308- 2315, 2015.

LEWIS, W. K. The drying of solid materials. **Journal Industrial Engineering**, v. 13, p. 427-33, 1921.

LI, XD.; ZHENG, ZD.; LIU, M.; ZHU, SH.; WANG, M.; QU, L. Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. **Food Chemistry**. v. 136, n. (3-4), p.1429-1434, 2013.

LIMA A. G. B., NEBRA, S. A. Theoretical study of intermittent drying (tempering) in prolate spheroidal bodies. **Drying Technology**, v. 19, n. 8, p. 1569-1589, 2001.

LIMA, B. N. B.; TAVARES, M. I. B.; COSTA, A. M. M. Determination of the centesimal composition and characterization of flours from fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 151, n.15, p. 293-299, 2014.

LIMA, E. E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LIMA, W. A.; CONSTANT, P. B. L.; SANTOS, J. A. B.; CARNLELOSSI, M. A. G. Caracterização e armazenamento de farinhas obtidas a partir do resíduo de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Revista GEINTEC**, v. 3, n. 4, p. 109-120. 2013.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABURA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I. Fruit, vegetable and meat products. **Lebensm Wiss Technol**, v. 18, n. -, p. 111-117, 1985.

LOYPIMAI, P.; MOONGNGARM, A.; CHOTTANOM, P. Thermal and pH degradation kinetics of anthocyanins *in natural* food colorant prepared from black rice bran. **Journal of Food Science and Technology**. v. 53, n. 1, p. 461-470, 2016.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 109-119, 1996.

MAGALHÃES, C. N. A.; FERREIRA, I. A.; GOMES, M. G.; BORGES, S. S. Estudo de novas fontes minerais em produtos naturais, **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 85, n. 2, p. 61-63, 2004.

MALACRIDA, C. R.; ANGELO, P. M.; ANDREO, D.; JORGE, N. Composição química e potencial antioxidante de extratos de sementes de melão amarelo em óleo de soja, **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.4, p.372-376, 2007.

- MANSOURI, A.; MIRZABE, A. H.; RÁUFI, A. Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v. 16, n. 3, 218-226, 2017.
- MARTIN, S.; DONZELES, S. M. L.; SILVA, J. N.; ZANATTA, F. L.; CECON, P. R. Qualidade do café cereja descascado submetido a secagem contínua e intermitente, em secador de camada fixa. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. Especial Café, n. 11, p. 30-36, 2009.
- MATOS, E. N. V.; SAMPAIO, R. M.; PAULA, M. L. Determinação das isotermas de adsorção e do calor de sorção de farinha de babaçu comercial. **Caderno de Pesquisa**, v. 21, n. especial, p. 1-9, 2014.
- MELO, M. L. S., NARAIN, N., e BORA, P. S. Characterisation of some nutritional constituents of melon (*Cucumis melo* hybrid AF-522) seeds. **Food Chemistry**, v. 68, n. - , p. 411-414, 1999.
- MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. T. B.; ALMEIDA, F. A. C.; FERREIRA, R. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p.382-387, 2015.
- MENEGHETTI, V. L.; AOSANI, ELVIO; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF1, R. S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1115–1120, 2012.
- MIAN-HAO, H.; YANSONG, A. Characteristics of some nutritional composition of melon (*Cucumis melo* hybrid ‘ChunLi’) seeds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 42, n. 12, , 1397-1401, 2007.
- MICHEL, P. H.; PARUSSOLO, G.; BUSATTO, R. T.; SCHMITT, J.; SANTOS, L. F.; RIES, E. F.; ROSA, V. P. Produção de farinha de yacon em diferentes épocas do ano. **Blucher Food Science Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 329-330, 2014.
- MIRANDA, M. Z.; EL-DASH, A. Farinha integral de trigo germinado: características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.3, p.216-223, 2002.
- MOHSENIN, N.N. Physical proprieties of plant and animal materials, **New York: Gordon and Breach Science Publishers**, v. 67, n. 4, p. 734, 1978.

MONTROSS, J. E.; MONTROSS, M. D.; BAKKER-ARKEMA, F. W. Grain storage. In: BAKKER-ARKEMA, F. W. (ed.). **CIGR handbook of agricultural engineering**. St. Joseph: ASAE, v. 4, n. -, p. 46-59,1999.

MORA, C. F; KWAN, Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing, **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 3, p. 351-358, 2000.

MORAIS, S. J. S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 455-463, 2013.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; PRIETO, D. M.; TORRES, M. D. Water adsorption isotherms of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, n. 3, p. 1077–1082,2012.

MOURA, S.C.S.R.; BERBARI, S. A.; GERMER, S. P. M.; ALMEIDA, M. E. M.; FEFIM, D. A. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, p.141-148, 2007.

MOURA, F. A. de et al. Biscoitos tipo “cookie” elaborados com diferentes frações de semente de abóbora. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 4, p. 579-585, 2010.

MOURA, C. C.; PETER, N.; SCHUMACKER, B. O.; BORGES, L. R.; HELBIG, E. Biscoitos enriquecidos com farelo de linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.): valor nutritivo e aceitabilidade, **Demetra: alimentação, nutrição & saúde**, v. 9, n. 1, p. 71-81, 2014.

MUNSON-MCGEE, S.H. Moisture profiles during intermittent soaking of an oblate spheroid. **Journal of Food Engineering**, v. 125, n. 1, p.77-83. 2014.

NETO, A. F.; DANTAS, B. F.; ALMEIDA, F. A. C.; LIMA, M. S.; SILVA, F. F. S. influência da embalagem e do local de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de abóbora ‘jacarezinho’ (*Curcubita moschata* Duch), **Engenharia na agricultura**, v.22, n.4, 2014.

NUNES, J. A. S.; ORMOND, A. T.; CANEPPELE, C.; SILVA, S. L. S.; JOB, M. T. Determinação do ângulo de repouso, volume unitário, eixos ortogonais e esfericidade de trigo. **Acta Iguazu**, v.3, n.2, p. 77-86, 2014.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 471–479, 2009.

OGUNBUSOLA, E. M.; FAGBEMI, T. N.; OSUNDAHUNSI, O. F. Chemical and functional properties of full fat and defatted white melon (*cucumeropsis mannii*) seed flours. **Journal of Food Science and Engineering**, v. 2, n. 12, p. 691-696, 2012.

OLANIPEKUN, O. T.; OMENNA E. C.; OLAPADE O. A.; SULEIMAN, P.; OMODARA O. G. Effect of boiling and roasting on the nutrient composition of kidney beans seed flour. **Sky Journal of Food Science**, v, 4, n. 2, p. 024 - 029, 2015.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; SOUSA, K. A.; CAMPOS, R. C. Propriedades termodinâmicas de grãos de milho para diferentes teores de água de equilíbrio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.1, p.50-56, 2013.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; CAMPOS, R. C. Qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas a diferentes temperaturas na secagem artificial, **Global Science and Thechnology**, v.09, n.02, p. 25-34, 2016.

OLIVEIRA, D. E. C.; SANTOS, M. N. S.; RUFFATO, S. Forma e tamanho dos grãos de milho da cultivar p3646 submetidos a diferentes condições de ar de secagem, **Nativa**, v. 2, n. 3, p.162-165, 2014a.

OLIVEIRA, F. M.; BRUNI, G. P.; MORAIS, M. M.; SANTOS, R. B.; CREXI, V. T. Caracterização físico-química da semente de uva da variedade *cabernet sauvignon*. **Anais... XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis- SC**, 2014b.

OLIVEIRA, K. G.; QUEIROZ, V. A. V.; CARLOS, L. A.; CARDOSO, L. M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; ANUNCIACÃO, P. C.; MENEZES, C. B.; SILVA, E. C.; BARROS. F. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. **Food Chemistry**, v. 216, n. -, p. 390–398, 2017.

PAGANI, A. A. C.; SANTOS, J. Estudo da estabilidade físico-química de duas variedades de batata-doce (*ipomea batatas l.*) após o processo de secagem e durante o armazenamento. **Proceeding of ISTI**, v.8, n. 1, p.380-390, 2017.

PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of air drying of shelled corn in thin layers**, 1949. Thesis (Ph.D.) - Purdue University, Lafayette, 1949.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; O'DONNELL, C.; TIWARIB B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 1, p. 3-11, 2010.

PEREIRA, C. T. M.; SILVA, C. R. P.; LIMA, A.; PEREIRA, D. M.; COSTA, C. N.; CAVALCANTE NETO, A. A. Obtenção, caracterização físico-química e avaliação da capacidade antioxidante in vitro da farinha de resíduo de acerola (*Malpighia glabra* L.). **Acta tecnológica**, v. 8, n. 2, p. 50-56, 2013.

PETRY, V. J.; WEBER, P. E. Modelagem Matemática dos Processos de Transferência de Calor e Massa na secagem intermitente de Grãos de Soja, **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, v. 3, n. 1, 2015.

POLACHINI, T. C.; CARVALHO, G. R.; LOPES-FILHO, J. F.; TELIS-ROMERO, J. Efeito da umidade nas propriedades físicas de sementes de cevada brasileira. In. **XXXVII ENEMP – Congresso brasileiro de sistemas de particulados**, Universidade Federal de São Carlos- UFSCAR, São Carlos- SP, 6f, 2015.

PUTRANTO, A.; CHEN, X. D.; XIAO, Z.; WEBLEY, P. A. Mathematical modeling of intermittent and convective drying of rice and coffee using the reaction engineering approach (REA). **Journal of Food Engineering**. v. 105, n. 4, p. 638–646, 2011.

RANGABHASHIYAM, S. N.; ANU, M. S.; NANDAGOPAL, G. N. S. Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 398-414, 2014.

REIS, D. F.; FIGUEIREDO NETO, A.; FERRAZ, A. V. FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 20, e2015083, 2017.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2º Ed. 196f, São Paulo: Blucher, 2007.

SALEK, P. F.; SILVA, M. G. DA.; MORGANO, M. A.; GERMER, S. P. M.; FERRARI, C. C. Aproveitamento dos resíduos industriais do processamento de manga: estudo do processo de secagem e avaliação dos compostos bioativos. In: 10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC, Campinas, **Anais...** São Paulo, 2016.

SANTANA, E. B. **Análise experimental do comportamento fluidodinâmico e da secagem de sementes de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) em leito de jorro**, 143 f. 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará, PR, 2011.

SANTOS, A. A. O.; SANTOS, A. J. A. O.; SILVA, I. C. V.; LEITE, M. L. C.; SOARES, S. M.; MARCELLINI, P. S. Desenvolvimento de biscoitos de chocolate a partir da incorporação de fécula de mandioca e albedo de laranja, **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 3, p. 469-480, 2010.

SANTOS, A. A. O.; SILVA, I. V. C.; SANTOS, J. P. A.; SANTANA, D. G.; ALMEIDA, M. L.; MARCELLINI, P. S. Elaboração de biscoitos de chocolate com substituição parcial da farinha de trigo por polvilho azedo e farinha de albedo de laranja, **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 531-536, 2011.

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.223–231, 2013.

SANTOS, J. C. SILVA, G. F. SANTOS, J. A. B. OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. **Exacta**, v. 8, n. 2, p. 219-224, 2010.

SANTOS, F. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; LIMA, T. L. B.; LIMA, A. R. C.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização física de farinha de amêndoas de manga. **Anais... Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2018**, Maceió – AL, 21 a 24 de agosto de 2018.

SHIN, S.; BHOWMIK, S. R. Thermal kinetics of color changes in pea puree. **Journal of Food Engineering**, v.24, n.1, p.77-86, 1995.

SKREDE, G. et al. Color stability of strawberry and blackcurrant syrups. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 172-177, 1992.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; LACERDA FILHO, A. F. **Secagem e armazenagem de produtos agrícola, IN: Pré-processamento de produtos agrícolas**, Livro, 1995.

SILVA, D. F. P.; SILVA, J. O. C.; MATIAS, R. G. P.; RIBEIRO, M. R.; BRUCKNER, C.H. Correlação entre características quantitativas e qualitativas de frutos de pessegueiros na geração F2 cultivados em região subtropical. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 53-58, 2013.

SILVA, V.; FIGUEIREDO, A. R.; COSTA, J. J.; GUINÉ, R. P. F. Experimental and mathematical study of the discontinuous drying kinetics of pears. **Journal of Food Engineering**, v. 134, n. 1, p. 30–36, 2014.

SILVA, D. F. P.; SIQUEIRA, D. L.; PEREIRA, C. S.; SALOMÃO, L. C. C.; STRUIVING, T. B. Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na Zona da Mata mineira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 783-789, 2015.

SILVA, C. E. F.; GAMA, B. M. V.; OLIVEIRA, L. M. T. M.; ARAUJO, L. T.; ARAUJO, M. L.; OLIVEIRA JUNIOR A. M.; ABUD, A. K. S. Uso da laranja lima e seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos, **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 1, p. 69-96, 2016a.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S., **LS Optimizer**, Version 2.1 (2016b), online, available from world wide web: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/LS.htm>>, data do acesso: novembro/2017.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n. 39, p. 3733-3740, 2016c.

SILVA, J. V. A.; GOMES, F. A.; FREITAS, H. J.; BARBOSA, M. J. S. S.; SILVA, J. C. T. Níveis de inclusão da torta da semente de cupuaçu na dieta de frangos caipiras criados na Amazônia ocidental. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 20, n. 1, p. 1-7, 2017a.

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. C. A.; OLIVEIRA, E. N. A.; GOMES, J. P.; FEITOSA, R. M. Efeito da secagem solar sob a colorimetria das sementes de melão. **Anais...II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**, Anais, 6f, 2017b.

SILVA, W. P.; RODRIGUES, A. F.; SILVA, C. M. D. P. S.; GOMES, J. P. Numerical approach to describe continuous and intermittent drying including the tempering period: kinetics and spatial distribution of moisture. **Drying Technology**, v. 35, n. 3, p. 1-30, 2017c.

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. C. A.; FEITOSA, R. M.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. Entropia diferencial do pó do mix de batata yacon com suco de limão - calor isostérico de sorção. **Anais... Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2017**, - Belém – PA, 2017d.

SILVEIRA, M. L. R.; SANTOS, C. O.; PENNA, O. G.; SAUTTER, C. K.; ROSA, C. S.; BERTAGNOLLI, S. M. M. Aproveitamento tecnológico das sementes de goiaba (*Psidium guajava* L.) como farinha na elaboração de biscoitos. **CEPPA Bulletin**, v. 34, n. 2, 2016.

SOPADE, P. A.; AJISEGIRI, E. S. Moisture sorption study on nigerian foods: maize and sorghum. **Journal of Food Engineering**, Lleida, v.17, n.1, p.33-56, 1994.

SOUZA, G. G. Análise da semente de melão como farinha na elaboração de produtos, **Cadernos Unisuam**, v. 3, n. 1, p. 5, 2013.

SOUSA, R. V.; MATA, M. M. E. R. C.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; ROSA, M. E. C.; SOUSA, A. C. Influência do teor de água nas propriedades físicas dos grãos de arroz vermelho em casca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.18, n.Especial, p.495-502, 2016.

SOZZI, G.; RAMOS, D. S. Avaliação do ágio no preço da energia convencional no mercado brasileiro de contratos de curto prazo: metodologia e aplicação. **Revista Espaço Ciência**, v.22, p.24, 2015.

STATSOFT. **Statistica for Windows computer program manual**. Tulsa: StatSoft, 1995.

STORCK, C. R.; NUNESI, G. L.; OLIVEIRA, B. B.; BASSO, C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de comparações, **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, 2013.

TEIXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T.; SILVA, P. G. L. Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico da polpa e da casca do abacaxi (*Ananas comosus*). **Engevista**, v. 14, p. 172-184, 2012.

TEXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T.; ESPÍNDOLA, J. Z.; PEREIRA, R. G. Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico do bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p.555-566, 2015.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A.; QUAST, D. G. Reações de transformação e vida de prateleira de alimentos processados. **LIVRO**, 3. ed. Campinas: ITAL, 2004.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração do agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

THOMPSON, T. L.; PEARTT, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: a new model. **Transactions of the ASAE**, v. 11, n. 4, p. 582-589, 1968.

TRIGO, J. M.; ALBERTINI, S.; SPOTO, M. H. F.; SARMENTO, S. B. S. Efeito de revestimentos comestíveis na conservação de mamões minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 125-133, 2012.

TÜRKYILMAZ M.; ÖZKAN. M. Kinetics of anthocyanin degradation and polymeric colour formation in black carrot juice concentrates during storage. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 11, p. 2273-2281, 2012.

TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and Nutritional Properties of Spray-dried Pitaya Fruit Powder as Natural Colorant. **Food Sci. Biotechnol.**, v. 21, n. 3, p. 675-682, 2012

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010.

VALADARES, R. N.; FERREIRA, I. V. S.; SILVA, A. F. A.; ROCHA, F. A. T.; SANTOS, P. R.; NASCIMENTO, F. B.; MELO, R. A. Correlação entre caracteres morfológicos de melão caxi. In. **XIII Jornada de ensino**, pesquisa e extensão – JEPEX 2013 – UFRPE: Recife, 09 a 13 de dezembro, 2013.

VERMA, L. R.; BUCKLIN, R. A.; ENDAN, J. B.; WRATTEN, F. T. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 1, p. 296-301, 1985.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, New York, v.14, n.1, p.269-287, 1991.

YANG, Z.; ZHU, E.; ZHU, Z.; WANG, J.; LI, S. A Comparative study on intermittent heat pump drying process of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.ssp) seeds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 381-388, 2013.

YANTY, N.A.M.; LAI, O.M.; OSMAN, A.; LONG, K.; GHAZALI, H.M. Physicochemical properties of *Cucumis melo* var. inodorus (honeydew melon) seed and seed oil. **Journal Food Lipids**, v. 15, n. 1, p. 42-55, 2008.

ZHU, Z.; YANG, Z.; WANG, F. Experimental research on intermittent heat pump drying with constant and time-variant intermittency ratio. **Drying Technology**, v. 34, n. 13, p. 1630-1640, 2016.

Apêndice

1- Dados experimentais das cinéticas de secagem contínua e intermitentes

Na Tabela 1 estão apresentados os valores da razão de umidade calculada com os valores de umidade em b.s. e o tempo da secagem contínua, realizada nas sementes de melão neve a temperatura de 60 °C com velocidade do ar de secagem a $1 \pm 0,2 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 1 – Tempo de secagem contínua e razão de umidade das sementes de melão neve secas a 60 °C com velocidade do ar de secagem a $1 \pm 0,2 \text{ m s}^{-1}$.

Tempo (min)	Razão de umidade
0	1,0000
2	0,7952
4	0,6854
6	0,6077
8	0,5410
10	0,4848
13	0,3969
16	0,3314
20	0,2561
25	0,1756
30	0,1187
35	0,0813
40	0,0580
50	0,0353
60	0,0251
70	0,0186
85	0,0134
100	0,0095
120	0,0070
140	0,0050
160	0,0031
180	0,0023
210	0,0007
240	0,0002
270	0,0000

Na Tabela 2 estão apresentados os valores experimentais da média da razão de umidade obtida através da secagem intermitente, com in = 10 min e out = 20 min, da semente de melão neve, e o tempo de secagem do experimento, geral (soma do tempo) e o individual in e out.

Tabela 2 - Tempo de secagem intermitente com in = 10 min e out = 20 min e razão de umidade das sementes de melão neve secas a 60 °C com velocidade do ar de secagem a $1 \pm 0,2 \text{ m s}^{-1}$.

Experimento	Tempo (min)		Razão de umidade (adimensional)
	Geral	Individual	
0	0	0	1,0000
2	2	2	0,8809
4	4	4	0,7902
6	6	6	0,7016
8	8	8	0,6231
10	10	10	0,5564
5	15	5	0,5477
10	20	10	0,5456
15	25	15	0,5440
20	30	20	0,5418
2	32	12	0,4615
4	34	14	0,4072
6	36	16	0,3677
8	38	18	0,3251
10	40	20	0,2923
5	45	25	0,2884
10	50	30	0,2869
15	55	35	0,2854
20	60	40	0,2833
2	62	22	0,2234
4	64	24	0,1929
6	66	26	0,1650
8	68	28	0,1458
10	70	30	0,1278
5	75	45	0,1281
10	80	50	0,1283
15	85	55	0,1276
20	90	60	0,1263
2	92	32	0,0899
4	94	34	0,0758
6	96	36	0,0643
8	98	38	0,0562
10	100	40	0,0490
5	105	65	0,0537
10	110	70	0,0560
15	115	75	0,0565
20	120	80	0,0569
2,5	122,5	42,5	0,0365
5	125	45	0,0304

7,5	127,5	47,5	0,0251
10	130	50	0,0224
10	140	90	0,0302
20	150	100	0,0327
5	155	55	0,0160
10	160	60	0,0120
10	170	110	0,0203
20	180	120	0,0225
5	185	65	0,0105
10	190	70	0,0075
10	200	130	0,0153
20	210	140	0,0185
5	215	75	0,0079
10	220	80	0,0060
10	230	150	0,0137
20	240	160	0,0168
5	245	85	0,0060
10	250	90	0,0044
10	260	170	0,0121
20	270	180	0,0150
5	275	95	0,0051
10	280	100	0,0036
10	290	190	0,0110
20	300	200	0,0138
5	305	105	0,0035
10	310	110	0,0022
10	320	210	0,0092
20	330	220	0,0121
5	335	115	0,0024
10	340	120	0,0009
10	350	230	0,0085
20	360	240	0,0105
5	365	125	0,0020
10	370	130	0,0003
10	380	250	0,0069
20	390	260	0,0099
5	395	135	0,0013
10	400	140	0,0001
10	410	270	0,0080
20	420	280	0,0112
5	425	145	0,0011
10	430	150	0,0000

Na Tabela 3 estão apresentados os valores experimentais da média da razão de umidade obtida através da secagem intermitente, com in = 20 min e out = 40 min, da semente de melão neve, e o tempo de secagem do experimento, geral (soma do tempo) e o individual in e out.

Tabela 3 - Tempo de secagem intermitente com in = 20 min e out = 40 min e razão de umidade das sementes de melão neve secas a 60 °C com velocidade do ar de secagem a $1 \pm 0,2 \text{ m s}^{-1}$.

Experimento	Tempo (min)		Razão de umidade (adimensional)
	Geral	Individual	
0	0	0	1,0000
2	2	2	0,8708
4	4	4	0,7708
6	6	6	0,6830
8	8	8	0,6073
10	10	10	0,5391
12	12	12	0,4820
14	14	14	0,4290
16	16	16	0,3821
18	18	18	0,3365
20	20	20	0,3022
5	25	5	0,2964
10	30	10	0,2942
15	35	15	0,2922
20	40	20	0,2897
25	45	25	0,2872
30	50	30	0,2847
35	55	35	0,2821
40	60	40	0,2806
2	62	22	0,2156
4	64	24	0,1833
6	66	26	0,1585
8	68	28	0,1381
10	70	30	0,1195
12	72	32	0,1026
14	74	34	0,0909
16	76	36	0,0794
18	78	38	0,0692
20	80	40	0,0611
5	85	45	0,0650
10	90	50	0,0662
15	95	55	0,0668
20	100	60	0,0672
25	105	65	0,0671
30	110	70	0,0664
35	115	75	0,0660
40	120	80	0,0657
2	122	42	0,0406
4	124	44	0,0322

6	126	46	0,0284
8	128	48	0,0251
10	130	50	0,0230
12	132	52	0,0211
14	134	54	0,0195
16	136	56	0,0179
18	138	58	0,0168
20	140	60	0,0155
10	150	90	0,0237
20	160	100	0,0270
30	170	110	0,0288
40	180	120	0,0298
5	185	65	0,0126
10	190	70	0,0099
15	195	75	0,0081
20	200	80	0,0074
10	210	130	0,0147
20	220	140	0,0180
30	230	150	0,0200
40	240	160	0,0214
5	245	85	0,0077
10	250	90	0,0192
15	255	95	0,0047
20	260	100	0,0042
10	270	170	0,0111
20	280	180	0,0144
30	290	190	0,0165
40	300	200	0,0180
5	305	105	0,0047
10	310	110	0,0031
15	315	115	0,0028
20	320	120	0,0019
10	330	210	0,0099
20	340	220	0,0129
30	350	230	0,0150
40	360	240	0,0155
5	365	125	0,0037
10	370	130	0,0017
15	375	135	0,0012
20	380	140	0,0007
10	390	250	0,0080
20	400	260	0,0112
30	410	270	0,0125
40	420	280	0,0141
5	425	145	0,0026
10	430	150	0,0008
15	435	155	0,0004
20	440	160	0,0000

2- Dados experimentais das isotermas de adsorção de água

Nas Tabelas 4 estão apresentados os dados experimentais coletados da atividade de água e umidade, que possibilitaram obter as curvas de isotermas na temperatura de 20, 30 e 40 °C do experimento 1.

Tabela 4 – Dados de aw e umidade b.s. das farinhas de melão neve produzidas a partir do experimento 1.

20 °C		30 °C		40 °C	
Aw	U. (b. s., %)	Aw	U. (b. s., %)	Aw	U. (b. s., %)
0,206	1,630509	0,281	2,070965	0,1685	1,940708
0,311	2,911824	0,34	2,844125	0,2255	2,798522
0,3885	3,528867	0,277	2,526981	0,302	3,542701
0,402	3,764531	0,3645	3,660181	0,388	4,877826
0,444	4,284942	0,4235	4,375853	0,443	5,367846
0,5075	4,926716	0,465	4,972973	0,514	5,920196
0,5405	5,433057	0,503	5,597706	0,572	6,787766
0,5965	6,193961	0,5475	6,370664	0,6285	7,671601
0,6415	6,991147	0,581	7,056982	0,675	8,608478
0,664	7,599424	0,641	8,169939	0,71	9,481657
0,698	8,264409	0,6845	8,970471	0,747	10,35438
0,7295	8,80874	0,708	10,02746	0,7835	11,74352
0,7565	9,897553	0,7585	11,03993	0,8065	13,10067
0,808	11,16795	0,7955	12,41618	0,865	15,6566
0,8365	12,54504	0,829	13,94645	0,9385	23,80952
0,9305	19,44254	0,901	25,6144		

Nas Tabelas 5 estão apresentados os dados experimentais coletados da atividade de água e umidade, que possibilitaram obter as curvas de isotermas na temperatura de 20, 30 e 40 °C do experimento 1.

Tabela 5 – Dados de aw e umidade b.s. das farinhas de melão neve produzidas a partir do experimento 1.

20 °C		30 °C		40 °C	
Aw	U. (b. s., %)	Aw	U. (b. s., %)	Aw	U. (b. s., %)
0,184	0,35702	0,281	2,070965	0,257	2,097478
0,292	1,81943	0,34	2,844125	0,334	4,163158
0,285	2,66392	0,38	3,306641	0,443	5,43873
0,347	3,192585	0,457	4,54922	0,4935	3,961173
0,389	3,824236	0,486	4,977219	0,535	3,758199
0,469	4,833505	0,515	5,563993	0,5685	4,822334
0,53	5,602472	0,535	6,205992	0,6055	5,398634
0,582	6,316512	0,579	7,110313	0,631	5,353661
0,621	6,913835	0,596	7,779925	0,672	6,711516
0,669	7,552352	0,65	9,063924	0,707	7,434779
0,702	8,293855	0,709	10,01657	0,728	8,078929
0,723	8,836251	0,702	11,05895	0,76	8,884614
0,81	9,872983	0,764	12,07373	0,78	9,850873
0,826	10,66255	0,797	13,44747	0,7865	9,907491
0,843	11,28047	0,812	14,29656	0,8165	10,7618
0,849	11,87779	0,887	20,96507	0,837	11,98472
0,921	19,76872	0,946	24,07344	0,855	12,57113
				0,907	16,51916
				0,937	19,89012

3 – Calor isostérico

Tabela 6 - Valores do calor isostérico líquido e integral de sorção para diferentes teores de umidade de equilíbrio (% b. s.), experimento 1.

Teor de umidade de equilíbrio (% b.s.)	Equação da reta	Coefficiente angular	Calor isostérico líquido (kj/kg)	Calor isostérico integral (kj/kg)
2,6142	$y = 5,9299 - 2076,6403*x$	2076,6403	959,20	3389,7
3,5109	$y = 3,2365 - 1215,6121*x$	1215,6121	561,50	2992
4,5383	$y = 3,4833 - 1167,3469*x$	1167,3469	539,20	2969,7
5,2059	$y = 2,3789 - 1083,805*x$	1083,805	500,61	2931,11
5,5258	$y = 1,8543 - 1010,8709*x$	1010,8709	466,92	2897,42
6,3090	$y = 2,3806 - 904,5367*x$	904,5367	417,8	2848,3
7,6837	$y = 2,3138 - 798,8097*x$	798,8097	368,97	2799,47
8,0676	$y = 2,1698 - 785,9263*x$	785,9263	363,02	2793,52
8,8929	$y = 2,2247 - 759,7434*x$	759,7434	350,92	2781,42
9,6322	$y = 1,9589 - 734,6082*x$	734,6082	339,31	2769,81
10,3233	$y = 1,6775 - 706,3393*x$	706,3393	326,26	2756,76
11,3582	$y = 1,4426 - 505,5524*x$	505,5524	233,51	2664,01
12,7591	$y = 0,3821 - 266,8294*x$	266,8294	123,24	2553,74
13,6466	$y = 0,5172 - 181,036*x$	181,036	83,62	2514,12
18,6062	$y = 0,164 - 100,4054*x$	100,4054	46,38	2476,88

Tabela 7. Valores do calor isostérico líquido e integral de sorção para diferentes teores de umidade de equilíbrio (b.s., %), das farinhas obtidas através das secagens das sementes de melão neve na temperatura de 60 °C e velocidade do ar a 1 m s⁻¹. Experimento 3

Teor de umidade de equilíbrio (% b.s.)	Equação da reta	Coefficiente angular	Calor isostérico líquido (kJ kg ⁻¹)	Calor isostérico integral (kJ kg ⁻¹)
2,00	$y = 6,9795 - 2546,6124*x$	2546,61	1176,28	3606,78
2,48	$y = 4,9547 - 1886,9976*x$	1887,00	871,60	3302,1
3,17	$y = 2,4134 - 1056,5671*x$	1056,57	488,03	2918,53
4,20	$y = 1,5614 - 743,0111*x$	743,01	343,20	2773,7
4,72	$y = 1,9107 - 660,4575*x$	660,46	305,07	2735,57
5,44	$y = 1,4656 - 576,4979*x$	576,50	266,28	2696,78
6,20	$y = 0,6424 - 426,1388*x$	426,14	196,83	2627,33
7,03	$y = 0,9726 - 408,4269*x$	408,43	188,65	2619,15
7,76	$y = 0,7085 - 388,8539*x$	388,85	179,61	2610,11
8,70	$y = 0,7564 - 379,3245*x$	379,32	175,21	2605,71
9,55	$y = 0,9617 - 359,5396*x$	359,54	166,07	2596,57
10,54	$y = 0,4686 - 238,8942*x$	238,89	110,34	2540,84
11,68	$y = 0,5193 - 200,5786*x$	200,58	92,65	2523,15
13,25	$y = 0,372 - 171,0083*x$	171,01	78,99	2509,49
16,46	$y = -0,1948 - 139,2991*x$	139,30	64,34	2494,84
21,92	$y = 0,3404 - 123,4352*x$	123,43	57,01	2487,51

4 – Armazenamento

Na Figura 1 e 2 estão apresentados os dados meteorológicos durante o armazenamento das farinhas.

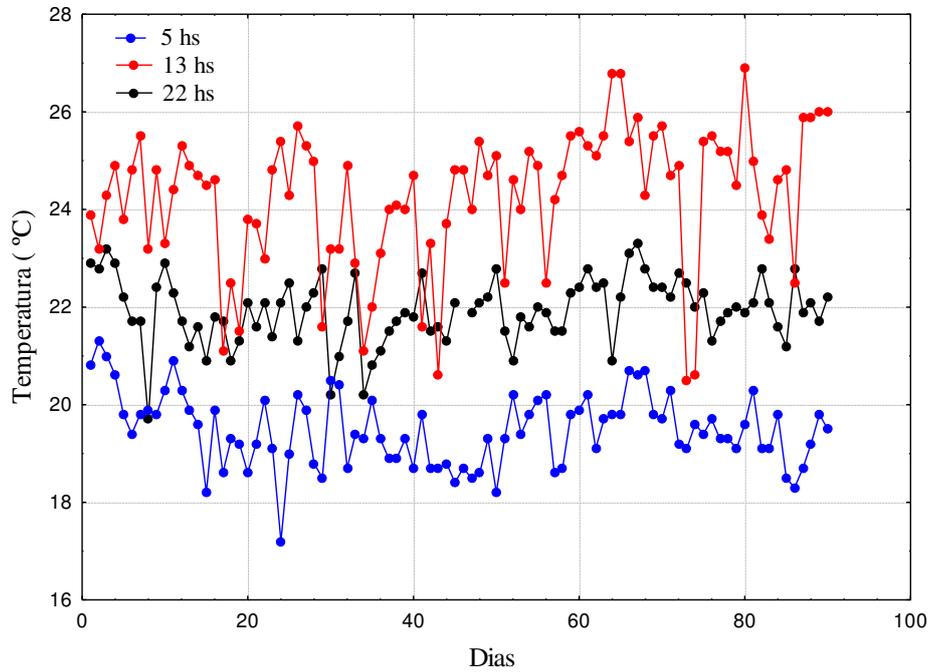


Figura 1 – Comportamento da temperatura durante os 90 dias de armazenamento segundo o INMET

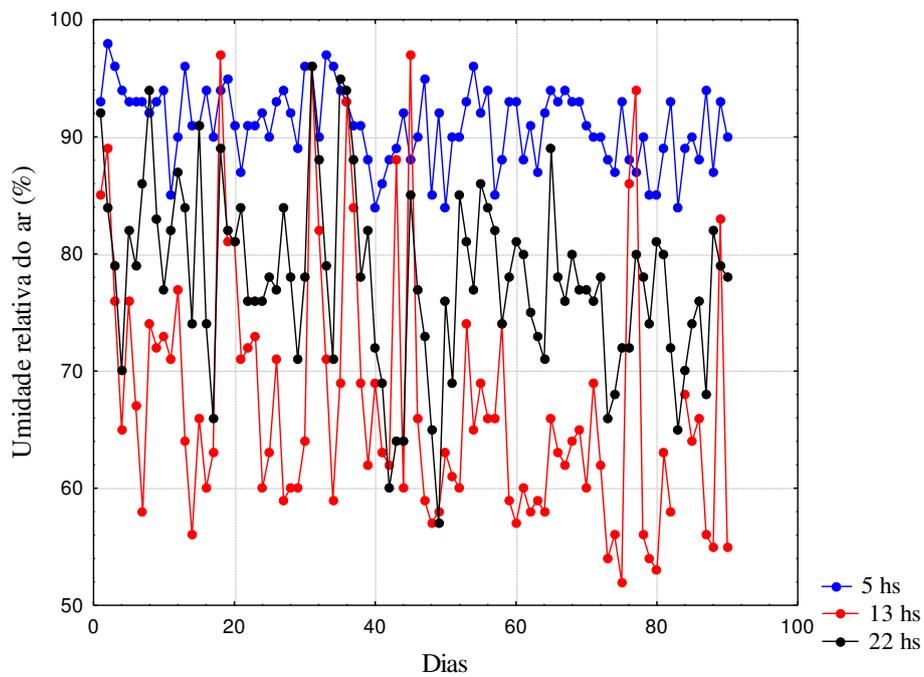


Figura 2 - Comportamento da umidade durante os 90 dias de armazenamento segundo o INMET

Anexos

LS Optimizer: File menu

(Manual de utilização)

LS Optimizer software is used to determine parameters of differential equations through known experimental data. The user must provide a solver for the differential equation supposing known parameters, as well as an experimental dataset. Thus, **LS Optimizer** uses the least squares method (Levenberg-Marquardt algorithm) to determine the parameters of a given differential equation, including the covariance matrix: uncertainties of the parameters and covariance between them.

In order to perform an optimization process, three files must be placed together as is shown in Figure 1:

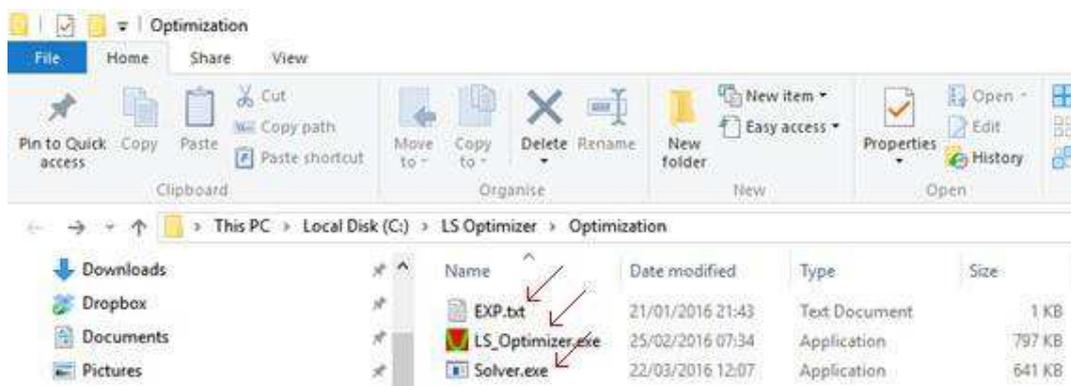


Figure 1 – Files that must be placed together within the directory “**Optimization**”.

The file “**exp.txt**” contains the experimental dataset (minimum 6 and maximum 97 points) as will be shown ahead. “**LS Optimizer.exe**” is the executable file of the software presented here, while “**solver.exe**” is a file that must be provided by the user. This solver should solve the differential equation for values of the parameters a_1 , a_2 , a_3 and a_4 specified by **LS Optimizer**. In order to access the directory that contains the three files, the user must click on the menu item **Place “Solver.exe” Within the Directory** or **Place “Exp.txt” Within the Directory** and these options are available at the **File menu** shown in Figure 2.

When an optimization process is performed, the last results are deleted. Thus, **LS Optimizer** provides the menu item **Open Directory With Last Results** (Figure 2) enabling the user to save such results before a new optimization process is started.

Since the files “**solver.exe**” and “**exp.txt**” are provided by the user, it is enough a click on the menu item **Determine Parameters: Optimize** (as shown in Figure 2) to perform an optimization process.

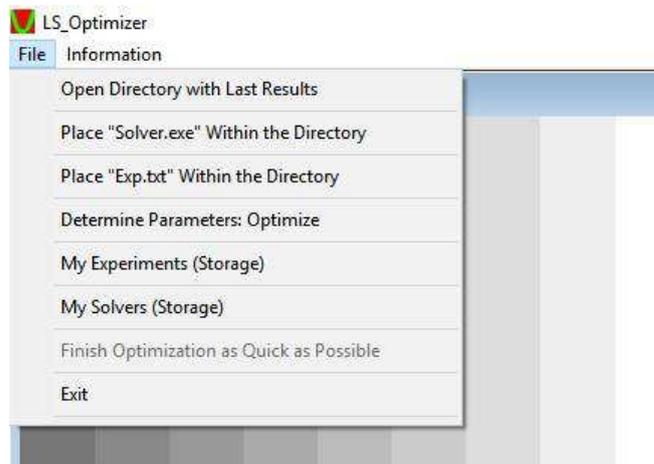


Figure 2 – File menu.

When a click is given in the menu item **Determine Parameters: Optimize**, the user receives a warning that the last results will be lost. After that, a dialog box is provided as shown in Figure 3.

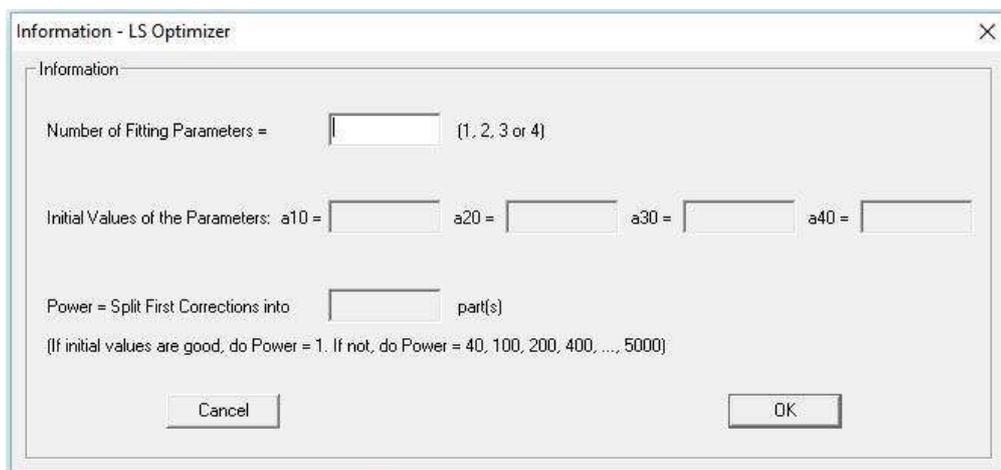


Figure 3 – Dialog box with information about the optimization process.

After each information is provided in the dialog box, with a click on OK button, the optimization process is started.

LS Optimizer: Creating the solver

In order to use the **LS Optimizer** software, it is necessary to perform some changes in the original source code related to the numerical solution of the differential equation (solver). At the beginning of the program, after definitions of variable types, two files must be read.

The first file, containing the experimental dataset, should be named as “**exp.txt**” and should be read by the solver to identify the values of the independent variable (for example, time), in which the dependent variable will be obtained by simulation (for instance, average moisture content). Figure 4 presents an example file “**exp.txt**”. In this figure, the first column shows the values of the independent variable; second column involves the measured values for the dependent variable and the third column contains the value of the statistical weight for each value of the dependent variable. If the statistical weights are not available, as in the file shown in Figure 4, the value equal to 1 must be assigned, indicating that all measures have the same weight.

The file “**parameters.txt**” is generated by **LS Optimizer** software with information that must be read and used by the solver of the differential equation. An example file “**parameters.txt**” can be seen in Figure 5. The first value will be read by the solver as an integer variable called “information”. The second value provided by the **LS Optimizer** software will be read by the solver as an integer variable called “N_Param” that indicates the number of parameters involved in the solution of the differential equation. Finally, the third information is related to the values established

by the **LS Optimizer** software for the parameters (a_1 , a_2 , a_3 and a_4).

The first value of the file “**parameters.txt**” can be 0, 1, 2, 3 and 4. When the value is 0, the solver must store the simulation results (independent variable and dependent variable, in two columns) in a file called “unsteady.txt”. If the value is 1, the simulation results must be written in a file called “unsteady_a1.txt”. If the value is 2, the simulation results must be written in a file called “unsteady_a2.txt”. Also, for the values 3 and 4, the files must be named “unsteady_a3.txt” and “unsteady_a4.txt”, respectively.



Figure 4 – Example file “**exp.txt**” with experimental dataset to be provided by the user.

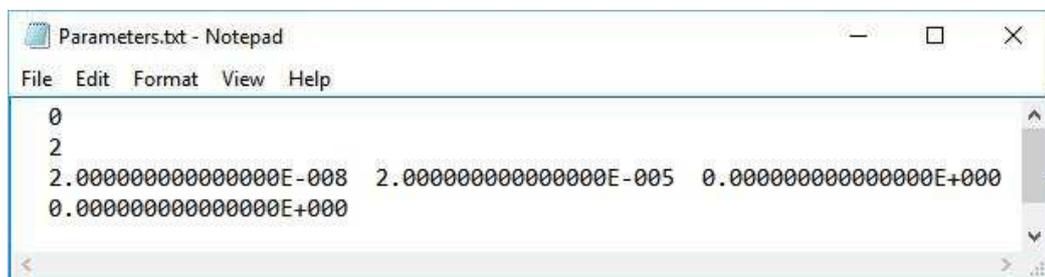


Figure 5 – Example file “**Parameters.txt**”, provided by **LS Optimizer** software, to be used by the solver created by user.

The solver to be handled by **LS Optimizer** can be created in any programming language. In the case of FORTRAN (QuickWin Application), the changes at the beginning of the original source code, aiming read the files “**exp.txt**” and “**parameters.txt**” can be made as indicated in Figure 6.

```

program solver
use DFLIB ← TO BE ADDED

Types and definitions of variables ← TO BE ADDED

LOGICAL(4) result
TYPE (qwinfo) winfo
double precision time(100), a1, a2, a3, a4
integer icont_, info_, N_Param, information

i = setexitqq(QWIN$EXITNOPERERSIST) !the program is closed at the finish
! Minimize frame window
winfo%TYPE = QWIN$MIN
result = SETWSIZEQQ(QWIN$FRAMEWINDOW, winfo)

icont_ = 0
info_ = 0
open(unit = 5, file = 'exp.txt')
do while (info_ == 0)
  if(info_ == 0) icont_ = icont_ + 1
  read(5,*, iostat = info_) time(icont_)
end do
close(5) ← READ EXPERIMENTAL TIMES

open(unit = 5, file = 'parameters.txt')
read(5, *) information !unsteady.txt, unsteady_a1.txt, unsteady_a2.txt, unsteady_a3.txt, unsteady_a4.txt
read(5, *) N_Param !number of parameters provide by optimizer
read(5, *) a1, a2, a3, a4 !parameters provide by optimizer
close(5) ← READ INFORMATION PROVIDED BY OPTIMIZER

```

Figure 6 – Modifications at the beginning of the original source code of the solver to read the files “exp.txt” and “parameters.txt”.

An example for the three-dimensional analytical solution of the diffusion equation with boundary condition of the first kind, in Cartesian coordinates, is available in ...LS Optimizer\Solvers\Analytical Example\Analytical.f90.

One should remember that the simulation results are stored in files with up to 5 different names, depending on the value of the variable “information”. Thus, when the results are obtained by the solver (independent variable, dependent variable, in columns), such results should be written in the previously specified files (unsteady.txt, unsteady_a1.txt, unsteady_a2.txt, unsteady_a3.txt, unsteady_a4.txt). On the other hand, in the source code, the dependent variable should be calculated for the same values of the independent variable specified in the experimental dataset (“exp.txt”), and then written in the files specified above. Thus, before the loop (in which the dependent variable is calculated), should be added to the original source code the commands as shown in Figure 7, for the case of code in FORTRAN:

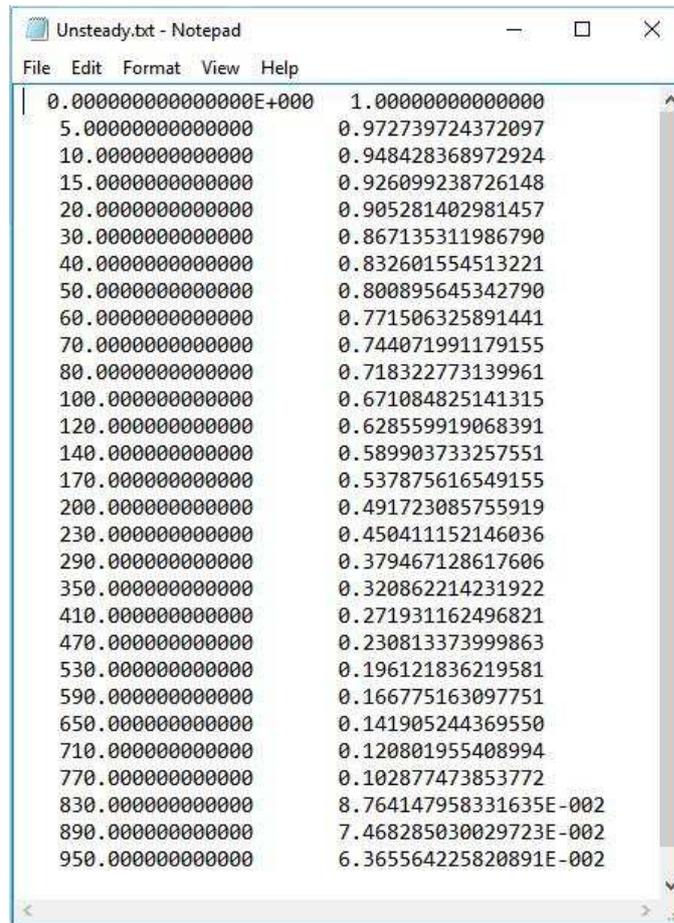
```

if(information == 0) open(unit = 10, file = 'Unsteady.txt')
if(information == 1) open(unit = 10, file = 'Unsteady_a1.txt')
if(information == 2) open(unit = 10, file = 'Unsteady_a2.txt')
if(information == 3) open(unit = 10, file = 'Unsteady_a3.txt')
if(information == 4) open(unit = 10, file = 'Unsteady_a4.txt')

```

Figure 7 – This code must be added to open a file with the name expected by **LS Optimizer** before the loop that calculates the dependent variable corresponding to each value of the independent variable.

The file “**unsteady.txt**” generated by the solver (as well as the files unsteady_a1.txt, unsteady_a2.txt, unsteady_a3.txt, unsteady_a4.txt) has the appearance as is shown in Figure 8.



```
Unsteady.txt - Notepad
File Edit Format View Help
0.0000000000000000E+000 1.0000000000000000
5.0000000000000000 0.972739724372097
10.0000000000000000 0.948428368972924
15.0000000000000000 0.926099238726148
20.0000000000000000 0.905281402981457
30.0000000000000000 0.867135311986790
40.0000000000000000 0.832601554513221
50.0000000000000000 0.800895645342790
60.0000000000000000 0.771506325891441
70.0000000000000000 0.744071991179155
80.0000000000000000 0.718322773139961
100.0000000000000000 0.671084825141315
120.0000000000000000 0.628559919068391
140.0000000000000000 0.589903733257551
170.0000000000000000 0.537875616549155
200.0000000000000000 0.491723085755919
230.0000000000000000 0.450411152146036
290.0000000000000000 0.379467128617606
350.0000000000000000 0.320862214231922
410.0000000000000000 0.271931162496821
470.0000000000000000 0.230813373999863
530.0000000000000000 0.196121836219581
590.0000000000000000 0.166775163097751
650.0000000000000000 0.141905244369550
710.0000000000000000 0.120801955408994
770.0000000000000000 0.102877473853772
830.0000000000000000 8.764147958331635E-002
890.0000000000000000 7.468285030029723E-002
950.0000000000000000 6.365564225820891E-002
```

Figure 8 – File named “**Unsteady.txt**” generated by the solver and used for calculations in **LS Optimizer**.

The file shown in Figure 8, as well as the files `unsteady_a1.txt`, `unsteady_a2.txt`, `unsteady_a3.txt`, `unsteady_a4.txt`, are used by **LS Optimizer** to calculate the chi-squares and sensitivities related to each fitting parameter (a_1 , a_2 , a_3 and a_4).

Important: Be sure your solver is capable to determine the dependent variable for **any value** to be specified for the independent variable in the file “`exp.txt`”.

An example using “`solver.exe`” and “`exp.txt`” available in **LS Optimizer**

- 1) At File menu click on the menu item **My Experiments (Storage)**.
- 2) Select the file “**Exp_Numerical.txt**” and copy it. After that, close the directory “**Experiments**”.
- 3) At File menu click on the menu item **Place “Exp.txt” Within the Directory**. In the directory “**Optimization**”, delete current file “`exp.txt`” and paste the file “**Exp_Numerical.txt**”. After that, rename “**Exp_Numerical.txt**” to “**Exp.txt**”.
- 4) At File menu click on the menu item **My Solvers (Storage)**.
- 5) In **Numerical Examples**, select the file “**Solver_2Param.exe**” and copy it. After that, close the directory “**Solvers**”.
- 6) At File menu click on the menu item **Place “Solver.exe” Within the Directory**. In the directory “**Optimization**”, delete current file “**Solver.exe**” and paste the file “**Solver_2Param.exe**”. After that, rename “**Solver_2Param.exe**” to “**Solver.exe**”.

The “**Optimization**” directory contains the three desired files, as is shown in Figure 1. In this example, the solver contains the numerical solution of the diffusion equation in Cartesian coordinates for a parallelepiped with boundary

7) condition of the third kind (grid with 30x30x50; 1900 time steps). This solution uses the Finite Volume Method (fully implicit formulation) and enables to simulate drying of mango slices, including shrinkage. The parameter a_1 is the effective mass diffusivity and the parameter a_2 is the convective mass transfer coefficient, considered in this example as a constant value. The file “**exp.txt**” contains experimental data related to the average

moisture ratio (\bar{M}) along time (t).

8) Close the “**Optimization**” directory and, at File menu, click on the menu item **Determine Parameters: Optimize**. With respect to the message box question, answer “**NO**” and provide the information required by dialog box that appears (Figure 9).

9)

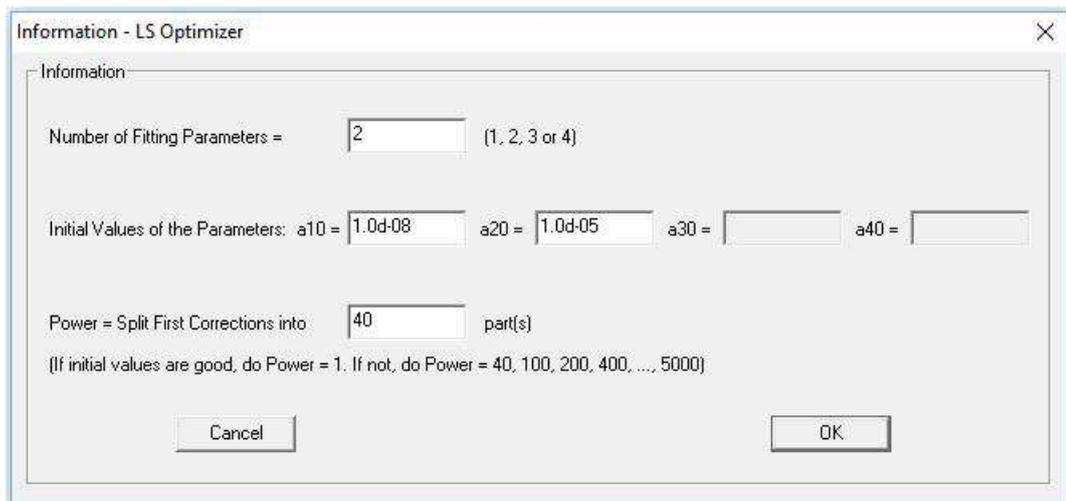


Figure 9 – The effective mass diffusivity a_{10} is given in $\text{m}^2 \text{min}^{-1}$ and the convective mass transfer coefficient a_{20} is given in m min^{-1} .

Notes: a) The other solver available in the directory “**Solvers**”, named **Solver_3Param.exe**, solves the same problem considering variable effective mass diffusivity: $a_1 \exp(a_2 M)$, where M is the local moisture ratio. The convective mass transfer coefficient is a_3 . Typical initial values for the parameters are: $a_{10} = 1.0\text{d-}09$; $a_{20} = 2.0\text{d+}00$ and $a_{30} = 1.0\text{d-}05$, for time given in minutes and length in meters.

b) Diffusion in a parallelepiped was also solved analytically for boundary condition of the first kind, and the source code in FORTRAN (QuickWin

Application) is available in the directory “Solvers”. The executable file is also available (directory “Solvers”), as well as the experimental dataset of water quantity during osmotic dehydration of mango (directory “Experiments”, EXP_Analytical.txt). Typical initial values for the effective mass diffusivity (parameter a_{10}) is $1.0\text{d-}09 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

- 10) For the problem defined with two parameters (Figure 9), after several minutes (or few hours), and 38 iterations, the results are presented through three files. The first file is named “**Results.txt**”, showing the history of the optimization process, values of the parameters, uncertainties and the covariance matrix, among other results. In order to access file “**Results.txt**” (and the two other files), click on the menu item **Open Directory With Last Results** (Figure 2). The other two files are shown in Figure 10.

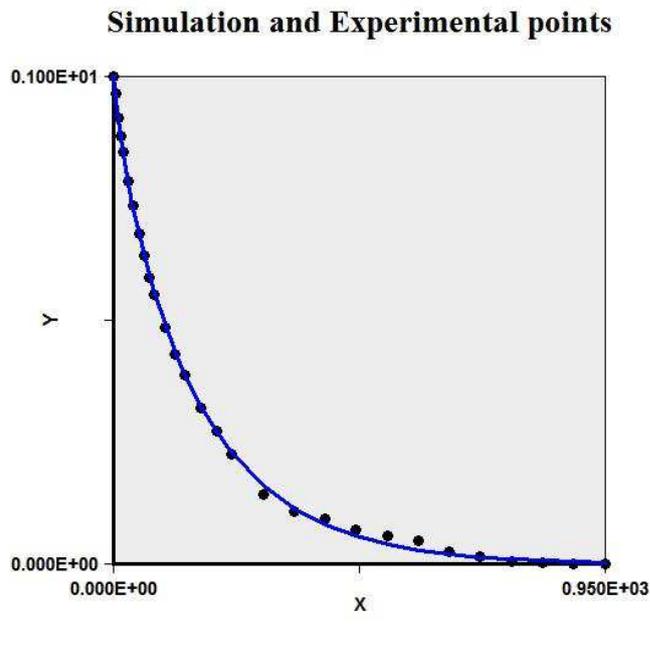
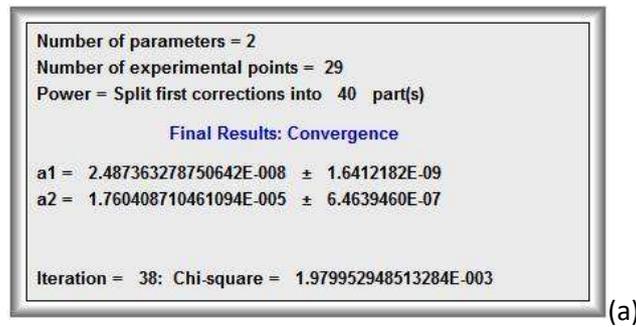


Figure 10 – (a) Main results; (b) Drying kinetics and experimental data: The continue line is obtained by simulation using the values of the optimum parameters determined by **LS Optimizer** to calculate the dependent variable at the same values of the

independent variable available in the file “**exp.txt**”.

Notes about the user solver

- 1) The user solver must read the file “**exp.txt**” as it is shown in Figure 4.
- 2) The user solver must read the file “**Parameters.txt**” as it is shown in Figure 5.
- 3) The user solver must generate a file in columns with independent variable (same values shown in file “**exp.txt**”) and correspondent dependent variable calculated by simulation using the values stipulated by the file “**Parameters.txt**” for parameters a_1 , a_2 , a_3 and a_4 , as is shown in the last line of Figure 5.
- 4) The name of the file generated in previous item 3 must be:

“unsteady.txt”, or “unsteady_a1.txt”, or “unsteady_a2.txt”, or “unsteady_a3.txt”,
or “unsteady_a4.txt”,

if the value provided in the first line of the file “**Parameters.txt**” (Figure 5) is 0,
or 1, or 2, or 3, or 4, respectively.
- 5) Be sure your solver is capable to determine the dependent variable for **any value** to be specified for the independent variable in the file “exp.txt”.