



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

WALLAF COSTA VIMERCATI

**ELABORAÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-
QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS**

ALEGRE - ES
JULHO - 2018

WALLAF COSTA VIMERCATI

**ELABORAÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-
QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Luciano José Quintão Teixeira
Coorientador: Prof. Antonio Manoel Maradini Filho
Coorientador: Prof. Sérgio Henriques Saraiva

ALEGRE – ES

JULHO - 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

V764e Vimercati, Wallaf Costa, 1993-
Elaboração, cinética de secagem e caracterização físico-química e
tecnológica de massas alimentícias / Wallaf Costa Vimercati. – 2018.
111 f. : il.

Orientador: Luciano José Quintão Teixeira.

Coorientadores: Antonio Manoel Maradini Filho ; Sérgio Henriques
Saraiva.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Culinária (Massas). 2. Cor dos alimentos. 3. Alimentos - Desidratação.
4. Paladar. I. Teixeira, Luciano José Quintão. II. Maradini Filho, Antonio
Manuel. III. Saraiva, Sérgio Henriques. III. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

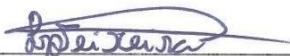
CDU: 664

WALLAF COSTA VIMERCATI

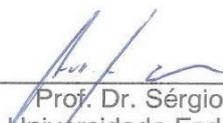
**ELABORAÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-
QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em 13 de julho de 2018.



Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador



Prof. Dr. Antonio Manoel Maradini Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por toda força, sabedoria, paciência e por me auxiliar em todos os momentos da minha vida, sendo meu escudo e proteção e me ajudando em mais essa conquista.

Aos meus pais, Osvaldo e Luciene, e meu irmão, Thyago, que não mediram esforços para me ajudar, pelos conselhos, orações, paciência e por todo apoio possível.

Aos meus avós, Olivia e Hélio por torcerem sempre pelo meu sucesso, por me animarem quando estive cansado e por todas as alegrias compartilhadas. E aos meus avós, Priminho e Nely, que estão no céu junto de Deus, mas tenho certeza que sempre intercedem por mim.

Ao meu orientador, Luciano José Quintão Teixeira, pela paciência, pelos conselhos e compreensão durante esses dois anos.

Aos meus coorientadores, Antonio Maradini e Sérgio, pelos valiosos ensinamentos, atenção e por sempre estarem à disposição.

À Amanda Mauri, por ser uma pessoa maravilhosa que Deus colocou na minha vida e pela compreensão em todos os momentos.

Aos meus grandes amigos, Cintia Araújo e Leandro, pela ajuda no laboratório, por serem irmãos e companheiros.

À Natássia, Cíntia Tomaz, Priscila, Raquel pelos momentos de lutas e dificuldades, mas, também, por todos os momentos alegres e divertidos que passamos juntos.

Aos alunos de engenharia de alimentos, Pedro, Larissa, Renata e Aline que de alguma forma me ajudaram.

A todos os funcionários e técnicos de laboratório, em especial Toninho e Amanda de Souza.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela oportunidade de realização desse trabalho.

Enfim, a todos que contribuíram com minha formação. A vocês meu muito obrigado.

“Continue, mesmo quando todos esperam
que você desista!”

Madre Tereza de Calcutá

BIOGRAFIA

Wallaf Costa Vimercati, filho de Osvaldo Vimercati e Luciene Tebas Costa Vimercati, nasceu em Alegre – Espírito Santo, em 20 de novembro de 1993.

No ano de 2011, ingressou no Curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal do Espírito Santo, colando grau em 2016.

Em 2016, iniciou o Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, nesta mesma instituição, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2018.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma geral da divisão dos capítulos.....	20
Figura 2 - Fluxograma do procedimento experimental do capítulo 1.....	25
Figura 3 - Massas alimentícias em formato de discos para análise de cor.	26
Figura 4 - Cinética da variação global de cor das massas alimentícias de abóbora, alecrim, inhame, manjeriço e socol.	33
Figura 5 - Cinética da variação global de cor das massas alimentícias tradicional, gengibre e espinafre.....	34
Figura 6 - Cinética da variação global de cor das massas alimentícias que não diferiram entre as embalagens.....	36
Figura 7 - Massa alimentícia de espinafre em embalagens metalizada (A) e transparente (B) após 120 dias de armazenamento.	39
Figura 8 - Fluxograma do procedimento experimental do capítulo II.....	55
Figura 9 - Elaboração da massa alimentícia: A - Cilindragem; B - Corte.....	57
Figura 10 - Discos elaborados da massa alimentícia de espinafre	57
Figura 11 - Cinética de secagem das massas alimentícias de espinafre.	69
Figura 12 – Curvas de secagem da massa alimentícia de espinafre em diferentes temperaturas do ar de secagem ajustadas pelo modelo de Page.....	71
Figura 13 - Valores preditos <i>versus</i> valores experimentais.....	74
Figura 14 - Curvas de secagem previstas nas diferentes temperaturas.....	75
Figura 15 - Cinética do gasto de energia ao longo do tempo de secagem.....	76
Figura 16 - Valores preditos <i>versus</i> valores experimentais.....	78
Figura 17 – Consumo energético previsto nas diferentes temperaturas.....	79
Figura 18 - Teor de carotenoides totais em função da temperatura de secagem.	84
Figura 19 - Porcentagem de sequestro de radicais livres em função da temperatura de secagem.....	85
Figura 20 - Parâmetro L* em função da temperatura de secagem.....	86
Figura 21 - Parâmetro b* em função da temperatura de secagem.....	86
Figura 22 - Desejabilidade global em função da temperatura de secagem.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de permeabilidade ao oxigênio e vapor d'água das embalagens transparente e metalizada.....	26
Tabela 2 - Valores médios e desvio-padrão de umidade, aw, pH e ATT dos tratamentos de cada sabor.....	31
Tabela 3 - Valores de ΔE previstos pelo modelo, R^2 , S e modelos matemáticos ajustados.....	38
Tabela 4 - Valores médios e desvio-padrão do tempo de cozimento e absorção de água dos tratamentos de cada sabor.....	41
Tabela 5 - Valores médios e desvio-padrão da expansão de volume de cada tratamento para cada sabor.....	42
Tabela 6 - Valores médios e desvio-padrão da PSS de cada tratamento para cada sabor.....	44
Tabela 7 - Ingredientes utilizados no preparo da massa alimentícia de espinafre	56
Tabela 8 - Parâmetros dos modelos, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (S) das curvas de secagem de massa alimentícia de espinafre.....	70
Tabela 9 - Valores dos parâmetros ajustados para o modelo generalizado.....	73
Tabela 10 - Valores de R^2 e S do modelo exponencial para as temperaturas avaliadas.....	76
Tabela 11 - Valores dos parâmetros ajustados para o modelo generalizado.....	77
Tabela 12 - Resultado das análises físico-químicas das massas alimentícias de espinafre (média \pm desvio padrão).....	80
Tabela 13 - Resultado das análises de qualidade tecnológica das massas alimentícias de espinafre (média \pm desvio padrão).....	87

SUMÁRIO

RESUMO.....	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Referências bibliográficas	3
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 Massas alimentícias	6
3.2 Espinafre	7
3.3 Secagem	8
3.3.1 Secagem de massas alimentícias	10
3.3.2 Cinética de secagem.....	11
3.4 Massas alimentícias adicionadas de outros ingredientes.....	12
3.5 Referências bibliográficas	14
4 DIVISÃO DOS CAPÍTULOS.....	20
5 CAPÍTULO I: CINÉTICA DA ALTERAÇÃO DE COR E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS DE DIFERENTES SABORES	21
5.1 Resumo.....	21
5.2 Introdução	22
5.3 Objetivos	23
5.3.1 Objetivo geral	23
5.3.2 Objetivos específicos.....	23
5.4 Material e métodos.....	24
5.4.1 Procedimento Experimental	24
5.4.2 Preparo das amostras	25
5.4.3 Análises físico-químicas	26
5.4.3.1 Análise colorimétrica.....	26
5.4.3.2 Análise de umidade	27
5.4.3.3 Atividade de água	27

5.4.3.4	Análise de pH	27
5.4.3.5	Acidez total titulável	27
5.4.4	Análises da qualidade tecnológica das massas alimentícias	28
5.4.4.1	Tempo de cozimento	28
5.4.4.2	Absorção de água.....	28
5.4.4.3	Expansão de volume	29
5.4.4.4	Perda de sólidos solúveis	29
5.4.5	Seleção da massa alimentícia com maior perda de cor	29
5.4.6	Planejamento experimental e análise estatística dos dados	30
5.5	Resultados e discussão.....	30
5.5.1	Análises físico-químicas.....	30
5.5.1.1	Variação global de cor das massas alimentícias durante a vida útil.....	32
5.5.2	Caracterização da qualidade tecnológica.....	41
5.6	Conclusão	45
5.7	Referências bibliográficas	46
6	CAPÍTULO II: ELABORAÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSA ALIMENTÍCIA DE ESPINAFRE.....	50
6.1	Resumo.....	50
6.2	Introdução	52
6.3	Objetivos	53
6.3.1	Objetivo geral	53
6.3.2	Objetivos específicos.....	53
6.4	Material e métodos.....	54
6.4.1	Procedimento Experimental	54
6.4.2	Preparo do extrato de espinafre	55
6.4.3	Preparo das massas alimentícias.....	56
6.4.4	Cinética de secagem.....	57
6.4.4.1	Determinação do final da secagem.....	58
6.4.4.2	Modelagem matemática.....	58
6.4.5	Gasto energético do processo de secagem	60
6.4.6	Análises físico-químicas	60

6.4.6.1	Análise colorimétrica.....	60
6.4.6.2	Análise de umidade	61
6.4.6.3	Atividade de água	61
6.4.6.4	Análise de pH	61
6.4.6.5	Acidez total titulável	61
6.4.6.6	Teor de cinzas	62
6.4.6.7	Clorofila total.....	62
6.4.6.8	Quantificação de carotenoides totais.....	62
6.4.6.9	Conteúdo de compostos fenólicos totais	63
6.4.6.9.1	Preparo dos extratos	63
6.4.6.9.2	Determinação do conteúdo de fenólicos totais.....	64
6.4.6.10	Atividade antioxidante – ABTS.....	64
6.4.6.10.1	Preparo dos extratos	64
6.4.6.10.2	Determinação da capacidade antioxidante	64
6.4.6.11	Atividade antioxidante – DPPH.....	65
6.4.6.11.1	Preparo dos extratos	65
6.4.6.11.2	Determinação da capacidade antioxidante	65
6.4.6.12	Textura.....	65
6.4.7	Análises da qualidade tecnológica das massas alimentícias	66
6.4.7.1	Tempo de cozimento	66
6.4.7.2	Absorção de água.....	66
6.4.7.3	Expansão de volume	66
6.4.7.4	Perda de sólidos solúveis	67
6.4.8	Planejamento experimental e análise estatística dos dados	67
6.4.8.1	Otimização simultânea de múltiplas variáveis respostas – Função desejabilidade.....	67
6.5	Resultados e discussão.....	68
6.5.1	Cinética de secagem.....	68
6.5.2	Tempo de secagem.....	74
6.5.3	Gasto energético	75
6.5.4	Caracterização físico-química	79
6.5.4.1	Variáveis resposta influenciadas pelo fator temperatura de secagem.....	83

6.5.4.1.1	Carotenoides totais	83
6.5.4.1.2	Atividade antioxidante – DPPH	85
6.5.4.1.3	Parâmetros de cor do líquido drenado	86
6.5.5	Caracterização da qualidade tecnológica.....	87
6.5.6	Otimização simultânea das respostas pela função desejabilidade.....	88
6.6	Conclusão	89
6.7	Referências bibliográficas	91

RESUMO

VIMERCATI, Wallaf Costa. **Elaboração, cinética de secagem e caracterização físico-química e tecnológica de massas alimentícias**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira. Coorientadores: Prof. Dr. Antonio Manoel Maradini Filho e Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva.

Massa alimentícia é um alimento popularmente consumido em vários países. A utilização de ingredientes que alteram a cor, o sabor, o aroma e o conteúdo nutricional das massas alimentícias é uma boa alternativa para fabricação de um produto com características sensoriais e nutricionais atraentes ao consumidor. Todavia, os fatores temperatura, embalagem e tempo de armazenamento podem afetar a manutenção das características destes produtos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi elaborar, avaliar a cinética de secagem e analisar as características físico-químicas e tecnológicas destes produtos. Para isso, massas alimentícias de 16 sabores foram armazenadas em embalagens transparentes e metalizadas e as cinéticas de variação global de cor (ΔE) foram acompanhadas ao longo da vida útil (120 dias). Além disso, foram realizadas as caracterizações físico-química e tecnológica após a fabricação e no final da vida útil dos produtos. A massa alimentícia de espinafre armazenada em embalagem transparente foi a que apresentou o maior valor de ΔE em relação aos demais sabores no final dos 120 dias. Posteriormente, esta massa foi elaborada, submetida à secagem nas temperaturas de 35, 45, 55, 65 e 75 °C, até no máximo 11% de umidade e, por fim, os produtos foram caracterizados quanto a cor, atividade de água, pH, acidez total titulável, umidade, textura, carotenoides totais, atividade antioxidante (ABTS e DPPH), compostos fenólicos, clorofila total, cinzas e quanto a qualidade tecnológica (tempo de cozimento, absorção de água, expansão de volume e perda de sólidos solúveis). Os modelos de Henderson e Pabis, Lewis e Page foram ajustados aos dados experimentais de cinética de secagem e o consumo energético do processo foi monitorado no decorrer do tempo de secagem. A função desejabilidade foi utilizada a fim de escolher a temperatura ótima de secagem. O modelo de Page foi o que melhor representou o processo de secagem, apresentando os maiores valores de R^2_{adj} e menores valores de erro padrão da regressão. Todas as massas alimentícias obtidas das diferentes temperaturas de secagem apresentaram teor de umidade entre a faixa de 10 a 11%, conforme preconiza a legislação brasileira. O valor da desejabilidade global foi de 0,44, resultando, assim, na temperatura ótima de secagem de 52 °C.

Palavras-chave: Massas alimentícias, cor, sabores, secagem.

ABSTRACT

Pasta is a food popularly consumed in several countries. The use of ingredients that alter the color, flavor, aroma and nutritional content of pasta is a good alternative for the manufacture of a product with sensory and nutritional characteristics that are attractive to the consumer. However, the factors temperature, packaging and storage time can affect the maintenance of the characteristics of these products. Therefore, the objective of this work was to elaborate, evaluate the drying kinetics and analyze the physical-chemical and technological characteristics of these products. For this, 16 flavors pasta were stored in transparent and metallized packages and the Kinetics of total color variation (ΔE) were monitored throughout the useful life (120 days). In addition, the physical-chemical and technological characterizations were carried out after the manufacture and at the end of the useful life of the products. The spinach pasta stored in transparent packaging was the one with the highest value of ΔE in relation to the other flavors at the end of the 120 days. Afterwards, this mass was elaborated, submitted to drying at temperatures of 35, 45, 55, 65 and 75 °C, up to a maximum of 11% humidity and, finally, the products were characterized as color, water activity, pH, titratable total acidity, moisture, texture, total carotenoids, antioxidant activity (ABTS and DPPH), phenolic compounds, total chlorophyll, ashes and technological quality (Cooking time, water absorption, volume expansion and loss of soluble solids) . The models of Henderson and Pabis, Lewis and Page were adjusted to the experimental data of drying kinetics and the energy consumption of the process was monitored during the drying time. The desirability function was used in order to choose the optimum drying temperature. The Page model was the one that best represented the drying processes, with the highest R^2_{adj} values and the lowest standard error values of the regression. All the pasta obtained from the different drying temperatures presented a moisture content between the range of 10 to 11%, according to Brazilian legislation. The overall desirability value was 0,4, thus resulting in the optimum drying temperature of 52 °C.

Key-words: Pasta, color, flavors, spinach, drying.

1 INTRODUÇÃO

A massa alimentícia é um alimento popularmente consumido na Europa e na América. No início do século XIX veio para o Brasil com a imigração de italianos. A sua incorporação na alimentação e na cultura de indivíduos do mundo todo foi, especialmente, devido à emigração europeia, principalmente da Itália (SILVA et al., 2013; ABIMAPI, 2018).

Com o passar dos anos, o produto foi ganhando cada vez mais aceitabilidade pelos consumidores, devido ao seu preparo fácil, rápido, custo acessível e pela estabilidade no armazenamento, desde que produzido de forma adequada (GUERREIRO, 2006; MENEGASSI; LEONEL, 2006; ABIMAPI, 2018).

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2005),

Massas Alimentícias são os produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou de outras espécies do gênero *Triticum*) e ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação.

O Brasil ocupa o terceiro lugar no mercado mundial na produção de massas alimentícias. No ano de 2017, a produção foi de aproximadamente 1,2 milhão de toneladas no país, com faturamento superior a R\$ 8,7 bilhões e o consumo per capita foi de 5,824 kg/ano (ABIMAPI, 2018).

O processo de fabricação das massas alimentícias é relativamente simples, inicia-se com a mistura e amassamento dos ingredientes, tais como farinha de trigo e água, com adição ou não de outras substâncias permitidas. Posteriormente, realiza-se a laminação, corte, secagem e armazenamento. Outra forma de processamento é por extrusão, em que as etapas de mistura, amassamento e moldagem ocorrem num mesmo equipamento denominado de extrusor. Logo após, seguem para a secagem e acondicionamento (FOGAGNOLI; SERAVALLI, 2014; GIANNETTI et al., 2014).

A qualidade das massas alimentícias é definida, principalmente, pelas propriedades das matérias-primas, do tipo de processamento, das condições de secagem e da forma de armazenamento do produto, além das boas práticas de fabricação (GUERREIRO, 2006; OGAWA et al., 2015).

De acordo com Fellows (2006) e Anandharamakrishnan (2017), desidratação ou secagem é definida como a aplicação de calor, sob condições controladas, para remover a maior parte da água livre normalmente presente em um alimento por meio

de evaporação. O processo de secagem contribui para a diminuição de custos no transporte e armazenamento, uma vez que promove uma redução significativa do peso e volume. Além disso, promove um aumento na vida útil do produto, pois minimiza as reações microbiológicas, enzimáticas e bioquímicas. Contudo, temperaturas muito elevadas de secagem podem também levar ao desenvolvimento de características indesejáveis no alimento, tais como alterações das características sensoriais, levando a dureza excessiva, degradação da cor, aroma e sabor, além da perda do valor nutricional dos alimentos (RATTI, 2001; BRENNAN, 2006; CELESTINO, 2010).

A embalagem em que os produtos são acondicionados é, também, um fator de grande interesse para o armazenamento das massas alimentícias. As embalagens possuem a função de proteger o produto das condições do ambiente, mantendo as características originais em que foi seco (SILVA; SOARES; GERALDINE, 2003). Além disso, de acordo com Della Lucia et al. (2007), a embalagem é o primeiro contato que o consumidor tem com o produto, sendo esta decisiva na intenção de compra.

Os corantes são empregados nos alimentos com a função de intensificar a cor e torná-los mais atrativos e saborosos (PRADO; GODOY, 2003). A aplicação de substâncias corantes na fabricação de massas alimentícias tem como objetivo proporcionar alimentos diferenciados ao mercado, além de agregar valor sensorial e nutricional ao produto. No entanto, determinadas condições de processamento e armazenamento podem levar a degradação de algumas substâncias. Deste modo, essas condições devem ser avaliadas, com o objetivo de minimizar as perdas durante o processamento e ao longo do tempo de acondicionamento, a fim de preservar as características iniciais do produto.

1.1 Referências bibliográficas

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <<http://www.abimapi.com.br/macarrao.php>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 339p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjIwMw%2C%2C>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

BRENNAN, J. G. **Food Processing Handbook**. 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. 602p.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51p.

DELLA LUCIA, S. M.; MINIM, V. P. R.; SILVA, C. H. O.; MINIM, L. A. Fatores da embalagem de café orgânico torrado e moído na intenção de compra do consumidor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 485–491, 2007.

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

FOGAGNOLI, G.; SERAVALLI, E. A. G. Application of passion fruit peel powder in fresh pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 204–212, 2014.

GIANNETTI, V.; MARIANI, M. B.; MANNINO, P.; TESTANI, E. Furose and flavour compounds in durum wheat pasta produced under different manufacturing conditions: Multivariate chemometric characterization. **Food Science and Technology**, v. 56, p. 15–20, 2014.

GUERREIRO, L. **Dossiê técnico de massas alimentícias**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. 39p.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Análises de qualidade de uma massa alimentícia mista de mandioca-salsa. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 2, p. 27–36, 2006.

OGAWA, T.; CHUMA, A.; AIMOTO, U.; ADACHI, S. Characterization of spaghetti prepared under different drying conditions. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 9, p. 1959–1964, 2015.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Corantes artificiais em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 14, n. 2, p. 237–250, 2003.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: review. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 2, p. 311-319, 2001.

SILVA, J. P.; SCAPIM, M. R. S.; MONTEIRO, A. R. G.; OLIVEIRA, E. R. N.; MADRONA, G. S. Development of rice flour pasta for gluten induced enteropathy patients. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 3, n. 5, p. 101–104, 2013.

SILVA, V. V.; SOARES, N. F. F.; GERALDINE, R. M. Efeito da embalagem e temperatura de estocagem na conservação de mandioca minimamente processada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 197–202, 2003.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaborar, avaliar a cinética de secagem e analisar as características físico-químicas e tecnológicas de massas alimentícias.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as massas alimentícias da Agroindústria da Família Venturim quanto a sua composição físico-química e qualidade tecnológica, após a fabricação e no término da vida útil estabelecido pela empresa;
- Avaliar se ocorrem modificações decorrentes do uso de embalagens transparentes e metalizadas ao longo da vida útil das massas alimentícias;
- Analisar quais massas alimentícias perderam mais cor ao longo do armazenamento.
- Elaborar a formulação que apresentar a maior perda de cor durante o armazenamento;
- Avaliar o efeito da temperatura sobre a cinética de secagem e sobre as características físico-químicas e tecnológicas da massa alimentícia elaborada;
- Ajustar modelos matemáticos para descrever a cinética de secagem da massa alimentícia para cada temperatura;
- Ajustar um modelo matemático generalizado que descreva o teor de água da massa alimentícia em função do tempo e da temperatura de secagem;
- Caracterizar a massa alimentícia elaborada quanto a sua composição físico-química e qualidade tecnológica;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Massas alimentícias

As massas alimentícias ou macarrão surgiram em 5000 a. C. no norte da China, de acordo com algumas descobertas arqueológicas, onde encontraram misturas de farinha de trigo, de soja, de arroz e até de feijão mungo. Alguns escritos de civilizações antigas relatam que os assírios e babilônios por volta de 2500 a. C. já conheciam um produto à base de cereais e água. No entanto, os italianos foram os maiores difusores e consumidores de macarrão por todas as partes do mundo, a partir do século XIII (ABIMAPI, 2018).

As massas alimentícias podem ser produzidas, basicamente, com trigo e água. Porém, outros ingredientes são comumente adicionados, como ovos, corantes, outros derivados de cereais, emulsificantes e conservantes, a fim de aumentar o valor nutricional e melhorar algumas características do produto final (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO et al., 1990).

No mundo todo existem várias espécies de trigo, mas os três tipos genéticos que apresentam a maior produção e comercialização são *Triticum aestivum*, *Triticum durum* e o *Triticum compactum*. O *T. aestivum* é mais utilizado na panificação (pães e bolos). O *T. compactum* é mais empregado na elaboração de biscoitos e o *T. durum*, principalmente a semolina, é mais usado na fabricação de massas alimentícias (HOSENEY; ROGERS, 1990), pois oferece a quantidade e qualidade necessária de proteínas para a formação da rede glúten (FEILLET, 1984).

O *T. durum* é característico de clima frio e seco. No Brasil, o *T. durum* não é produzido em escala comercial, principalmente, devido aos fatores climáticos, sendo, portanto, exclusivamente importado (JESUS JÚNIOR; RODRIGUES; MORAES, 2011). No entanto, o *T. aestivum* ainda é o mais utilizado no Brasil na produção de massas alimentícias acrescido de aditivos (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO et al., 1990).

A fabricação das massas alimentícias secas pode ser por dois processos: cilindragem ou extrusão. O processo de cilindragem inicia-se com a mistura e amassamento dos ingredientes, tais como farinha de trigo e água, com adição ou não de outras substâncias permitidas. Posteriormente, realiza-se a laminação entre rolos, corte, secagem e armazenamento. Já no processamento por extrusão, as etapas iniciais de mistura, amassamento e moldagem ocorrem num mesmo

equipamento, denominado de extrusor. Logo após, as massas alimentícias frescas seguem para a secagem e acondicionamento (FOGAGNOLI; SERAVALLI, 2014; GIANNETTI et al., 2014).

A qualidade das massas alimentícias é definida, principalmente, pelas propriedades das matérias-primas, do tipo de processamento, das condições de secagem e da forma de armazenamento do produto, além das boas práticas de fabricação (GUERREIRO, 2006; OGAWA et al., 2015).

3.2 Espinafre

O espinafre é uma hortaliça frequentemente consumida em quase todas as partes do mundo, destacando-se, popularmente, duas espécies (*Spinacea oleracea* e *Tetragonia tetragonoides*). O espinafre *Spinacea oleracea*, pertencente à família Chenopodiaceae, é caracterizado por apresentar folhas pequenas e arredondadas e se desenvolver, principalmente, em países de clima temperado. No Brasil e em países de clima tropical, a espécie predominante é a *Tetragonia tetragonoides*, pertencente à família Aizoaceae, conhecido como espinafre Nova Zelândia, sendo caracterizada por folhas triangulares e verdes escuras (APRIFEL, 1994; JAWORSKA, 2005b; KAWASHIMA; SOARES, 2005; EMBRAPA, 2010).

O espinafre Nova Zelândia apresenta uma rica composição nutricional, composta por fibras, vitaminas A, C e do complexo B, compostos antioxidantes, minerais como potássio e, principalmente, cálcio e ferro. A ação antioxidante atribuída ao espinafre deve-se ao fato da redução dos radicais livres e a inibição da oxidação do ácido linoleico (BERGMAN et al., 2003; JAWORSKA, 2005b; FAN et al., 2011). No entanto, o espinafre contém também alguns compostos indesejáveis como nitratos, nitritos e oxalatos (FENWICK; OAKENFULL, 1983; JAWORSKA, 2005a; LOPES et al., 2009). O conteúdo destes compostos na planta varia de acordo com a época da colheita, tipo de solo, origem geográfica, espécie, clima, fertilização, entre outros (JAWORSKA, 2005a).

A presença de nitrato pode levar à formação de metahemoglobina e nitrosaminas que são compostos nocivos para a saúde humana (SANTAMARIA, 2006).

O oxalato é considerado um fator antinutricional e interfere na biodisponibilidade de alguns minerais. Após absorção, este composto pode

precipitar com o cálcio produzindo sais insolúveis que favorecem o desenvolvimento de cálculo renal. Além disso, o oxalato antes de absorvido pode, também, se complexar com minerais, principalmente o cálcio da dieta, diminuindo a absorção pelo organismo (PEREZ, 2000; BENEVIDES et al., 2011). De acordo com Bohn et al. (2004), o consumo de vegetais ricos em oxalato além de afetar a absorção de cálcio, interfere, ainda, na absorção de magnésio e ferro pelo organismo humano pelas reações de complexação e precipitação.

Contudo, os fatores antinutricionais dos vegetais podem ser reduzidos com aplicação de branqueamento e processamento doméstico (SOTELO et al., 2010). Judprasong et al. (2006) verificaram uma significativa redução no conteúdo de oxalato total em vegetais devido ao cozimento. Santos (2006) também verificou que o branqueamento foi eficiente na redução de ácido oxálico em folhas de brócolis, couve-flor e couve submetidas à cocção por seis diferentes tempos (0, 2, 4, 6, 8 e 10 minutos) a temperatura de ebulição. De acordo com Lomnitski et al. (2003), o consumo de espinafre dentro das doses diárias recomendadas não apresenta efeito nocivo à saúde.

O consumo de espinafre pode ser *in natura* (saladas), cozido ou adicionado em outras formulações. No entanto, apesar de sua rica composição, o espinafre sempre apresentou baixo consumo, pois possui alguns compostos que conferem sabor amargo e alcalino (BELITZ; GROSCH, 1987; MUNRO; SMALL, 1997). Com isso, uma forma de incluí-lo na dieta é adicioná-lo em outros produtos como pão de forma (AZEVEDO, 2012), cookies (MAURO; SILVA; FREITAS, 2010) e massas alimentícias (LIEBMAN; OKOMBO, 2009), contribuindo, também, para aumentar o valor agregado do produto final e oferecer alimentos diferenciados e mais nutritivos aos consumidores.

3.3 Secagem

A secagem é uma das operações unitárias mais utilizadas nas indústrias de alimentos e química e já vem sendo empregada pelo homem há milhares de anos na conservação de alimentos. Este processo é caracterizado pela aplicação de calor, sob condições controladas, para remover a maior parte da água livre normalmente presente em um alimento (KROKIDA et al., 2003; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

O processo de secagem promove uma redução da atividade de água de um alimento, contribuindo, assim, para minimizar ou até mesmo inibir a velocidade das reações microbiológicas, químicas e enzimáticas, levando a um aumento da vida útil dos produtos (DELELE; WEIGLER; MELLMAN, 2015; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

A secagem apresenta outras vantagens como redução das perdas pós-colheita, estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, disponibilidade do produto durante qualquer época do ano e redução dos custos no transporte e no armazenamento, pois promove uma significativa redução do peso e volume e não necessita de refrigeração (PARK; YADO; BROD, 2001; CELESTINO, 2010). Contudo, pode levar também ao desenvolvimento de características indesejáveis nos alimentos, tais como alterações das características sensoriais (dureza excessiva, degradação da cor, aroma e sabor) e do valor nutricional (RATTI, 2001; BRENNAN, 2006; CELESTINO, 2010).

De acordo com Sousa et al. (2006), se o processo de secagem for conduzido de forma inadequada poderá interferir significativamente na qualidade comercial do produto ou acelerar a deterioração durante o armazenamento. Sendo assim, a avaliação deste processo é de suma importância, uma vez que pode acarretar em maiores danos ao produto final.

A secagem é uma operação complexa que envolve simultaneamente transferências de calor e de massa. A transferência de calor pode ser realizada por convecção, condução ou radiação. A transferência de massa ocorre na forma de líquido ou vapor do interior para a área externa do alimento e de vapor para o meio adjacente (MUJUMDAR, 2014; MARTINS, 2015).

O progresso das transferências de calor e de massa é caracterizado por três períodos, em que são avaliadas ao longo do tempo as curvas de evolução do teor de água do produto, da sua temperatura e da cinética de secagem ou velocidade da secagem (PARK; YADO; BROD, 2001).

Na operação de secagem existem vários parâmetros que influenciam no processo, principalmente os relacionados diretamente com o produto a ser desidratado, tais como a geometria, densidade, espessura e características do produto, e, também, os relacionados com o ar de secagem como a temperatura, velocidade e umidade (QUINTERO, 2007; RATTI, 2008).

3.3.1 Secagem de massas alimentícias

A secagem é considerada a etapa mais crítica no processo de fabricação de massas alimentícias, uma vez que a temperatura utilizada exerce grande influência na manutenção das características do produto final (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO et al., 1990). O principal objetivo dessa etapa é reduzir o teor de água do produto de 31-34% para 12-13%, a fim de tornar o produto estável durante a estocagem (CIACCO; CHANG, 1986). Labuza (1982) afirma que a faixa ótima de umidade final de massas alimentícias deve situar entre 10 a 11%, quando o produto apresenta atividade de água (a_w) próxima de 0,44.

O processo de secagem das massas alimentícias pode ser dividido em três etapas: pré-secagem, repouso e secagem final, sendo que a aplicação das altas temperaturas pode ser na pré-secagem ou na fase final. Na etapa que não for utilizada altas temperaturas, utilizam-se temperaturas convencionais (KRUGER; MATSUO; DICK, 1996) que, de acordo com Ormenese et al. (1998), varia de 40 a 55 °C.

A pré-secagem consiste na remoção rápida da umidade da superfície do material, chegando a aproximadamente 18-20% de umidade. De acordo com Barbosa (2002), nesta etapa o produto ainda é flexível, porém a adesão entre eles é reduzida. Além do mais, a pré-secagem estabiliza a rede de glúten, reduz a velocidade das reações bioquímicas e microbiológicas e o período de secagem total (CIACCO; CHANG, 1986). Após essa etapa, o produto é levado para descanso. A finalidade da etapa de repouso das massas alimentícias é de estabelecer o equilíbrio da umidade entre a superfície e o interior do produto, a fim de não gerar defeitos no produto como trincas (LEITÃO et al., 1990). Por último, a massa alimentícia passa pela etapa de secagem final. Nesta etapa, a maior parte da água é retirada do produto até alcançar teor de umidade entre 12-13%. Esta é a etapa mais prolongada do processo e deve ser controlada cuidadosamente (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO, et al., 1990).

A secagem das massas alimentícias não pode ser muito rápida e nem muito lenta. A secagem muito rápida pode levar a quebras ou trincas nos produtos. Já a secagem muito lenta tende a gerar maiores deteriorações microbiológicas e bioquímicas, comprometendo a qualidade do produto final (BARBOSA, 2002).

A etapa de secagem das massas alimentícias tem sido conduzida comumente em temperaturas consideradas baixas de 40 a 55 °C. A faixa de temperatura

considerada alta na produção de massas alimentícias varia de 60 a 90 °C (ORMENESE et. al., 1998).

As altas temperaturas utilizadas no processamento de massas alimentícias contribuem para reduzir o tempo de secagem, as reações microbiológicas e enzimáticas e melhorar as propriedades de textura e cor (GÜLER; KÖKSEL; NG, 2002; OGAWA et al., 2015). Além disso, de acordo com Ogawa et al. (2015), estas temperaturas melhoram algumas características tecnológicas das massas. Por estes motivos, as altas temperaturas vêm sendo mais empregadas nos últimos anos pelas indústrias de massas (GÜLER; KÖKSEL; NG, 2002). Vale ressaltar que a umidade e velocidade do ar de secagem são fatores que necessitam, também, de serem controlados (BARBOSA, 2002).

3.3.2 Cinética de secagem

A elaboração das curvas de secagem de um alimento é realizada com os dados experimentais obtidos da própria secagem, sendo que as características destas curvas variam conforme cada produto (RONCHETI et al., 2014).

O estudo das curvas de secagem apresenta grande importância, pois possibilita verificar qual a velocidade de remoção de água em qualquer tempo medido a partir do início do processo. Assim, a inclinação da curva demonstra a dificuldade ou facilidade de remoção de água de um alimento durante a secagem (MELONI, 2003).

No decorrer do processo de secagem, o alimento não perde água a uma velocidade constante. Com o avanço da secagem, mesmo em condições fixas, a taxa de remoção de água diminui. Uma curva de secagem comumente varia de acordo com cada alimento, tipos de secadores, temperatura, umidade, entre outros parâmetros (MELONI, 2003).

Na literatura, vários modelos matemáticos são encontrados para descreverem as curvas de secagem. Entretanto, a fim de minimizar os erros, é aconselhável que todos sejam testados para condições específicas de secagem (SANTOS et al., 2010). Estes modelos contribuem para a redução dos trabalhosos testes em laboratório (WAUGHON; PENA, 2008), auxiliam nas tomadas de decisão e na eficiência do processo, uma vez que possibilitam estimar o tempo necessário para redução do teor de água do produto, em diferentes condições de secagem (KADAM; BALASUBRAMANIAN, 2011; MEZIANE, 2011). Os modelos matemáticos mais

empregados nos processos de secagem são os de Lewis (1921), Page (1949), Henderson e Pabis (1962) e Midilli; Kucuk; Yapar (2002).

3.4 Massas alimentícias adicionadas de outros ingredientes

Os consumidores buscam por produtos com características sensoriais atraentes. Além disso, desejam alimentos de preparo fácil e rápido, nutricionalmente equilibrados e isentos de contaminantes (GUERRERO et al., 2000; MARINS; ARAÚJO; JACOB, 2011).

Nas mesas dos brasileiros, as massas alimentícias competem com o arroz (DENARDI et al., 2009) apresentando um consumo per capita de 5,824 kg/ano em 2017 (ABIMAPI, 2018).

As massas alimentícias são amplamente consumidas devido ao seu preparo fácil, rápido, custo acessível e pela estabilidade no armazenamento (GUERREIRO, 2006; ABIMAPI, 2018). No entanto, este alimento apresenta um baixo valor nutricional (DENARDI et al., 2009).

O crescente consumo de massas alimentícias em diversas regiões do mundo incentiva estudos relacionados ao desenvolvimento de novas formulações, a fim de agregar valor nutricional e sensorial ao produto final e, também, atrair mais consumidores (ABIMAPI, 2018).

A adição de ingredientes tais como vegetais (beterraba, espinafre, tomate seco, manjerição, etc.) e outros produtos (café, vinho, chocolate, etc.) contribuem para produção de massas alimentícias diferenciadas. Estes ingredientes adicionados contribuem para alterar a cor, o sabor e o aroma e, ainda, podem aumentar o valor nutricional do produto final, uma vez que grande parte destes ingredientes apresenta algum composto bioativo que confere benefício à saúde do consumidor como, por exemplo, as betalaínas (JANISZEWSKA, 2014), carotenoides (OLIVEIRA et al., 2011) e melanoidinas (SAKKAS et al., 2014) que têm ação antioxidante.

Yadav et al. (2014) ao avaliarem as características de massas alimentícias adicionadas de vegetais (espinafre, cenoura, nabo e tomate), concluíram que a incorporação de vegetais melhorou a qualidade de cozimento do produto, levando à menor perda de sólidos solúveis e proporcionou uma cor natural atraente para a massa. Além disso, verificaram que a massa alimentícia de espinafre foi a que apresentou maior aceitação global.

Padalino et al. (2013) elaboraram e caracterizaram espaguete sem glúten à base de farinha de milho e diferentes tipos de farinhas de vegetais (alcachofra, aspargo, espinafre abóbora, abobrinha, tomate, pimentão amarelo, pimentão vermelho, pimentão verde, cenoura, entre outros). Estes autores verificaram que a farinha de pimentão amarelo apresentou os melhores resultados do ponto de vista sensorial entre as demais farinhas de vegetais testadas. Além do mais, a farinha de pimentão amarelo seca a baixa temperatura (65 °C/ 460 min.) apresentou maior conteúdo de carotenoides em comparação com a mesma farinha seca em altas temperaturas (110-68 ° C/ 70 min e 75-55 °C/ 220 min.).

3.5 Referências bibliográficas

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <<http://www.abimapi.com.br/macarrao.php>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 339p.

APRIFEL - Agence pour la recherche et l'information en fruits et légumes frais. L'épinard. **Journal de Pédiatrie et de Puériculture**, v. 3, p. 187-189, 1994.

AZEVEDO, F. de L. A. A. de. **Valor nutricional, capacidade antioxidante e utilização de folhas de espinafre (*Tetragonia tetragonoides*) em pó como ingrediente de pão de forma**. 2012. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2012.

BARBOSA, M. C. de A. **Avaliação tecnológica de massas alimentícias de farinha mista de trigo e soja sem lipoxigenases**. 2002. 112f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BELITZ; H. D.; GROSCH, W.; **Food Chemistry**. 3. ed. Berlin Heidelberg New York: Springer; 1987, 774p.

BENEVIDES, C. M. de J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B.; LOPES, M. V.; Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

BERGMAN, M., PERELMA, A., DUBINSKY, Z., GROSSMAN, S. Scavenging of reactive oxygen species by a novel glucuronated flavonoid antioxidant isolated and purified from spinach. **Phytochemistry**, v. 62, n. 5, p.753-762, 2003.

BOHN, T.; DAVIDSSON, L.; WALCZYK, T.; HURRELL, R. F. Fractional magnesium absorption is significantly lower in human subjects from a meal served with an oxalate-rich vegetable, spinach, as compared with a meal served with kale, a vegetable with a low oxalate content. **British Journal of Nutrition**, v. 91, n. 4, p. 601–606, 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjlmMw%2C%2C>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

BRENNAN, J. G. **Food Processing Handbook**. 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. 602p.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51p.

CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Massas: tecnologia e qualidade**. Ed. Unicamp, 1986, 127p.

DELELE, M. A.; WEIGLER, F.; MELLMAN, J.; Advances in the application of a rotary dryer for drying of agricultural products: A Review. **Drying Technology**, v. 33, n. 5, p. 541–558, 2015.

DENARDI, C. C.; BOUFLEUR, N.; RECKZIEGEL, P.; SILVA, L. P. da. Influência do consumo de arroz ou de macarrão no desempenho e resposta metabólica em ratos. **Alimentos e nutrição**, v. 20, n. 3, p. 441-449, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Catálogo brasileiro de hortaliças saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país. 2010. Disponível em: <<http://www.ceasa.gov.br/dados/publicacao/Catalogo%20hortalicas.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

FAN, D.; HODGES, D. M.; ZHANG, J.; KIRBY, C. W.; XIUHONG, J.; LOCKE, S. J.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinacia oleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress. **Food Chemistry**, v. 124, n. 1, p. 195-202, 2011.

FEILLET, P. The biochemical basis of pasta cooking quality – its consequences for durum wheat breeders. **Sciences des Aliments**, v. 4, n. 4, p. 551-566, 1984.

FENWICK, D. E.; OAKENFULL, D. Saponin content of food plants some prepared foods. **Journal Science Food Agriculture**, v. 34, n. 2, p. 186-191, 1983.

FOGAGNOLI, G.; SERAVALLI, E. A. G. Application of passion fruit peel powder in fresh pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 204–212, 2014.

GIANNETTI, V.; MARIANI, M. B.; MANNINO, P.; TESTANI, E. Furosine and flavour compounds in durum wheat pasta produced under different manufacturing conditions: Multivariate chemometric characterization. **Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 15–20, 2014.

GUERREIRO, L. **Dossiê técnico de massas alimentícias**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. 39 p.

GUERRERO, L.; COLOMER, Y.; GUÀRDIA, M. D.; XICOLA, J.; CLOTET, R. Consumer attitude towards store brands. **Food Quality and Preference**, v. 11, n. 5, p. 387–395, 2000.

GÜLER, S.; KÖKSEL, H.; NG, P. K. W. Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality. **Food Research International**, v. 35, n. 5, p. 421–427, 2002.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Research Engineering**, v. 12, p. 732–736, 1962.

HOSENEY, R.C.; ROGERS, D.E. The formation and properties of wheat flour doughs. **Food Science and Nutrition**, v. 26, n. 2, p. 73-93, 1990.

JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, v. 264, p. 190-196, 2014.

JAWORSKA, G. Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. **Food Chemistry**, v. 89, n. 2, p. 235–242, 2005a.

JAWORSKA, G. Nitrates, nitrites, and oxalates in products of spinach and New Zealand spinach effect of technological measures and storage time on the level of nitrates, nitrites, and oxalates in frozen and canned products of spinach and New Zealand spinach. **Food Chemistry**, v. 93, n. 3, p. 395–401, 2005b.

JESUS JUNIOR, C. de; RODRIGUES, L. S.; MORAES, V. E. G. de. Panorama das importações de trigo no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 34, p. 389-419, 2011.

JUDPRASONG, K.; CHAROENKIATKUL, S.; SUNGPUAG, P.; VASANACHITT, K.; NAKJAMANONG, Y. Total and soluble oxalate contents in Thai vegetables, cereal grains and legume seeds and their changes after cooking. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 4, p. 340–347. 2006.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 4, p. 488-495, 2011.

KAWASHIMA, L. M.; SOARES, L. M. V. Effect of blanching time on selective mineral elements extraction from the spinach substitute (*Tetragonia expansa*) commonly used in Brazil. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 25, n. 3, p. 419–424, 2005.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 4, p. 391–403, 2003.

KRUGER, J.E.; MATSUO, R.B.; DICK, J.W. **Pasta and noodle technology**. St. Paul, American Association of Cereal Chemists, 1996, 356p.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport, Connecticut, 1982, 500p.

LEITÃO, R. F. de F.; GONCALVES, J. R.; EIROA, M. N. U.; GARCIA, E. E. C. **Tecnologia de macarrão**. Campinas, SP: ITAL. Manual Técnico n. 5, 1990. 71p.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427–433, 1921.

LIEBMAN, M.; OKOMBO, J. Oxalate content of selected past products. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 3, p. 254-256, 2009.

LOMNITSKI, L.; BERGMAN, M.; NYSKA, A.; BEN-SHAUL, V.; GROSSMAN, S. Composition, efficacy, and safety of spinach extracts. **Nutrition and Cancer**, v. 46, n. 2, p. 222-231, 2003.

LOPES, C. de O.; DESSIMONI, G.V.; SILVA, M. C. da; VIEIRA, G.; PINTO N. A. V. D. Aproveitamento, composição nutricional e antinutricional da farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 4, p. 669-675, 2009.

MARINS, B. R.; ARAÚJO, I. S.; JACOB, S. C. A propaganda e alimentos: orientação, ou apenas estímulo ao consumo? **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 9, p. 3873–3882, 2011.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leite fixo para a secagem de produtos agrícolas**. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

MAURO, A. K.; SILVA, V. L. M.; FREITAS, M. C. J. Caracterização física, química e sensorial de cookies confeccionados com farinha de talo de couve (FTC) e farinha de talo de espinafre (FTE) rico em fibra alimentar. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 719-728, 2010.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003. 87p.

MEZIANE, S. Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 3, p. 1644- 1649, 2011.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503–1513, 2002.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 4. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2014. 1348p.

MUNRO, D. B.; SMALL, E. **Les Légumes du Canada**. NRC Research Press; 1997. 437p.

OGAWA, T.; CHUMA, A.; AIMOTO, U.; ADACHI, S. Characterization of spaghetti prepared under different drying conditions. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 9, p. 1959–1964, 2015.

OLIVEIRA, S. D.; AQUINO, P. P.; RIBEIRO, S. M. R.; PROENÇA, R, P, C.; SANT'ANA, H. M. P. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes do Ceasa do estado de Minas Gerais, **Acta Scientiarum Health Sciences**, v. 33, n. 1, p. 89-98, 2011.

ORMENESE, R. de C. S. C.; LEITÃO, R. F. F.; SILVEIRA, N. F. A.; BALDINI, V. L. S.; Influência da secagem à alta temperatura nas características das massas com ovos. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 18, n. 1, p. 7-12, 1998.

PADALINO, L.; MASTROMATTEO, M.; LECCE, L.; COZZOLINO, F.; DEL NOBILE; M. A. Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n.3, p. 333-342, 2013.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertação (Mestrado)- Purdue University, West Lafayette, 1949.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PEREZ, E. F. **Desenvolvimento de um biossensor amperométrico para oxalato**. 2000. 92f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

QUINTERO, A. C. F.; **Desidratação de abacaxi: modelos de secagem, avaliação da qualidade e efeito da embalagem**. 2007. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

RATTI, C. **Advances in food dehydration**. 1. ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, UK, 2008. 416p.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: review. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 2, p. 311-319, 2001.

RONCHETI, E. F. S.; BAPTESTINI, F. M.; JUNQUEIRA, M. S.; OLIVEIRA, A. N.; SARTORI, M. A.; SARAIVA, S. H. Desidratação em leite de espuma. In: TEIXEIRA, L. J. Q.; OLIVEIRA, A. N.; SARTORI, M. A. **Tópicos Especiais em Engenharia de Alimentos**. Visconde do Rio Branco-MG, Suprema, 440p., cap 3, p. 51-64, 2014.

SAKKAS, L.; MOUTAFI, A.; MOSCHOPOULOU, E.; MOATSOU, G. Assessment of heat treatment of various types of milk. **Food Chemistry**, v. 159, p. 293-301, 2014.

SANTAMARIA, P: Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 10-17, 2006.

SANTOS, C.T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. da C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola*) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n. 3, p 309-313, 2010.

SANTOS, M. A. T. Efeito do cozimento sobre alguns fatores antinutricionais em folhas de brócolis, couve-flor e couve. **Ciência Agrotecnológica**, v. 30, n. 2, p. 294-301, 2006.

SOTELO, A.; GONZÁLEZ-OSNAYA, L.; SÁNCHEZ-CHINCHILLAS, A.; TREJO, A. Role of oxate, phytate, tannins and cooking on iron bioavailability from foods commonly consumed in Mexico. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 61, n. 1, p. 29-39, 2010.

SOUSA, M. de B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; DANTAS, F.P. Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 2, p.139-146, 2006.

WAUGHON, T. S.; PENA, R. S.; Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

YADAV, D. N.; SHARMA, M.; CHIKARA, N.; ANAND, T.; BANSAL, S. Quality characteristics of vegetable-blended wheat-pearl millet composite pasta. **Agricultural Research**, v. 3, n. 3, p. 263-270, 2014.

4 DIVISÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho foi desenvolvido em dois capítulos. O capítulo 1 consistiu na realização de análises físico-químicas e tecnológicas das massas alimentícias selecionadas da Agroindústria da Família Venturim, principalmente análise colorimétrica, a fim de avaliar a estabilidade da cor durante o tempo de armazenamento e após o cozimento.

Para o capítulo 2, a massa alimentícia que apresentou a maior perda de cor foi selecionada e elaborada. Além disso, avaliou-se a cinética de secagem em diferentes temperaturas.

Na Figura1, é apresentado o fluxograma dos capítulos deste trabalho.

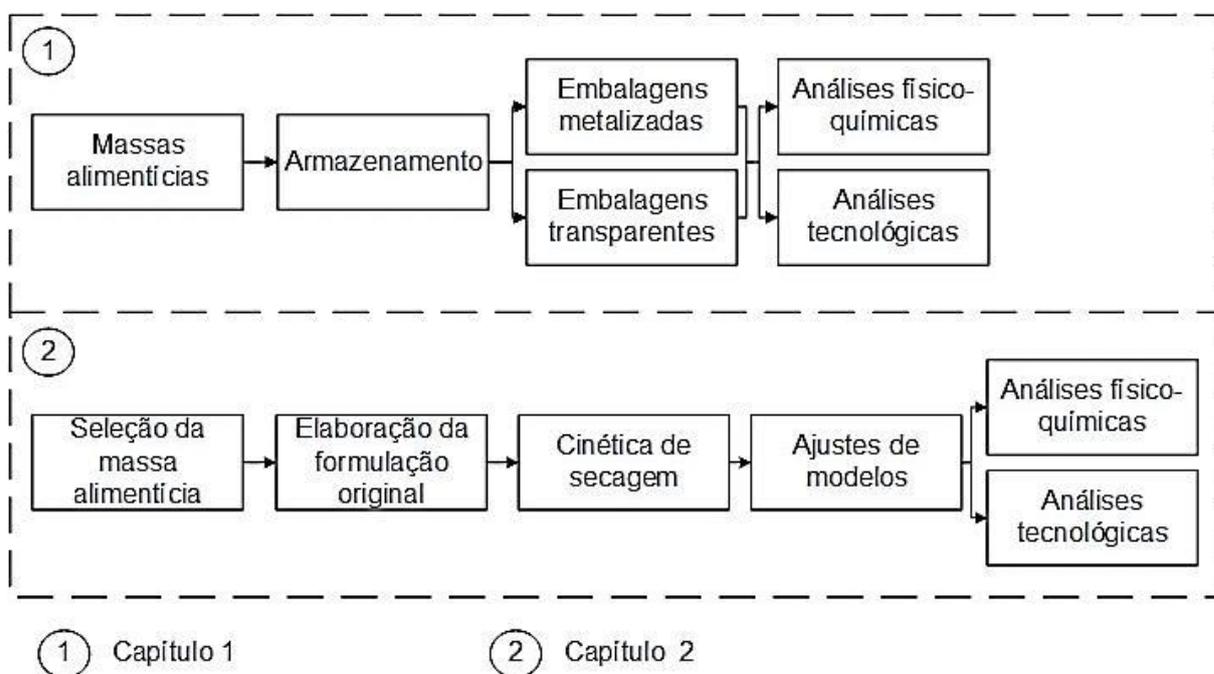


Figura 1 - Fluxograma geral da divisão dos capítulos.

5 CAPÍTULO I: CINÉTICA DA ALTERAÇÃO DE COR E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS DE DIFERENTES SABORES

5.1 Resumo

As massas alimentícias são produtos que vem ganhando cada vez mais aceitabilidade pelos consumidores. No entanto, estes produtos apresentam baixo valor nutricional. A adição de vegetais ou outros ingredientes que alteram a cor, o sabor, o aroma e o conteúdo nutricional das massas alimentícias é uma boa alternativa para fabricação de um produto com características sensoriais e nutricionais atraentes ao consumidor. Todavia, grande parte dessas substâncias é susceptível a perdas durante o processamento e armazenamento. A embalagem e o tempo de armazenamento são fatores que exercem grande influência na manutenção das características desses produtos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética da alteração de cor e caracterizar as massas alimentícias ao longo de sua vida útil. Para isso, massas alimentícias de vários sabores foram armazenadas em embalagens transparentes e metalizadas. As cinéticas de variação global de cor (ΔE) foram acompanhadas ao longo da vida útil (120 dias) para cada um dos tratamentos, a fim de averiguar qual massa alimentícia apresentava maior perda de cor. Além disso, foram realizadas análises de umidade, aw, pH, acidez total titulável (ATT) e da qualidade tecnológica (tempo de cozimento, absorção de água, expansão de volume e perda de sólidos solúveis) das massas alimentícias após a fabricação e no final da vida útil. Foi observado que para os fatores embalagem e tempo de armazenamento houve diferença significativa ($p < 0,05$), pelo teste F, para alguns sabores, exceto para as massas alimentícias de beterraba e banana verde, que se apresentaram estáveis ao longo da vida útil. A massa alimentícia de espinafre armazenada em embalagem transparente foi a que apresentou o maior valor de ΔE em relação aos demais sabores. Já em relação à caracterização das massas alimentícias, somente a expansão de volume e a perda de sólidos solúveis foram significativos ($p < 0,05$), pelo teste Tukey, para os diferentes tratamentos. Portanto, verifica-se que os fatores embalagem e tempo de armazenamento são de suma importância na avaliação da perda de cor e nas demais características das massas alimentícias.

Palavras-chave: Massas alimentícias, sabores, cinética da variação global de cor, caracterização físico-química, caracterização tecnológica.

5.2 Introdução

A cor e a aparência de um alimento estão relacionadas com a intenção de compra e aceitação pelos consumidores. Além disso, a cor pode influenciar nas sensações globais e na qualidade dos alimentos de forma positiva ou negativa (CLYDESDALE, 1993; VAN DER LAAN et al., 2011; KAIMAINEN et al., 2015).

Nos últimos anos, os alimentos naturais tornaram-se de grande interesse para os consumidores, implicando na utilização de ingredientes naturais sem utilização ou redução de aditivos (SLOAN, 2001; MAHDAVI et al., 2014; KAIMAINEN et al., 2015). Alguns estudos sugerem que o alto consumo de aditivos pode gerar efeitos deletérios à saúde humana, principalmente em crianças, por serem mais susceptíveis às reações adversas. No entanto, os efeitos causados por essas substâncias dependem da frequência e quantidade (Kg/Peso) nas quais os aditivos são consumidos (POLÔNIO, 2002; POLÔNIO; PERES, 2009).

Desta forma, as indústrias de alimentos devem se adequar e atender à demanda atual dos consumidores por produtos mais naturais, com características sensoriais atraentes, isentos de contaminantes, nutricionalmente equilibrados e de preparo fácil e rápido (GUERRERO et al., 2000; MARINS; ARAÚJO; JACOB, 2011).

As massas alimentícias ou macarrão são produtos consumidos em quase todas as partes do mundo. No Brasil, este produto apresenta grande aceitação pelos consumidores por ser um produto de preparo simples, rápido, fácil e de baixo custo (GUERREIRO, 2006; MENEGASSI; LEONEL, 2006). No entanto, apesar da baixa resposta glicêmica e de todas suas características, as massas alimentícias apresentam deficiência em sua composição nutricional, pois são constituídas, basicamente, de carboidratos (~75%) e proteínas (~12%) (DENARDI et al., 2009; REIS, 2013).

O crescente consumo de massas alimentícias incentiva estudos relacionados ao desenvolvimento de novas formulações com o objetivo de atrair cada vez mais consumidores (ABIMAPI, 2018).

A adição de ingredientes que alteram a cor, o sabor e o aroma nas massas alimentícias é uma boa alternativa para fabricação de um produto com características sensoriais atraentes ao consumidor. Além disso, podem contribuir para o aumento do valor nutricional destes produtos e torná-los, ainda, alimentos

funcionais. Todavia, grande parte dessas substâncias é susceptível a perdas durante o processamento, armazenamento e preparo doméstico.

Os fatores embalagem e tempo de armazenamento são de grande importância na manutenção das características dos produtos. As embalagens possuem a função de proteger o produto das condições do ambiente, mantendo as características originais em que foi seco (SILVA; SOARES; GERALDINE, 2003). Além disso, por meio da embalagem ocorre o primeiro contato que o consumidor tem com o produto, sendo esta decisiva na intenção de compra (DELLA LUCIA et al., 2007).

Com isso, surge a necessidade de avaliar o efeito desses fatores durante a vida útil das massas alimentícias adicionadas de substâncias corantes, uma vez que esses produtos apresentam características diferenciadas, podendo contribuir para o aumento do consumo de massas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética da alteração de cor e caracterizar as massas alimentícias ao longo do tempo de armazenamento por meio de análises físico-químicas e tecnológicas.

5.3 Objetivos

5.3.1 Objetivo geral

Avaliar a cinética da alteração de cor e caracterizar as massas alimentícias ao longo do tempo de armazenamento por meio de análises físico-químicas e tecnológicas.

5.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as massas alimentícias da Agroindústria da Família Venturim quanto a sua composição físico-química e qualidade tecnológica, após a fabricação e no término da vida útil;
- Avaliar se ocorrem modificações decorrentes do uso de embalagens transparentes e metalizadas ao longo da vida útil das massas alimentícias;
- Analisar qual massa alimentícia perdeu mais cor ao longo do armazenamento;
- Calcular os valores de ΔE de cada tempo em relação ao tempo zero;
- Elaborar os gráficos com os valores de ΔE ao longo do tempo e ajustar modelos matemáticos para cada sabor;

- Escolher a massa alimentícia que apresenta maior variação de cor durante o tempo de armazenamento para ser utilizada na sequência da pesquisa.

5.4 Material e métodos

As massas alimentícias foram doadas pela Agroindústria da Família Venturim, localizada na cidade de Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo.

Os experimentos foram realizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia de Alimentos, localizados no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), em Alegre, Espírito Santo, Brasil.

5.4.1 Procedimento Experimental

A etapa 1 do presente trabalho consistiu na realização de análises físico-químicas (1.1) e tecnológicas (1.2) das massas alimentícias selecionadas da agroindústria da Família Venturim, principalmente análise colorimétrica, a fim de avaliar a perda de cor durante o tempo de armazenamento.

Na Figura 2, é apresentado o fluxograma metodológico do capítulo 1.

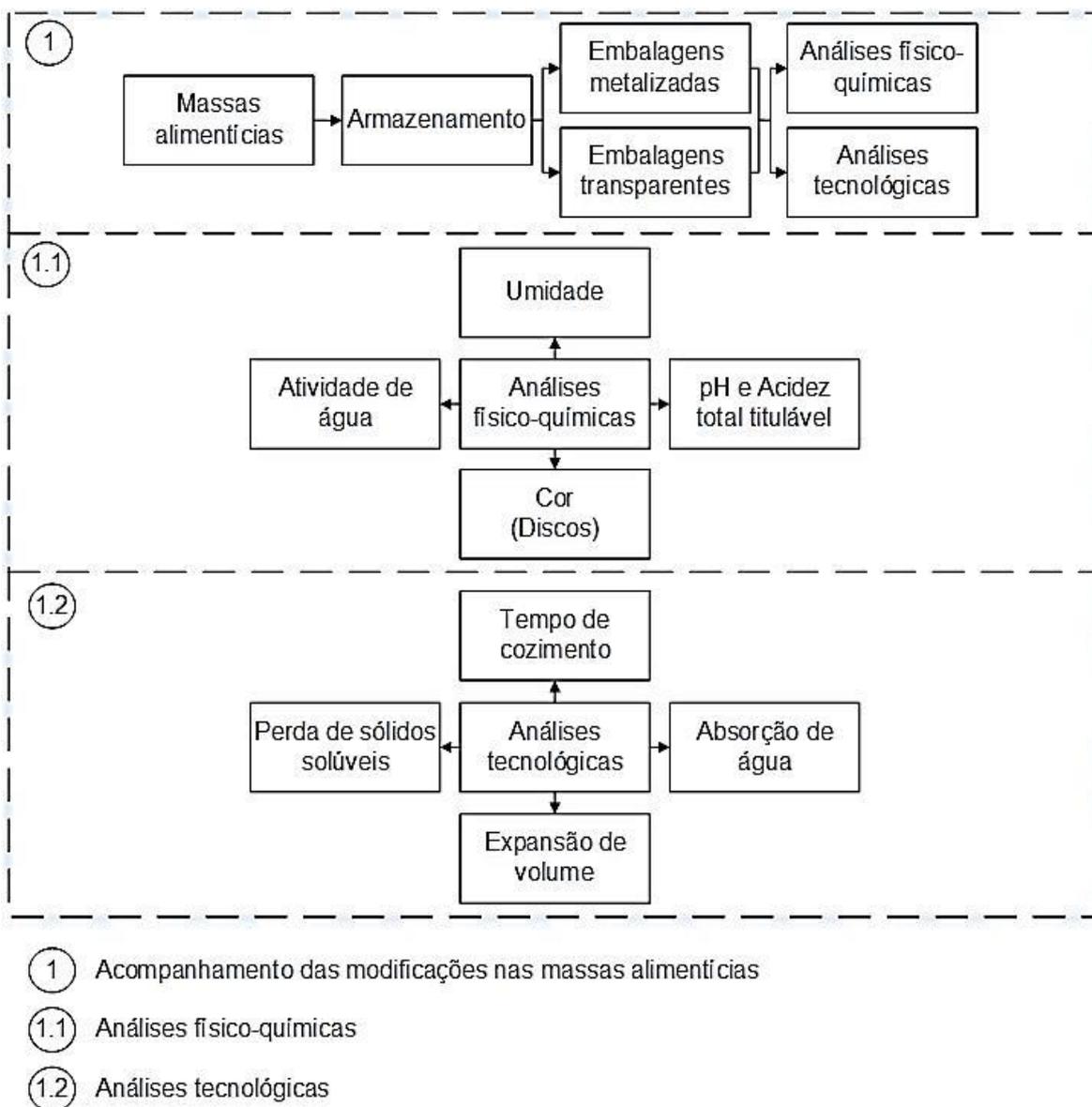


Figura 2 - Fluxograma do procedimento experimental do capítulo 1.

5.4.2 Preparo das amostras

As massas alimentícias foram elaboradas em formato talharim. Além disso, para a análise de cor, foram produzidos discos de massa de cada sabor, de aproximadamente 5 cm de diâmetro (Figura 3).



Figura 3 - Massas alimentícias em formato de discos para análise de cor.

O acondicionamento das amostras foi em embalagens transparentes e metalizadas durante 4 meses (validade estabelecida pela empresa).

A embalagem de plástico flexível metalizado tipo Stand-up Pouch é composta de duas camadas, sendo a camada interna de polietileno e a camada externa de poliéster metalizado. Já a embalagem de plástico flexível transparente tipo Stand-up Pouch é composta de duas camadas, sendo a camada interna Polietileno e a camada externa Poliéster. As taxas de permeabilidade ao oxigênio e ao vapor de água são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxa de permeabilidade ao oxigênio e vapor d'água das embalagens transparente e metalizada

Embalagem	Taxa de permeabilidade a 25 °C	
	*O ₂	**Vapor de H ₂ O
Transparente	< 110	< 6
Metalizada	< 60	< 5

Unidades: *cm³/m²/dia; **g/m²/dia.

Fonte: Tradbor, 2016.

5.4.3 Análises físico-químicas

Para as análises físico-químicas, as massas alimentícias foram moídas em moinho elétrico de facas, marca Solab, para obtenção de partículas de tamanho reduzido (peneira de 20 mesh), exceto os discos para análise de cor.

5.4.3.1 Análise colorimétrica

A análise de cor dos discos foi realizada em colorímetro (marca Konica Minolta, modelo Spectrophotometer CM-5) obtendo-se os parâmetros L* (luminosidade), a* (componente verde-vermelho) e b* (componente azul-amarelo),

para o cálculo da diferença total de cor (ΔE), Equação 1, mensurando a variação global da cor em relação a uma referência (CANER; ADAY, 2009; WROLSTAD; SMITH, 2010; HRUŠKOVÁ; ŠVEC; SEKEROVÁ, 2011). A referência, neste caso, foi o tempo inicial (tempo zero) de cada massa alimentícia.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (1)$$

em que, ΔE = Diferença global de cor; Δa^* = Variação da coordenada a^* ; Δb^* = Variação da coordenada b^* ; ΔL^* = Variação da coordenada L^* .

5.4.3.2 Análise de umidade

A determinação da umidade das massas alimentícias foi realizada pelo método de secagem direta em estufa (IAL, 2008). Foram utilizados 5,0 g da massa alimentícia moída, a qual foi submetida à secagem em estufa a 105 °C até peso constante. A umidade foi determinada pela Equação 2 e o resultado foi expresso em porcentagem base úmida (% bu).

$$U_{bu}(\%) = \frac{\text{Quantidade de água}}{\text{Quantidade de amostra}} * 100 \quad (2)$$

5.4.3.3 Atividade de água

A atividade de água (a_w) foi determinada por medida direta em medidor de atividade de água LabMaster, da Novasina AG.

5.4.3.4 Análise de pH

Para análise de pH, foram pesados 5,0 g da amostra moída e foram adicionados 50 mL de água destilada. A mistura foi agitada a 400 rpm por 15 minutos em chapa com agitador magnético. Em seguida, foi realizada a leitura em potenciômetro (marca Metrohm, modelo 826 pH mobile), a temperatura ambiente (IAL, 2008).

5.4.3.5 Acidez total titulável

A análise de acidez total titulável (ATT) foi realizada a partir do mesmo extrato da análise de pH, por titulação com NaOH 0,1 N, utilizando-se fenolftaleína como indicador (IAL, 2008). A acidez foi calculada de acordo com a Equação 3 e os

resultados foram expressos como acidez em solução molar por cento (v/m), em base seca.

$$ATT = \frac{Vg * Fc * 100}{A * c} \quad (3)$$

em que, ATT = acidez total titulável, expressa em acidez molar por cento (v/m); N = normalidade do NaOH; Vg = volume gasto de NaOH na titulação; Fc = fator de correção do NaOH; A = massa da amostra, em base seca; c = correção para solução de NaOH 1 N, 10 para solução NaOH 0,1 N ou 100 para solução NaOH 0,01 N.

5.4.4 Análises da qualidade tecnológica das massas alimentícias

As análises para determinação da qualidade das massas alimentícias foram realizadas de acordo com adaptação do método nº 16-50 da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995).

5.4.4.1 Tempo de cozimento

O tempo de cozimento foi determinado após a cocção de 10,0 g do produto colocados em 500 mL de água destilada em ebulição. As amostras foram comprimidas entre duas lâminas de vidro, a intervalos de tempo determinados, até que o núcleo branco do centro da massa desaparecesse. Após isso, a massa alimentícia foi considerada cozida.

5.4.4.2 Absorção de água

A absorção de água (AA) foi determinada pela relação entre o peso da massa cozida pelo peso da massa crua, expresso em porcentagem (%), de acordo com a Equação 4. Uma amostra de 10,0 g foi submetida ao cozimento, sendo determinada sua massa após esse processo. Para isso, utilizou-se o tempo de cozimento ideal obtido no item 5.4.4.1 para cada amostra.

$$\% AA = \frac{\text{Massa do macarrão cozido}}{\text{Massa do macarrão cru}} \times 100 \quad (4)$$

5.4.4.3 Expansão de volume

A expansão de volume (EV) foi determinada pela razão entre o volume deslocado de tolueno por 10,0 g de produto após o cozimento pelo volume deslocado advindo das 10,0 g do produto cru. As amostras foram colocadas em uma proveta contendo 60 mL de tolueno. Em seguida, aferiu-se o volume deslocado pelas massas crua e cozida. A expansão de volume foi expressa em porcentagem (%), de acordo com a Equação 5.

$$\%EV = \frac{\text{Volume de tolueno deslocado do macarrão cozido (mL)}}{\text{Volume de tolueno deslocado do macarrão cru (mL)}} \times 100 \quad (5)$$

5.4.4.4 Perda de sólidos solúveis

Para a determinação da perda de sólidos solúveis, foi coletado e medido, numa proveta, a água drenada depois do cozimento da massa alimentícia. Posteriormente, uma alíquota de 10 mL da água de cozimento de cada amostra foi coletada (em duplicata) e disposta em placa de Petri, sendo levada à estufa a 105 °C até peso constante. A porcentagem de perda de solúveis foi dada pela Equação 6.

$$\% \text{ Perda de sólidos solúveis} = \frac{(\text{Volume de água} \times \text{Massa do resíduo seco}) \times 10}{\text{Massa do macarrão cru}} \quad (6)$$

5.4.5 Seleção da massa alimentícia com maior perda de cor

Na etapa de avaliação da cor dos discos de massas alimentícias, foi escolhida a massa alimentícia que apresentou maior variação global de cor (ΔE) ao longo do tempo de armazenamento. O valor de ΔE no final dos 120 dias foi previsto pelo modelo matemático ajustado aos dados experimentais.

O modelo matemático escolhido para representar a variação global de cor ao longo do tempo de armazenamento foi um modelo exponencial, apresentado na Equação 7.

$$y = a \cdot (1 - (e^{-b \cdot x})) \quad (7)$$

em que, a e b são parâmetros do modelo e x é o tempo, em horas.

5.4.6 Planejamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento foi realizado em um fatorial completo, no delineamento em blocos casualizados (D.B.C.), com dois blocos. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Para a análise de cor dos discos, foram testados 16 níveis de sabor, 2 níveis de embalagem (transparentes e metalizadas) e 14 níveis do fator tempo de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12, 15, 21, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com posterior desdobramento ou não, dependendo da interação. Para o fator quantitativo tempo de armazenamento, os dados foram submetidos à análise de regressão e ajuste de modelos matemáticos. Para o fator embalagem, a ANOVA foi conclusiva.

Para as demais análises físico-químicas e tecnológicas, os fatores avaliados foram: sabor, com 16 níveis, e tratamento, com 3 níveis (Tempo zero (T0), Tempo 120 dias/embalagem transparente (T120-ET); Tempo 120 dias/embalagem metalizada (T120-EM)). Os dados foram submetidos à ANOVA, com posterior desdobramento ou não, dependendo da interação, sendo utilizado o teste Tukey ($p < 0,05$) para comparação entre as médias.

As análises estatísticas foram realizadas empregando os softwares Statistica versão 7.0 e SigmaPlot versão 11.0 ao nível de 5% de probabilidade.

5.5 Resultados e discussão

5.5.1 Análises físico-químicas

As respostas para umidade, a_w , pH e ATT não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, entre os tratamentos avaliados para cada sabor (T0, T120-ET, T120-EM). Com isso, os resultados foram expressos como a média mais ou menos o desvio padrão (Tabela 2).

Os dois tipos de embalagens testados mantiveram as propriedades físico-químicas após 4 meses de armazenamento, uma vez que T120-ET e T120-EM não diferiram de T0, para todos os sabores avaliados.

Tabela 2 - Valores médios e desvio-padrão de umidade, aw, pH e ATT dos tratamentos de cada sabor

Massas alimentícias	Umidade*	Aw	pH	ATT**
Abóbora	10,45 ± 0,45	0,62 ± 0,06	5,76 ± 0,13	5,35 ± 0,88
Alecrim	10,90 ± 0,74	0,64 ± 0,06	5,92 ± 0,21	7,15 ± 1,01
Banana Verde	10,94 ± 1,04	0,63 ± 0,05	6,10 ± 0,34	7,55 ± 0,98
Beterraba	11,04 ± 0,54	0,68 ± 0,06	5,33 ± 0,32	6,47 ± 0,76
Café	10,80 ± 1,11	0,66 ± 0,05	5,65 ± 0,30	10,95 ± 1,80
Chocolate	9,85 ± 0,82	0,60 ± 0,04	6,46 ± 0,11	5,83 ± 0,87
Tradicional	10,24 ± 1,56	0,63 ± 0,06	6,11 ± 0,12	6,02 ± 0,82
Espinafre	10,94 ± 0,88	0,64 ± 0,09	5,94 ± 0,23	4,59 ± 0,64
Gengibre	10,59 ± 0,63	0,63 ± 0,04	5,89 ± 0,12	7,36 ± 0,87
Inhame	9,97 ± 1,18	0,59 ± 0,04	6,14 ± 0,57	6,69 ± 0,77
Manjeriçã	9,97 ± 1,17	0,60 ± 0,03	5,97 ± 0,14	7,18 ± 0,01
Pimenta	10,44 ± 0,51	0,61 ± 0,03	5,77 ± 0,07	7,60 ± 0,99
Queijo	9,49 ± 0,67	0,59 ± 0,02	5,72 ± 0,10	14,49 ± 0,79
Socol	9,79 ± 1,16	0,58 ± 0,04	6,04 ± 0,11	10,83 ± 1,40
Tomate seco	9,61 ± 0,70	0,61 ± 0,03	5,76 ± 0,21	10,58 ± 1,17
Vinho	10,98 ± 0,51	0,66 ± 0,05	4,36 ± 0,05	10,18 ± 0,96

Unidades: * % base úmida; ** Solução molar por cento (v/m), em base seca.

A comparação das respostas entre os sabores não foi averiguada, uma vez que não foi o objetivo do presente estudo.

A umidade de todos os sabores está de acordo com o estabelecido pela RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000 da ANVISA, que estabelece um valor máximo de 13%, em base úmida, para massas alimentícias secas (BRASIL, 2000).

O valor de atividade de água inferior a 0,60 está relacionado com uma baixa mobilidade molecular promovendo, assim, uma diminuição da taxa de velocidade das reações enzimáticas, químicas e microbiológicas. Valores acima de 0,6 torna o alimento mais susceptível ao desenvolvimento de fungos, leveduras e bactérias. Sendo assim, a maioria dos alimentos desidratados são considerados estáveis microbiologicamente (CHISTÉ et al., 2006; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Neste estudo, as amostras de massas alimentícias apresentaram valores de

aw mínimo e máximo de $0,58 \pm 0,04$ a $0,68 \pm 0,06$, respectivamente, estando próximos de 0,6.

No presente trabalho, o menor e maior valor de pH encontrado foi de $4,36 \pm 0,05$ e $6,46 \pm 0,11$ para as massas alimentícias de vinho e chocolate, respectivamente. Os demais sabores encontraram-se dentro dessa faixa. Resta; Oliveira (2013) ao avaliarem o pH de massas alimentícias tradicionais secas e frescas, com e sem recheio, encontraram valores que variaram entre $5,69 \pm 0,43$ e $6,12 \pm 0,23$. Com exceção da massa alimentícia de vinho, os demais sabores apresentaram valor de pH próximo ao encontrado por esses autores. Já para ATT, o maior valor encontrado foi para a massa alimentícia de queijo e o menor para a de espinafre com valores de $14,49 \pm 0,79$ e $4,59 \pm 0,64$ (molar por cento (v/m), em base seca), respectivamente.

5.5.1.1 Variação global de cor das massas alimentícias durante a vida útil

As massas alimentícias de beterraba e banana verde não apresentaram efeitos significativos ($p > 0,05$), pelo teste F, para os fatores tempo de armazenamento e embalagem.

Os sabores de abóbora, alecrim, inhame, manjeriço, socol, tradicional, gengibre e espinafre apresentaram interação significativa ($p < 0,05$), pelo teste F. O comportamento da cinética de variação global de cor (ΔE) destas massas alimentícias ao longo do tempo de armazenamento nas embalagens transparentes e metalizadas é apresentado nas Figuras 4 e 5.

Já as massas alimentícias de café, chocolate, queijo, pimenta, tomate seco e vinho não apresentaram interação significativa, mas o fator tempo de armazenamento foi significativo (Figura 6).

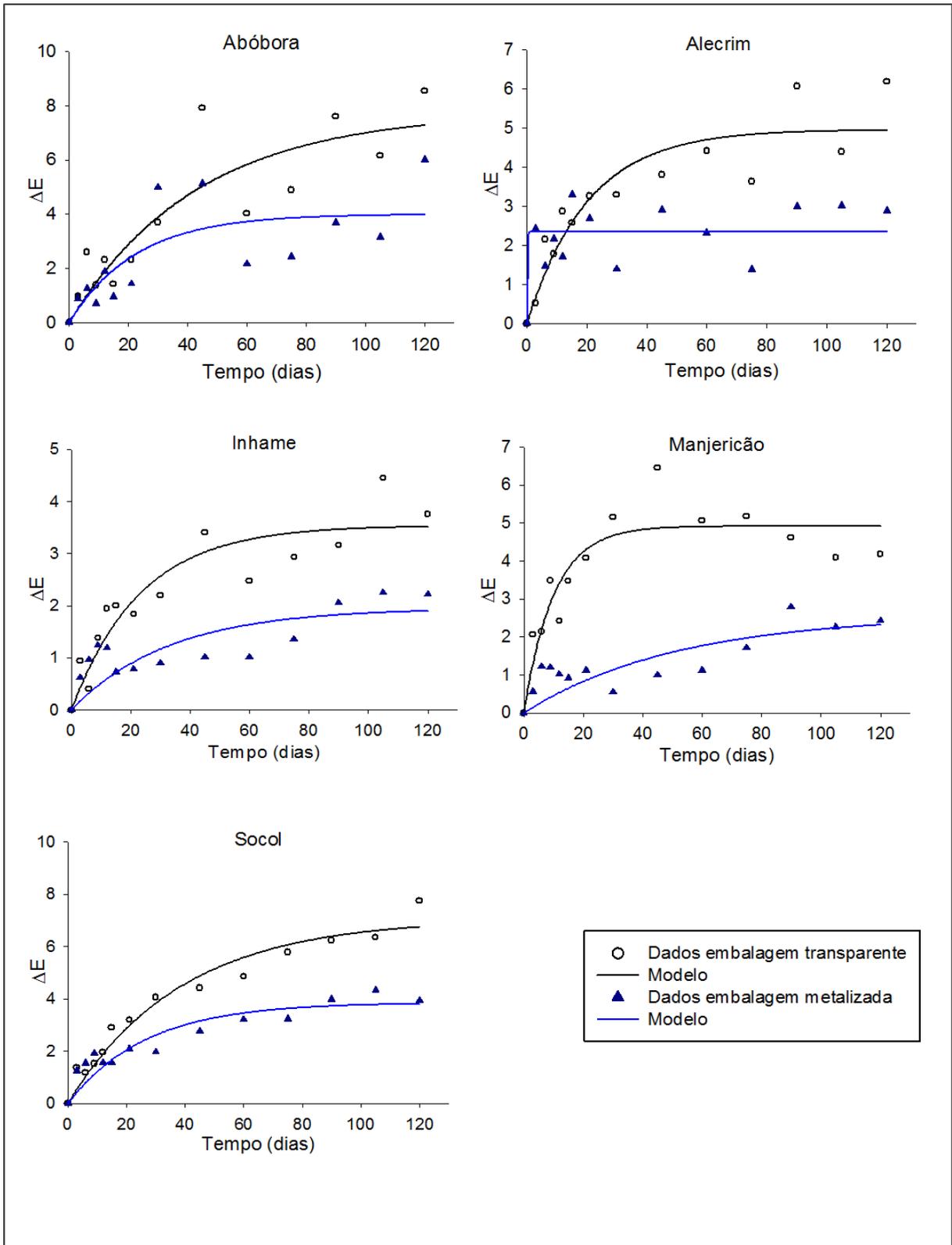


Figura 4 - Cinética da variação global de cor das massas alimentícias de abóbora, alecrim, inhame, manjeriçao e socol.

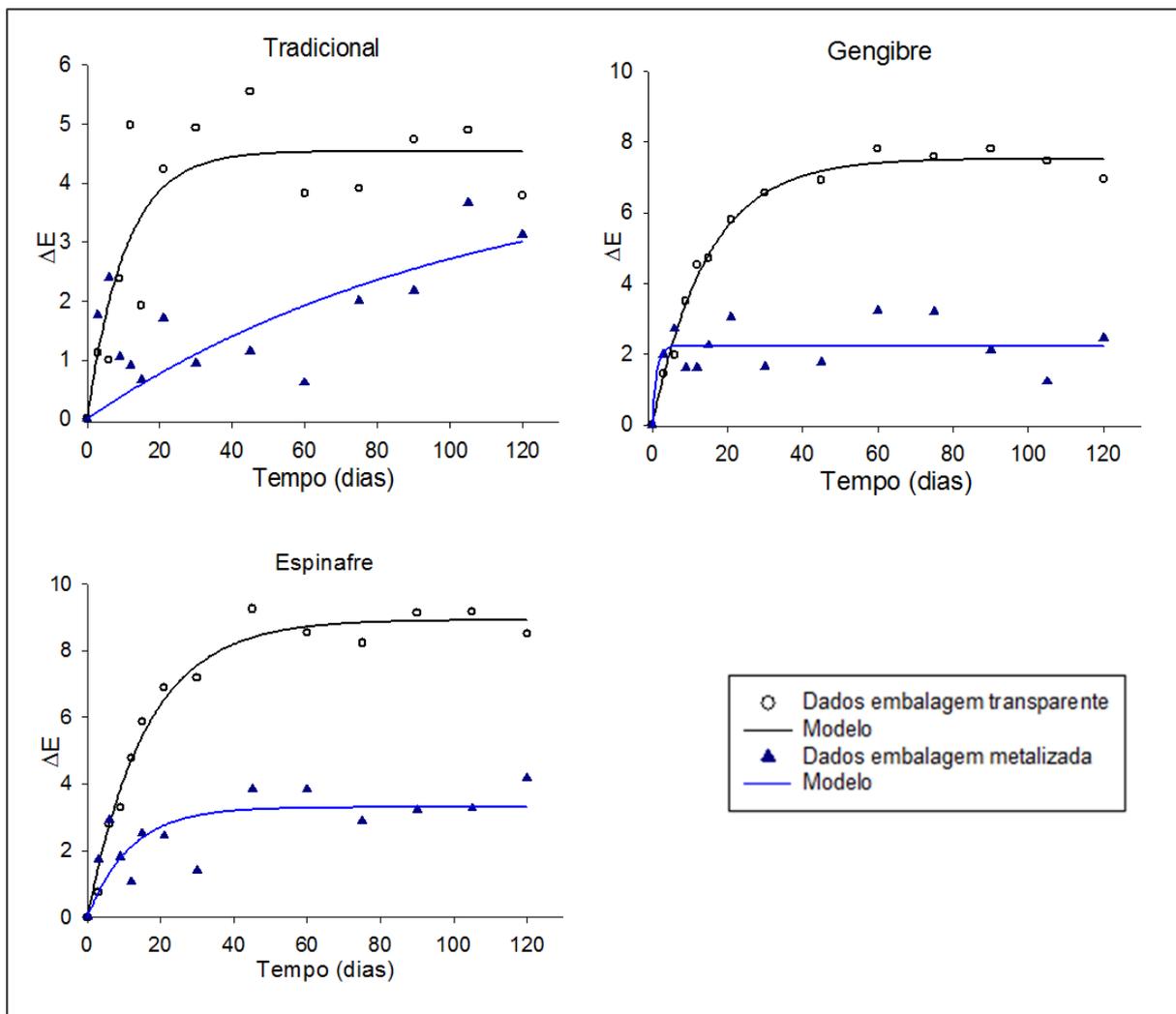


Figura 5 - Cinética da variação global de cor das massas alimentícias tradicional, gengibre e espinafre.

As massas alimentícias armazenadas nas embalagens metalizadas apresentaram menor variação global de cor ao longo do tempo de armazenamento em relação às embalagens transparentes, para todos os sabores apresentados nas Figuras 4 e 5.

A massa alimentícia de espinafre foi a que apresentou a maior variação entre as embalagens transparente e metalizada, sendo verificado o maior valor de ΔE para a embalagem transparente ao longo do tempo de armazenamento.

O fator embalagem das massas alimentícias de inhame e tradicional, embora significativo, exerceu uma pequena influência no valor final de ΔE , uma vez que os valores finais estimados pelo modelo se encontram próximos para as duas embalagens.

A variação de cor das massas alimentícias ocorre principalmente durante o processamento e armazenamento (TRONO; PASTORE; DI FONZO, 1998). Alguns pigmentos como, por exemplo, carotenoides (β -caroteno, luteína) e clorofilas são instáveis na presença de luz, oxigênio e temperatura (SCHOEFS, 2002; TRÊS et al., 2007). A oxidação dos carotenoides gera a maior perda de cor durante o armazenamento, sendo acelerada pela presença de catalizadores metálicos, luz e temperatura (SARANTÓPOULOS; OLIVEIRA; CANAVESI, 2001). Por possuírem uma natureza insaturada, os carotenoides são susceptíveis a isomerização e oxidação, levando à perda de cor dos produtos (ESKIN, 1990).

O fator embalagem não exerceu influência significativa ($p > 0,05$) sobre alguns sabores, sendo significativo ($p < 0,05$) somente o fator tempo de armazenamento. Com isso, os resultados foram expressos como a média de ΔE ao longo do tempo de armazenamento, conforme apresentado na Figura 6.

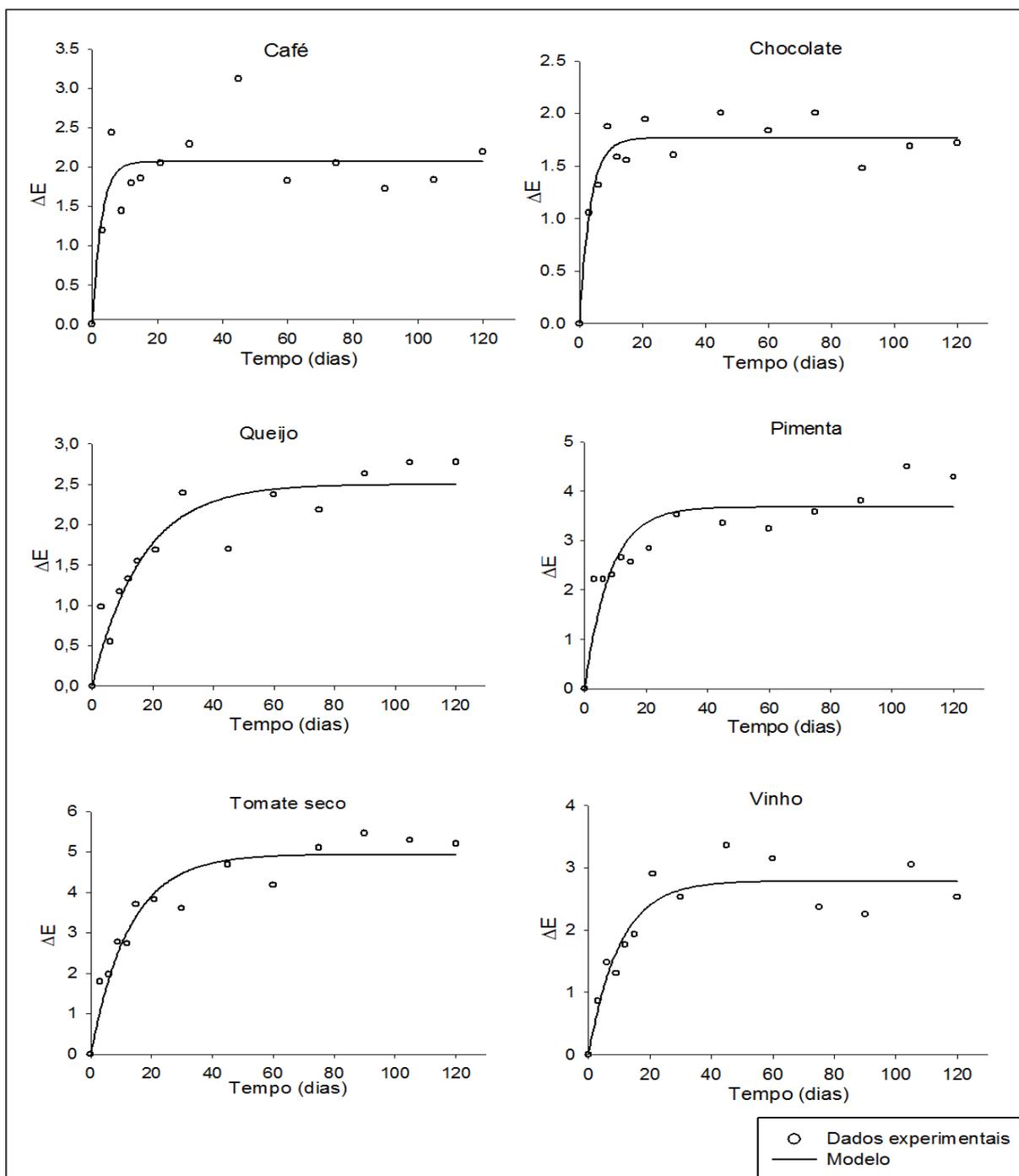


Figura 6 - Cinética da variação global de cor das massas alimentícias que não diferiram entre as embalagens.

As massas alimentícias de café, chocolate, queijo, pimenta, tomate seco e vinho podem ser armazenadas em embalagens transparentes ou metalizadas, uma vez que o fator embalagem não foi significativo para esses sabores.

A cor característica do café torrado e do chocolate é devido à formação de compostos escuros (melanoidinas). As melanoidinas são substâncias formadas pela reação de Maillard e apresentam coloração variando de marrom claro a preto

(PLAVSIC; COSOVIC; LEE, 2006; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Além disso, as melanoidinas são consideradas compostos bioativos, pois possuem atividade antioxidante, ação anti-inflamatória, entre outros (DELGADO-ANDRADE; RUFIAÑ-HENARES; MORALES, 2005; ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; SAKKAS et al., 2014). Essas substâncias são estáveis (FRANCISQUINI et al., 2017) e, por isso, sofrem pouca alteração de cor ao longo do tempo de armazenamento.

O licopeno, carotenoide presente no tomate seco e na pimenta vermelha, possui várias ligações duplas, sendo susceptível às reações de isomerização e oxidação durante o processamento e estocagem. Estas reações promovem perda da atividade biológica e da cor (MATIOLI; RODRIGUEZ-AMAYA, 2002). No presente estudo, a embalagem não influenciou na variação global das massas alimentícias de pimenta e tomate seco. Para esses sabores, somente o tempo de armazenamento foi significativo. Fato semelhante foi verificado para as massas alimentícias de queijo e vinho.

Os valores de ΔE previstos pelo modelo ao final de 120 dias e os respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da regressão (S) e os modelos matemáticos ajustados de cada massa alimentícia são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de ΔE previstos pelo modelo, R^2 , S e modelos matemáticos ajustados

Sabor	Embalagem	ΔE	R^2	S	Modelos ajustados
Abóbora	Transparente	7,2746	0,7896	1,3281	$\Delta E = 7,7465 (1 - e^{(-0,0233 t)})$
	Metalizada	3,9736	0,5787	1,2555	$\Delta E = 3,9923 (1 - e^{(-0,0447 t)})$
Alecrim	Transparente	4,9419	0,8397	0,7450	$\Delta E = 4,9522 (1 - e^{(-0,0494 t)})$
	Metalizada	2,3542	0,5228	0,6778	$\Delta E = 2,3542 (1 - e^{(-7,8130 t)})$
Banana Verde	Transparente	1,7852**	-	-	-
	Metalizada				
Beterraba	Transparente	2,0020**	-	-	-
	Metalizada				
Café	Transparente	2,0268*	0,6563	0,4274	$\Delta E = 2,0681 (1 - e^{(-0,3601 t)})$
	Metalizada				
Chocolate	Transparente	1,7650*	0,8866	0,1822	$\Delta E = 1,7645 (1 - e^{(-0,2858 t)})$
	Metalizada				
Tradicional	Transparente	4,5337	0,7483	0,9211	$\Delta E = 4,5338 (1 - e^{(-0,0952 t)})$
	Metalizada				
Espinafre	Transparente	8,9102	0,9788	0,4846	$\Delta E = 8,9150 (1 - e^{(-0,0670 t)})$
	Metalizada				
Gengibre	Transparente	7,5184	0,9876	0,3006	$\Delta E = 7,5206 (1 - e^{(-0,0679 t)})$
	Metalizada				
Inhame	Transparente	3,5163	0,8513	0,5103	$\Delta E = 2,5365 (1 - e^{(-0,0431 t)})$
	Metalizada				
Manjeriçõ	Transparente	4,9161	0,8226	0,7259	$\Delta E = 4,9161 (1 - e^{(-0,0992 t)})$
	Metalizada				
Pimenta	Transparente	3,6751*	0,7997	0,5220	$\Delta E = 3,6752 (1 - e^{(-0,1218t)})$
	Metalizada				
Queijo	Transparente	2,4952*	0,8792	0,3092	$\Delta E = 2,4966 (1 - e^{(-0,0617 t)})$
	Metalizada				
Socol	Transparente	6,7490	0,9553	0,5120	$\Delta E = 7,0575 (1 - e^{(-0,0261 t)})$
	Metalizada				
Tomate seco	Transparente	4,9320*	0,9211	0,0785	$\Delta E = 4,9328 (1 - e^{(-0,0785 t)})$
	Metalizada				
Vinho	Transparente	2,7844*	0,8646	0,3641	$\Delta E = 2,7835 (1 - e^{(-0,0985 t)})$
	Metalizada				

*Somente o fator tempo de armazenamento foi significativo. Então, utilizou-se a média de ΔE das embalagens.

**Como os fatores foram não significativos, utilizou-se a média de ΔE .

Os modelos matemáticos ajustados e os parâmetros do modelo apresentaram-se significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F e teste t, respectivamente. O valor de R^2 foi satisfatório para a maioria dos sabores e o valor do erro padrão da regressão apresentou-se baixo. Alguns valores de R^2 foram pequenos, mas o modelo apresentou-se significativo, sendo utilizado, portanto, o modelo matemático exponencial (Equação 7) para representar os dados experimentais.

De acordo com a Tabela 3, a maior variação global de cor no final de 120 dias foi para a massa alimentícia de espinafre armazenada em embalagem transparente ($\Delta E = 8,9102$) em comparação com todos os sabores. Esse mesmo sabor armazenado em embalagem metalizada apresentou valor de ΔE de 3,2955. A grande diferença verificada é devido à instabilidade da clorofila na presença de luz (SCHOEFS, 2002).

A embalagem metalizada impede a passagem direta da luz para o produto, promovendo, assim, uma menor degradação do pigmento ao longo do tempo de armazenamento (Figura 7). Além disso, apresenta menor taxa de permeabilidade ao oxigênio ($< 60 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{dia}$) do que a transparente ($< 110 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{dia}$) contribuindo, também, para uma menor degradação do pigmento.



Figura 7 - Massa alimentícia de espinafre em embalagens metalizada (A) e transparente (B) após 120 dias de armazenamento.

As massas alimentícias de banana verde e beterraba não sofreram alteração com o tempo de armazenamento e com a embalagem.

A coloração característica da beterraba é resultante da alta concentração de betalaínas. As betalaínas são pigmentos nitrogenados, hidrossolúveis, possuem um grande potencial corante para competir com os corantes artificiais (JANISZEWSKA, 2014) e apresentam atividade antioxidante e antitumoral (GEORGIEV et al., 2010; JANISZEWSKA, 2014). Este pigmento é instável a presença de luz, oxigênio, atividade de água, pH e temperatura (REYNOSO et al., 1997; JANISZEWSKA,

2014). Além disso, as betalaínas se degradam facilmente em solução, mas em condições de atividade de água (a_w) baixa se mantêm estáveis devido à pequena mobilidade dos componentes na matriz (PITALUA et al., 2010). Sendo assim, no presente estudo, a estabilidade da cor da massa alimentícia de beterraba durante o tempo de armazenamento pode ter permanecido estável devido à atividade de água reduzida das massas alimentícias.

Segundo a escala de variação global de cor Konica Minolta (1998), os valores de ΔE podem ser classificados como diferenças de cor imperceptível ($\Delta E < 0,2$), muito pequena ($0,2 \leq \Delta E < 0,5$), pequena ($0,5 \leq \Delta E < 1,5$), distinguível ($1,5 \leq \Delta E < 3,0$), facilmente distinguível ($3,0 \leq \Delta E < 6,0$) e grande diferença de cor ($6,0 \leq \Delta E \leq 12,0$).

No presente estudo, as massas alimentícias de socol, abóbora, gengibre e espinafre das embalagens transparentes apresentaram valor de ΔE de 6,75; 7,27; 7,52 e 8,91, respectivamente, estando situadas dentro da faixa de grande diferença de cor. O sabor que apresentou a maior variação global de cor foi o espinafre na embalagem transparente em comparação com todos os sabores. Já esses mesmos sabores armazenados em embalagens metalizadas apresentaram menor valor de ΔE , sendo classificados como diferença de cor facilmente distinguível ($3,0 \leq \Delta E < 6,0$), exceção para o sabor de gengibre que se enquadrou na faixa de diferença de cor distinguível.

As massas alimentícias que foram influenciadas somente pelo tempo de armazenamento como café, chocolate, queijo e vinho e as que não foram influenciadas por nenhum dos dois fatores como banana verde e beterraba encontraram-se, também, dentro da faixa de diferença de cor distinguível, exceto as massas alimentícias de pimenta e tomate seco, pois apresentaram maior valor de ΔE , sendo classificadas como diferença de cor facilmente distinguível. A massa alimentícia de chocolate foi a que apresentou menor variação global de cor durante sua vida útil ($\Delta E = 1,7650$).

Assim, verifica-se que os fatores embalagem e tempo de armazenamento são de grande importância na manutenção das características dos produtos, principalmente em relação à cor das massas alimentícias durante a sua vida útil.

5.5.2 Caracterização da qualidade tecnológica

As respostas de tempo de cozimento e absorção de água não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F entre os tratamentos avaliados para cada sabor (T0, T120-ET, T120-EM). Sendo assim, os resultados foram expressos como a média mais ou menos o desvio padrão dos tratamentos de cada sabor (Tabela 4)

Tabela 4 - Valores médios e desvio-padrão do tempo de cozimento e absorção de água dos tratamentos de cada sabor

Massas alimentícias	Tempo de cozimento (min)	Absorção de água (%)
Abóbora	6,50 ± 0,55	252,81 ± 16,71
Alecrim	10,20 ± 0,75	264,81 ± 13,76
Banana Verde	8,80 ± 0,42	254,39 ± 12,73
Beterraba	7,00 ± 0,89	243,24 ± 17,11
Café	10,90 ± 1,28	259,15 ± 10,83
Chocolate	11,40 ± 0,66	264,63 ± 17,67
Tradicional	9,70 ± 1,03	261,13 ± 17,65
Espinafre	6,30 ± 0,52	248,22 ± 9,36
Gengibre	11,40 ± 0,66	268,88 ± 11,07
Inhame	8,80 ± 0,75	251,10 ± 15,58
Manjericão	11,00 ± 1,10	267,57 ± 14,33
Pimenta	8,60 ± 1,11	255,82 ± 10,74
Queijo	8,40 ± 0,92	239,50 ± 14,76
Socol	9,90 ± 0,66	262,38 ± 11,42
Tomate seco	10,80 ± 0,75	282,34 ± 10,14
Vinho	4,80 ± 0,41	231,34 ± 7,81

O tempo de cozimento varia em função do tamanho e formato das massas alimentícias (CASAGRANDE et al., 1999) e este influencia, também, na intenção de compra do produto, uma vez que os consumidores buscam alimentos de preparo rápido, prático e com qualidade nutricional (REIS, 2013). No presente estudo, o tempo de cocção variou entre 4,80 ± 0,41 a 11,40 ± 0,66 minutos, sendo o menor valor para massa alimentícia de vinho e o maior para a de gengibre.

Para a absorção de água, o adequado é aumentar aproximadamente 2 vezes o peso original ($\pm 200\%$) (CASAGRANDE et al., 1999). Neste estudo, os valores de absorção de água encontraram-se entre $231,34 \pm 7,81$ a $282,34 \pm 10,14\%$, para as massas alimentícias de vinho e tomate seco, nesta ordem. Verifica-se, portanto, que as massas alimentícias de todos os sabores estão de acordo com os dados relatados na literatura.

Já a expansão de volume e a perda de sólidos solúveis apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey entre os tratamentos avaliados para cada sabor (T0, T120-ET, T120-EM). Sendo assim, os resultados foram expressos como a média mais ou menos o desvio padrão de cada tratamento, para cada sabor (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 - Valores médios e desvio-padrão da expansão de volume de cada tratamento para cada sabor

Sabores das massas alimentícias	Tratamento		
	T0	T120-T	T120-M
Abóbora	$310,27 \pm 12,00^a$	$280,21 \pm 7,37^a$	$281,25 \pm 8,84^a$
Alecrim	$308,84 \pm 12,50^a$	$295,18 \pm 10,86^a$	$303,13 \pm 4,42^a$
Banana Verde	$314,29 \pm 11,36^a$	$268,75 \pm 8,84^b$	$353,13 \pm 4,42^a$
Beterraba	$261,61 \pm 15,94^a$	$278,39 \pm 13,64^a$	$290,00 \pm 3,90^a$
Café	$290,63 \pm 13,26^a$	$288,89 \pm 15,71^a$	$309,25 \pm 4,24^a$
Chocolate	$335,71 \pm 15,20^a$	$303,13 \pm 4,42^{ab}$	$293,75 \pm 5,66^b$
Tradicional	$329,91 \pm 1,89^a$	$303,13 \pm 4,42^a$	$296,88 \pm 4,42^a$
Espinafre	$268,93 \pm 16,16^b$	$320,93 \pm 10,46^a$	$275,00 \pm 5,66^b$
Gengibre	$309,38 \pm 13,26^a$	$278,13 \pm 16,10^a$	$284,38 \pm 4,42^a$
Inhame	$306,88 \pm 15,56^a$	$287,50 \pm 17,68^a$	$300,00 \pm 16,02^a$
Manjeriçao	$333,75 \pm 12,37^a$	$306,25 \pm 8,84^a$	$303,13 \pm 13,26^a$
Pimenta	$300,80 \pm 18,81^a$	$230,54 \pm 11,36^a$	$316,00 \pm 4,95^a$
Queijo	$317,41 \pm 15,78^a$	$266,50 \pm 9,90^b$	$275,00 \pm 17,68^b$
Socol	$304,95 \pm 7,00^a$	$306,43 \pm 9,09^a$	$320,54 \pm 11,36^a$
Tomate seco	$351,61 \pm 4,80^a$	$317,50 \pm 7,07^a$	$321,00 \pm 5,66^a$
Vinho	$259,38 \pm 4,42^a$	$265,18 \pm 12,63^a$	$259,38 \pm 4,42^a$

Pares de médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$).

As massas alimentícias de banana verde, chocolate, espinafre e queijo foram as únicas que apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), pelo teste Tukey, entre os tratamentos. Para o sabor de banana verde, o tratamento T0 foi igual estatisticamente ao T120-EM, porém ambos diferiram do T120-ET. O mesmo comportamento foi verificado para a massa alimentícia de espinafre.

A massa alimentícia de chocolate apresentou diferença entre o tempo inicial e a embalagem metalizada após 120 dias de armazenamento. Entretanto, não houve diferença entre as embalagens metalizada e transparente. Já a massa alimentícia de queijo apresentou a maior média no tempo inicial diferindo dos demais tratamentos.

De acordo com Casagrandi et al. (1999) e Hummel (1966), para o aumento de volume de massas alimentícias são esperados valores entre 200 a 300%. O resultado encontrado para todas as massas alimentícias de todos os tratamentos está dentro da faixa recomendada por esses autores.

Na Tabela 6 é apresentada a perda de sólidos solúveis (PSS), em porcentagem, de cada tratamento para cada massa alimentícia.

Tabela 6 - Valores médios e desvio-padrão da PSS de cada tratamento para cada sabor

Sabores das massas alimentícias	Tratamento		
	T0	T120-T	T120-M
Abóbora	5,02 ± 0,24 ^a	7,00 ± 0,66 ^a	6,65 ± 1,02 ^a
Alecrim	4,19 ± 0,11 ^a	4,67 ± 0,56 ^a	3,77 ± 0,24 ^a
Banana Verde	5,02 ± 0,44 ^a	5,21 ± 0,15 ^a	4,77 ± 0,88 ^a
Beterraba	6,42 ± 1,11 ^b	8,75 ± 0,72 ^a	7,03 ± 0,38 ^{ab}
Café	5,61 ± 0,43 ^a	6,78 ± 0,27 ^a	5,85 ± 0,63 ^a
Chocolate	7,07 ± 0,32 ^a	7,14 ± 3,03 ^a	7,07 ± 1,22 ^a
Tradicional	3,78 ± 0,59 ^a	4,62 ± 0,58 ^a	3,93 ± 0,45 ^a
Espinafre	5,75 ± 0,13 ^a	7,13 ± 1,82 ^a	5,36 ± 0,16 ^a
Gengibre	4,02 ± 1,16 ^a	5,83 ± 0,30 ^a	4,90 ± 1,59 ^a
Inhame	5,10 ± 0,16 ^a	4,73 ± 0,04 ^a	4,91 ± 0,25 ^a
Manjerição	6,12 ± 0,75 ^a	5,93 ± 0,06 ^a	5,03 ± 1,12 ^a
Pimenta	7,15 ± 2,30 ^a	7,76 ± 1,06 ^a	6,49 ± 0,53 ^a
Queijo	5,20 ± 0,95 ^a	5,26 ± 0,54 ^a	4,68 ± 0,49 ^a
Socol	5,61 ± 0,07 ^a	7,49 ± 0,45 ^a	6,49 ± 0,60 ^a
Tomate seco	7,14 ± 0,49 ^a	8,78 ± 1,66 ^a	8,54 ± 1,86 ^a
Vinho	5,95 ± 0,74 ^a	6,24 ± 0,54 ^a	5,82 ± 0,13 ^a

Pares de médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$).

A massa alimentícia de beterraba foi a única que apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), pelo teste Tukey, entre os tratamentos. A amostra armazenada na embalagem transparente após 120 dias (T120-ET) apresentou diferença do tempo zero, mas não diferiu do tratamento T120-EM.

Em relação à perda de sólidos solúveis (PSS), Hummel (1966) e Ormenese; Chang (2003) classificam as massas alimentícias como de ótima qualidade quando a PSS é inferior a 6%, entre 6 e 8% são de média qualidade e superiores a 10% são consideradas de baixa qualidade. Neste estudo, as massas alimentícias encontraram-se dentro da faixa de ótima e média qualidade.

5.6 Conclusão

As respostas físico-químicas de umidade, a_w , pH e ATT não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$) para os tratamentos de cada sabor.

Em relação à qualidade tecnológica, somente a expansão de volume e a PSS foram significativas ($p < 0,05$) para os tratamentos de cada sabor.

Os fatores embalagem e tempo de armazenamento exerceram influência significativa sobre a diferença de cor para alguns sabores de massas alimentícias. Somente as massas alimentícias de beterraba e banana verde não apresentaram diferença estatística para esses fatores.

O tempo de armazenamento foi o único fator significativo para a ΔE das massas alimentícias de café, chocolate, queijo, tomate seco e vinho.

A maior variação global de cor no final de 120 dias entre todos os sabores foi para a massa alimentícia de espinafre armazenada em embalagem transparente ($\Delta E = 8,9102$). Esse mesmo sabor armazenado em embalagem metalizada apresentou valor de ΔE de 3,2955.

A embalagem metalizada apresentou os menores valores de ΔE para a maioria dos sabores, uma vez que impede a passagem direta da luz para produto e apresenta menor taxa de permeabilidade ao oxigênio do que a transparente, contribuindo, assim, para uma menor degradação dos pigmentos.

Um modelo matemático exponencial foi utilizado para descrever o comportamento de ΔE das duas embalagens durante o tempo de armazenamento.

5.7 Referências bibliográficas

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 8. ed. Saint Paul, 1995.

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <<http://www.abimapi.com.br/macarrao.php>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000. Dispõe sobre o regulamento técnico para fixação de Identidade e qualidade de massas alimentícias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisaegis/resol/2000/93_00rdc.htmF>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CANER, C.; ADAY, M. S. Maintaining quality of fresh strawberries through various modified atmosphere packaging. **Packaging Technology and Science**, v. 22, n. 2, p. 115–122, 2009.

CASAGRANDE, D. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SALGADO, J. M.; PIZZINATO, A.; NOVAES, N. J. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 2, p. 137–143, 1999.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O.; MATHIAS, E. de A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 861–864, 2006.

CLYDESDALE, F. M. Color as a factor in food choice. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 1, p. 83-101, 1993.

DAMODARAN, S.; PAKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Editora Artmed. 2010. 900p.

DELGADO-ANDRADE, A.; RUIFÁN-HENARES, J. A.; MORALES, F. J. Assessing the antioxidant activity of melanoidins from coffee brews by different antioxidant methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 20, p. 7832–7836, 2005.

DELLA LUCIA, S. M.; MINIM, V. P. R.; SILVA, C. H. O.; MINIM, L. A. Fatores da embalagem de café orgânico torrado e moído na intenção de compra do consumidor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 485–491, 2007.

DENARDI, C. C.; BOUFLEUR, N.; RECKZIEGEL, P.; SILVA, L. P. da. Influência do consumo de arroz ou de macarrão no desempenho e resposta metabólica em ratos. **Alimentos e nutrição**, v. 20, n. 3, p. 441-449, 2009.

ESKIN, M. N. A. **Biochemistry of foods**. 2 ed. London: Academic Press, 1990. 557p.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 488-495, 2012.

FRANCISQUINI, J. A.; MARTINS, E.; SILVA, P. H. F.; SCHUCK, P.; PERRONE, I. T.; CARVALHO, A. F. Reação de Maillard: Uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.

GEORGIEV, V. G.; WEBER, J.; KNESCHKE, E. M.; DENEV, P. N.; BLEV, T.; PAVLOV, A. I. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the Red Beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 65, n. 2, p. 105-111, 2010.

GUERREIRO, L. **Dossiê técnico de massas alimentícias**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. 39p.

GUERRERO, L.; COLOMER, Y.; GUÀRDIA, M. D.; XICOLA, J.; CLOTET, R. Consumer attitude towards store brands. **Food Quality and Preference**, v. 11, n. 5, p. 387–395, 2000.

HRUŠKOVÁ, M.; ŠVEC, I.; SEKEROVÁ, H. Colour analysis and discrimination of laboratory prepared pasta by means of spectroscopic methods. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 29, n. 4, p. 346–353, 2011.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture, processing and packing**. 2.ed. London: Food Trade, 1966. 287p.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1000p.

JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, Lausanne, v. 264, p. 190-196, 2014.

KAIMAINEN M.; LAAKSONEN, O.; JÄRVENPÄÄ, E.; SANDELL, M.; HUOPALAHTI, R. Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. **Food Chemistry**, v.187, p. 398–406, 2015.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Osaka, 1998. 59p.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: A review. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 509-518, 2014.

MARINS, B. R.; ARAÚJO, I. S.; JACOB, S. C. A propaganda e alimentos: orientação, ou apenas estímulo ao consumo? **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 9, p. 3873–3882, 2011.

MATIOLI, G., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Licopeno encapsulado em goma arábica e maltodextrina: Estudo da estabilidade. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, n. 99, p. 197–203, 2002.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Análises de qualidade de uma massa alimentícia mista de mandiocinha-salsa. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 2, n. 1, p. 27–36, 2006.

ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura em comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n.1, p. 91-97, 2003.

PITALUA, E.; JIMENEZ, M.; VERNON-CARTER, E. J.; BERISTAIN, C. I.; Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2-3, p. 253-258, 2010.

PLAVSIC, M., COSOVIC, B., LEE, C. Copper complexing properties of melanoidins and marine humic material. **Science of the Total Environment**, v. 366, n. 1, p. 310–319, 2006.

POLÔNIO, M. L. T. Aditivos alimentares e saúde infantil. In: ACCIOLY, E.; SAUNDERS, C.; LACERDA, E. M. **Nutrição em Obstetrícia e Pediatria**. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2002. p. 511- 527.

POLÔNIO, M. L. T.; PERES, F. Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: desafios para saúde pública brasileira. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 8, p. 1653 – 1666, 2009.

REIS, T. A. **Caracterização de macarrão massa seca enriquecido com farinha de polpa de peixe**. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

RESTA, M. S. A.; OLIVEIRA, T. C. R. M. de. Avaliação do padrão estafilococos coagulase positiva estabelecido pela legislação brasileira para massas alimentícias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 319–325, 2013.

REYNOSO, R.; GARCIA, F.A.; MORALES D.; MEJIA, E.G. Stability of betalain pigments from a cactacea fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 2884-2889, 1997.

SAKKAS, L.; MOUTAFI, A.; MOSCHOPOULOU, E.; MOATSOU, G. Assessment of heat treatment of various types of milk. **Food Chemistry**, v. 159, p. 293-301, 2014.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVESI, E. Alterações de alimentos que resultam em perda de qualidade. In: SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis**. Campinas: CETEA/ITA, cap. 1, p. 1-22, 2001.

SCHOEFS, B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v.13, n. 11, p.361-371, 2002.

SILVA, V. V.; SOARES, N. F. F.; GERALDINE, R. M. Efeito da embalagem e temperatura de estocagem na conservação de mandioca minimamente processada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 197–202, 2003

SLOAN, A. E. Top 10 trends to watch and work on. **Food Technology**, v. 55, n. 4, p. 38-58, 2001.

TRADBOR. **Especificação técnica de produto**. 2016. 3p.

TRÊS, M. V.; FRANCHESCHI, E.; BORGES, G. R.; DARIVA, C.; CORAZZA, F. de C.; OLIVEIRA, J. V.; CORAZZA, M. L. Influência da temperatura na solubilidade de β -caroteno em solventes orgânicos à pressão ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 737-743, 2007.

TRONO, D.; PASTORE, D.; Di FONZO, N. Carotenoid dependent inhibition of durum wheat lipoxygenase. **Journal of Cereal Science**, v. 29, n. 1, p. 99-102, 1998.

VAN DER LAAN, L. N., DE RIDDER, D. T. D., VIERGEVER, M. A., SMEETS, P. A. M. The first taste is always with the eyes: A meta-analysis on the neural correlates of processing visual food cues. **NeuroImage**, v. 55, n. 1, p. 296–303, 2011.

WROLSTAD, R. E.; SMITH, D. E. Color analysis. In: NIELSEN, S. S. (Ed.). **Food Analysis**, 4. ed. New York: Springer. p. 573–586, 2010.

6 CAPÍTULO II: ELABORAÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE MASSA ALIMENTÍCIA DE ESPINAFRE

6.1 Resumo

O espinafre (*Tetragonia tetragonoides*) apresenta uma rica composição nutricional. No entanto, este alimento possui certa rejeição por parte dos consumidores, pois apresenta alguns compostos que conferem sabor amargo e alcalino. Por sua vez, as massas alimentícias são amplamente consumidas devido ao seu preparo fácil, rápido, custo acessível e estabilidade no armazenamento. Entretanto, apresentam um baixo valor nutricional. Uma forma de torná-las mais nutritivas seria adicionar vegetais ou ingredientes proteicos. A temperatura de secagem exerce grande influência nas características das massas alimentícias, sendo, portanto, considerada a etapa mais crítica no processo de fabricação. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi elaborar, avaliar a cinética de secagem e caracterizar as massas alimentícias de espinafre submetidas à secagem em diferentes temperaturas. Para isso, as folhas de espinafre foram branqueadas (100 °C/2 minutos) seguidas de resfriamento a 4 °C e trituradas em liquidificador. O extrato obtido foi congelado até o momento da realização do experimento. Para o preparo da massa alimentícia, os ingredientes secos (farinha de trigo, açúcar, sal e gomas) foram misturados e adicionados do extrato de espinafre e ovo. Logo após, a massa pré-formada foi submetida à cilindragem e corte, formato talharim, com espessura de 2,5 mm. As temperaturas de secagem utilizadas foram de 35, 45, 55, 65 e 75 °C, produzindo massas alimentícias de espinafre com no máximo 11% de umidade. Os modelos matemáticos de Page, Henderson e Pabis e Lewis foram ajustados aos dados experimentais de secagem. O consumo energético do processo foi monitorado no decorrer do tempo de secagem. As massas alimentícias foram caracterizadas quanto a cor, atividade de água, pH, acidez total titulável, umidade, textura, carotenoides totais, atividade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH, compostos fenólicos, clorofila total, cinzas e quanto a qualidade tecnológica. A função desejabilidade foi utilizada a fim de escolher a temperatura ótima de secagem. O modelo de Page foi o que melhor representou os processos de secagem, com os maiores valores de R^2_{adj} e menores valores de erro padrão da regressão. Nota-se que à medida que se aumentou a temperatura do ar de secagem, o tempo necessário para a secagem diminuiu. O maior gasto energético estimado pelo modelo foi para temperatura de 75 °C (2356,24 W.h) e o menor foi para a de 35 °C (1147,99 W.h), para atingir 11% de umidade. No término das secagens, as massas alimentícias obtidas das diferentes temperaturas apresentaram teor de umidade entre a faixa de 10 a 11%, conforme preconiza a legislação brasileira. O modelo generalizado apresentou um bom ajuste à secagem de massa alimentícia de espinafre, com R^2 de 0,9972. A temperatura de secagem influenciou nas respostas de atividade antioxidante pelo método DPPH, carotenoides totais, parâmetros L^* e b^* do líquido drenado, tempo de secagem e no gasto energético. As melhores condições para cada variável resposta foram distintas. Portanto, empregou-se a técnica de otimização simultânea das variáveis resposta, por meio da função desejabilidade, a fim de alcançar a temperatura ótima de secagem, concluindo que a

condição de maior desejabilidade foi de 0,44, resultando, assim, na temperatura ótima de secagem de 52 °C.

Palavras-chave: Espinafre, massas alimentícias, cinética de secagem, caracterização físico-química, caracterização tecnológica.

6.2 Introdução

O espinafre é uma hortaliça frequentemente consumida em quase todas as partes do mundo. No Brasil e em países de clima tropical, a espécie predominante é a *Tetragonia tetragonoides*, conhecido também como espinafre Nova Zelândia, sendo caracterizado por folhas triangulares e verde escuras (JAWORSKA, 2005; KAWASHIMA; SOARES, 2005; EMBRAPA, 2010).

O espinafre Nova Zelândia apresenta uma rica composição nutricional, composta por fibras, vitaminas A, C e do complexo B, carotenoides, compostos fenólicos, minerais como potássio e, principalmente, cálcio e ferro (BERGMAN et al., 2003; JAWORSKA, 2005; FAN et al., 2011).

O consumo de espinafre pode ser *in natura* (saladas), cozido ou adicionado em outras formulações. No entanto, apesar de sua rica composição, o espinafre sempre apresentou baixo consumo, pois possui alguns compostos que conferem sabor amargo e alcalino (BELITZ; GROSCH, 1987; MUNRO; SMALL, 1997).

A utilização do espinafre na formulação de outros produtos é uma forma de incluí-lo na dieta como em pão de forma (AZEVEDO, 2012), cookies (MAURO; SILVA; FREITAS, 2010) e massas alimentícias (LIEBMAN; OKOMBO, 2009).

As massas alimentícias são amplamente consumidas devido ao seu preparo fácil, rápido, custo acessível e pela estabilidade no armazenamento (GUERREIRO, 2006; ABIMAPI, 2018). No entanto, apesar de possuir baixo índice glicêmico, este alimento apresenta, também, um baixo valor nutricional (DENARDI et al., 2009).

A adição de ingredientes que alteram a cor, o sabor e o aroma nas massas alimentícias é uma boa alternativa para fabricação de um produto com características sensoriais atraentes ao consumidor. Além disso, podem contribuir para o aumento do valor nutricional destes produtos. Todavia, grande parte dessas substâncias é susceptível a perdas durante o processamento e armazenamento.

A secagem é uma operação unitária que consiste na aplicação de calor, sob condições controladas, a fim de remover o maior conteúdo de água livre presente no alimento (FELLOWS, 2006; MUJUMDAR, 2014). Essa técnica contribui com o aumento da vida útil dos produtos, pois minimiza as reações microbiológicas, enzimáticas e bioquímicas. Contudo, temperaturas muito elevadas de secagem podem também levar ao desenvolvimento de características indesejáveis no alimento, tais como alterações das características sensoriais, levando a dureza

excessiva, degradação da cor, aroma e sabor, além da perda do valor nutricional dos alimentos (KROKIDA et al., 2003; RATTI, 2008; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

A temperatura de secagem exerce grande influência na manutenção das características das massas alimentícias, sendo, portanto, considerada a etapa mais crítica no processo de fabricação (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO et al., 1990). De acordo com Ogawa et al. (2015), temperaturas superiores a 70 °C são empregadas na secagem programada de massas alimentícias, pois melhoram algumas características tecnológicas.

No entanto, temperaturas elevadas do ar de secagem afetam o valor nutricional das massas alimentícias (ORMENESE et al., 1998), levando, também, a degradação de compostos naturais adicionados às massas alimentícias.

Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi elaborar, avaliar a cinética de secagem e caracterizar as massas alimentícias de espinafre submetidas a secagem em diferentes temperaturas.

6.3 Objetivos

6.3.1 Objetivo geral

Elaborar, avaliar a cinética de secagem e analisar as características físico-químicas e tecnológicas da massa alimentícia de espinafre.

6.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar massa alimentícia de espinafre seguindo os padrões da Agroindústria da Família Venturim;
- Avaliar o efeito da temperatura sobre a cinética de secagem e sobre as características físico-químicas e tecnológicas da massa alimentícia de espinafre;
- Ajustar modelos matemáticos para descrever a cinética de secagem da massa alimentícia de espinafre para cada temperatura;
- Ajustar um modelo matemático generalizado que descreva o teor de água da massa alimentícia de espinafre em função do tempo e da temperatura de secagem;
- Caracterizar a massa alimentícia de espinafre quanto a sua composição físico-química e qualidade tecnológica;

- Determinar a melhor condição de temperatura para a secagem da massa alimentícia de espinafre.

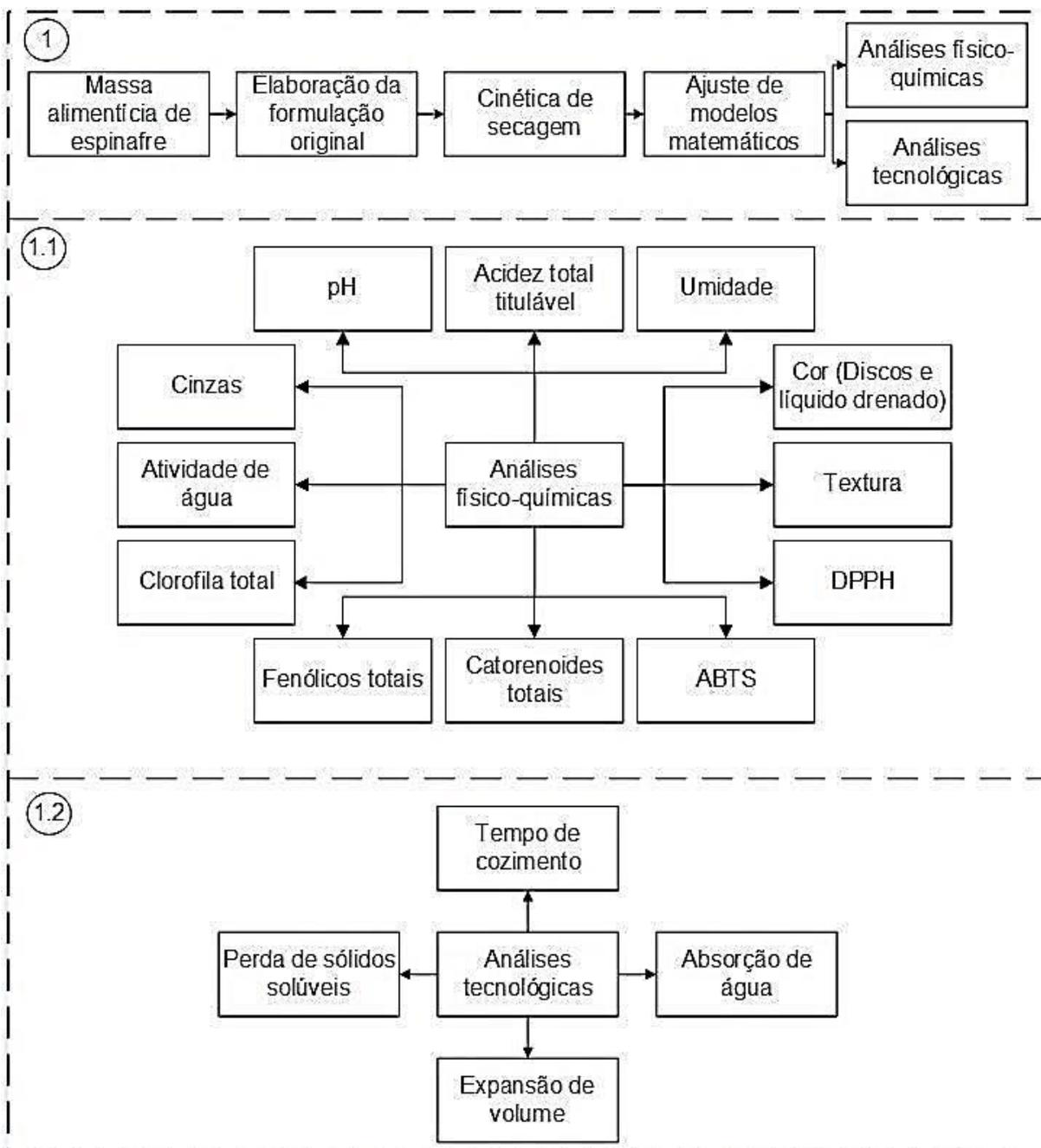
6.4 Material e métodos

Os ingredientes para elaboração das massas alimentícias foram doados pela Agroindústria da Família Venturim, localizada na cidade de Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo.

Os experimentos foram realizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia de Alimentos, localizados no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES), em Alegre, Espírito Santo, Brasil.

6.4.1 Procedimento Experimental

Na Figura 8, é apresentado o fluxograma metodológico do capítulo II. Esse capítulo consiste na elaboração, cinética de secagem e realização de análises físico-químicas (1.1) e tecnológicas (1.2) da massa alimentícia de espinafre.



- ① Elaboração e cinética de secagem da formulação original
- ①.1 Realização das análises físico-químicas
- ①.2 Realização das análises tecnológicas

Figura 8 - Fluxograma do procedimento experimental do capítulo II.

6.4.2 Preparo do extrato de espinafre

O espinafre (*T. tetragonoides*) *in natura* foi adquirido no comércio local da cidade de Alegre, Espírito Santo. As amostras passaram pela etapa de remoção dos talos e seleção visual para eliminação das folhas com injúrias. Posteriormente, as

folhas selecionadas foram lavadas com água corrente e submergidas em água clorada (150 ppm/15 min.). Logo após, foram enxaguadas novamente com água corrente.

Para a etapa de branqueamento, as folhas de espinafre foram expostas ao vapor de água a 100 °C durante 2 minutos, seguido de resfriamento com banho de gelo (4 °C). Em seguida, as folhas branqueadas foram trituradas em liquidificador doméstico (Philips Walita). O extrato obtido foi armazenado em embalagens transparentes de polietileno e congelado (-10 °C) até o momento da realização do experimento. O extrato foi submetido ao descongelamento sob temperatura de refrigeração por 24 horas antes da utilização.

6.4.3 Preparo das massas alimentícias

A massa alimentícia de espinafre foi elaborada de acordo com os ingredientes apresentados na Tabela 7. A porcentagem de cada ingrediente foi calculada considerando a farinha de trigo tipo 1 (*T. aestivum*) como componente majoritário (100%).

Tabela 7 - Ingredientes utilizados no preparo da massa alimentícia de espinafre

Ingredientes	Quantidade
Farinha de trigo (%)	100,00
Extrato de espinafre* (%)	46,87
Ovo (unidade)	1,00
Açúcar (%)	0,47
Sal (%)	0,47
Goma guar (%)	0,23
Goma xantana (%)	0,23

*Espinafre com 7,88% de MS (matéria seca).

Para o preparo da massa alimentícia, os ingredientes secos (farinha de trigo, açúcar, sal e gomas) foram misturados, sendo, posteriormente, adicionados o extrato de espinafre e ovo. Os ingredientes foram misturados manualmente até a completa homogeneização e formação da rede de glúten. Logo após, a massa pré-formada foi submetida à cilindragem e corte em máquina de rolos (ATLAS 150 WELLNESS), formato talharim e com espessura de 2,5 ± 0,2 mm (Regulador n. 4), conforme apresentado na Figura 9.

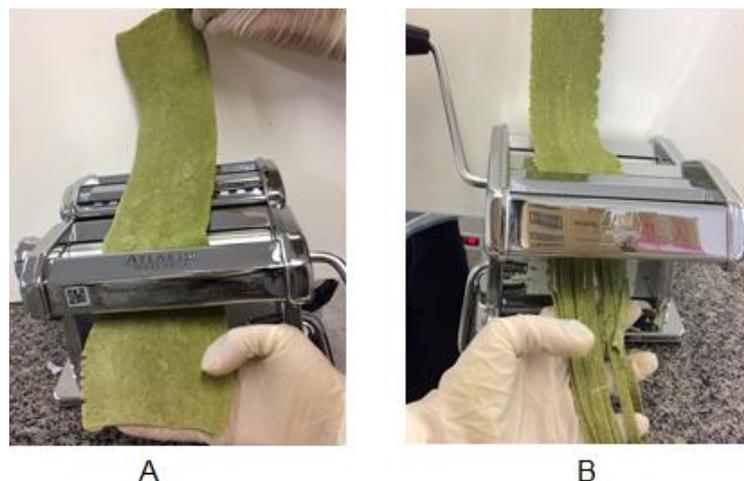


Figura 9 - Elaboração da massa alimentícia: A - Cilindragem; B - Corte.

Além disso, foram produzidos discos de massa alimentícia de aproximadamente 5 cm de diâmetro para a análise de cor, conforme apresentado na Figura 10.

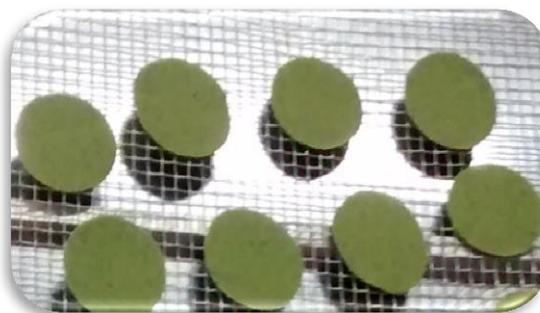


Figura 10 - Discos elaborados da massa alimentícia de espinafre

6.4.4 Cinética de secagem

As massas alimentícias frescas (talharim) foram organizadas em formato de ninhos, sendo colocadas em bandejas de inox perfuradas ($\varnothing = 0,3$ cm) com dimensões de 50 x 40 cm e 1 cm de altura. As bandejas foram dispostas em um secador de cabine com circulação forçada de ar quente (1,5 m/s).

As temperaturas de secagem utilizadas foram de 35, 45, 55, 65 e 75 °C. A massa das amostras foi registrada em intervalos de 15 minutos durante a primeira hora, 30 minutos durante a segunda e terceira hora e 60 minutos até que a massa apresentasse umidade máxima de 11%, em base úmida, de forma a atender a RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000 da ANVISA, que especifica a umidade máxima de 13%, em base úmida, para massas alimentícias (BRASIL, 2000). A cada pesagem

as bandejas foram giradas em 180°, a fim minimizar o efeito da posição da bandeja no decorrer da secagem.

6.4.4.1 Determinação do final da secagem

Para a massa alimentícia atingir o teor de umidade final de 11%, foi calculada a massa final que resultaria nessa umidade, por meio de balanço de massa do processo.

Os balanços de massa total e de componentes são apresentados nas Equações 8 e 9, respectivamente.

$$M_i = M_a + M_f \quad (8)$$

$$M_i * U_i = M_a * 100 + M_f * U_f \quad (9)$$

em que, M_i , M_f , M_a , U_i , U_f e U_a são as massas e umidades iniciais, finais e da água, em gramas e porcentagem, respectivamente.

A massa de água que sai do produto pode ser expressa como a diferença entre as massas inicial e final (Equação 10).

$$M_a = M_i - M_f \quad (10)$$

Portanto, substituindo-se a Equação 10 na Equação 9 e isolando-se M_f tem-se a Equação 11.

$$M_f = \frac{M_i * (100 - U_i)}{100 - U_f} \quad (11)$$

A umidade inicial (U_i) do produto foi determinada por estufa antes da massa alimentícia seguir para a etapa de secagem e a umidade final (U_f) foi considerada como 11%.

6.4.4.2 Modelagem matemática

A razão de umidade experimental (RU) foi determinada para cada temperatura, conforme a Equação 12.

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (12)$$

em que, X_0 , X_t , X_e , M_0 , M_t e M_e são os valores de umidade (%), em base seca, e as massas, em gramas, no tempo zero, no tempo t e no equilíbrio, respectivamente.

A massa de matéria seca (MS) foi calculada para cada experimento, segundo Equação 13.

$$MS = M_0 * (100 - U_0) \quad (13)$$

Os modelos matemáticos de Henderson; Pabis (1962), Page (1949) e Lewis (1921) foram ajustados aos dados experimentais, de acordo com as Equações 14 a 16, respectivamente.

$$RU = ae^{-kt} \quad (14)$$

$$RU = e^{-kt^n} \quad (15)$$

$$RU = e^{-kt} \quad (16)$$

em que, a, k e n são parâmetros dos modelos e t é o tempo de secagem, em horas.

A secagem não foi conduzida até massa constante, uma vez que não é necessário para determinados produtos como, por exemplo, massas alimentícias que podem apresentar umidade máxima de 13%. Sendo assim, os modelos foram rearranjados com a Equação (12) e foram escritos em termos da massa no tempo t. (M_t), conforme Equações (17 a 19).

$$M_t = (M_0 - M_e) * a * e^{-k*t} + M_e \quad (17)$$

$$M_t = (M_0 - M_e) * e^{-k*t} + M_e \quad (18)$$

$$M_t = (M_0 - M_e) * e^{-k*t^n} + M_e \quad (19)$$

Os ajustes dos parâmetros dos modelos foram realizados por meio da minimização da soma de quadrados dos desvios, usando regressão não linear. Os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e pelo erro padrão da regressão (S).

O modelo que melhor representou a cinética de secagem foi determinado e avaliou-se a influência da temperatura de secagem sobre seus parâmetros. Um

modelo matemático foi então indicado para descrever esse efeito. Em seguida, foi ajustado um modelo generalizado por regressão não linear, em que os parâmetros originais foram substituídos por essa função na cinética de secagem.

A umidade em cada tempo (U_t), em base úmida (%), foi obtida por meio do balanço de massa, de acordo com a Equação (20), para cada modelo matemático de razão de umidade para cada temperatura.

$$U_t = \frac{(M_i * U_i) - (M_i * M_t)}{M_t} * 100 \quad (20)$$

em que, M_t e U_t é a massa, em gramas, e a umidade, em porcentagem, no tempo t , em horas, respectivamente.

Assim, as cinéticas de secagem foram representadas graficamente em termos de U_t .

6.4.5 Gasto energético do processo de secagem

O gasto energético, em Watt-hora (Wh), foi obtido por um wattímetro digital, conectado ao secador, nos mesmos intervalos do tempo de pesagem das bandejas. O modelo exponencial (Equação 21) foi ajustado aos dados experimentais para representar o consumo energético ao longo do tempo de secagem, nas diferentes temperaturas avaliadas.

$$y = a * (1 - \exp(-b * x^n)) \quad (21)$$

em que, a , b e n são os parâmetros do modelo e x é o tempo, em horas.

6.4.6 Análises físico-químicas

Para as análises físico-químicas, as massas alimentícias foram moídas em moinho elétrico de facas, marca Solab, para obtenção de partículas de tamanho reduzido (peneira de 20 mesh), exceto os discos para análise de cor.

6.4.6.1 Análise colorimétrica

A análise de cor foi realizada em colorímetro (marca Konica Minolta, modelo Spectrophotometer CM-5) obtendo-se os parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente verde-vermelho) e b^* (componente azul-amarelo) (KONICA MINOLTA, 1998; WROLSTAD; SMITH, 2010).

Foram realizadas análise de cor dos discos e do líquido drenado após o cozimento das massas alimentícias.

6.4.6.2 Análise de umidade

A umidade das massas alimentícias foi realizada pelo método de secagem direta em estufa (IAL, 2008). Foram utilizados 5,0 g da massa alimentícia moída, a qual foi submetida à secagem em estufa a 105 °C até peso constante. O teor de água foi determinado pela Equação 22 e o resultado foi expresso em porcentagem base úmida (% bu).

$$U_{bu}(\%) = \frac{\text{Quantidade de água}}{\text{Quantidade de amostra}} * 100 \quad (22)$$

6.4.6.3 Atividade de água

A atividade de água foi determinada por medida direta em medidor de atividade de água LabMaster, da Novasina AG.

6.4.6.4 Análise de pH

Para análise de pH, foram pesados 5,0 g da amostra moída e foram adicionados 50 mL de água destilada. A mistura foi agitada a 400 rpm por 15 minutos em chapa com agitador magnético. Em seguida, foi realizada a leitura em potenciômetro (marca Metrohm, modelo 826 pH mobile), a temperatura ambiente (IAL, 2008).

6.4.6.5 Acidez total titulável

A análise de acidez total titulável foi realizada a partir do mesmo extrato da análise de pH, por titulação com NaOH 0,1 N, utilizando-se fenolftaleína como indicador (IAL, 2008). A acidez foi calculada de acordo com a Equação 23 e os resultados foram expressos como acidez em solução molar por cento (v/m), em base seca.

$$ATT = \frac{Vg * Fc * 100}{A * c} \quad (23)$$

em que, ATT = acidez total titulável; N = normalidade do NaOH; Vg = volume gasto de NaOH na titulação; Fc = fator de correção do NaOH; A = massa da amostra, em

base seca; c = correção para solução de NaOH 1 N, 10 para solução NaOH 0,1 N ou 100 para solução NaOH 0,01 N.

6.4.6.6 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado por incineração de 5 g da amostra em mufla a 550 °C até peso constante (IAL, 2008).

6.4.6.7 Clorofila total

O teor de clorofila total foi determinado de acordo com a metodologia adaptada de Vernon (1960) e Gokmen; Bahçeci; Acar (2002). Para isso, foram pesados 10 g da amostra e adicionaram-se 20 mL de acetona 80% (v/v) resfriada, sendo macerada por 2 minutos e filtrada a vácuo através de papel filtro qualitativo, ao abrigo da luz. Posteriormente, o filtrado foi centrifugado a 3500 rpm por 5 min a 4 °C. O volume final foi ajustado para 25 mL com acetona 80% (v/v) e foram realizadas leituras de absorvância em espectrofotômetro (Bel Photonics, SP2000 UV) nos comprimentos de onda de 663 e 645 nm. O teor de clorofila total foi calculado de acordo com a Equação 24 e o resultado foi expresso em mg de clorofila total por 100 grama de amostra, em base seca.

$$\text{Clorofila total} = \frac{(20,2 * A_{645} + 8,02 * A_{663}) * \text{Fator de diluição} * 10}{(100 - U)} \quad (24)$$

em que, A_{645} e A_{663} são os valores das absorvâncias nos comprimentos de 645 e 663 nm; U = Umidade, em base úmida (%), de cada amostra.

6.4.6.8 Quantificação de carotenoides totais

Os carotenoides totais foram quantificados segundo a metodologia de Rodriguez-Amaya (2001). Inicialmente, foram pesados 5 g da amostra e 20 mL de acetona resfriada foram adicionados, sendo realizada a maceração por 2 minutos. Essas etapas foram realizadas por três vezes (3 x 20 mL), a fim do resíduo se tornar o mais claro possível. Em seguida, foi realizada a filtração a vácuo, ao abrigo da luz, para evitar a foto-oxidação dos pigmentos. Para que ocorresse a transferência dos pigmentos da acetona para o éter de petróleo, foi utilizado um funil de separação, previamente adicionado de 25 mL éter de petróleo resfriado e, posteriormente o,

filtrado contendo os pigmentos foi transferido, em pequenas frações, seguido de água destilada, descartando-se a fase inferior. As amostras foram lavadas por mais três vezes para remoção total da acetona. No final da lavagem, foi adicionada uma espátula de sulfato de sódio anidro para retirar qualquer resíduo de água que tivesse restado e volume do extrato contendo os pigmentos foi anotado.

Para a extração dos carotenoides das massas alimentícias de espinafre, foi necessário realizar a saponificação após a transferência dos pigmentos da acetona para o éter de petróleo. Sendo assim, foi utilizada uma solução de saponificação (10% de KOH em metanol + 0,3 g de BHT) com um volume igual ao do extrato final. A mistura foi mantida ao abrigo da luz durante 16 horas em temperatura ambiente. Decorrido esse tempo, a mistura foi lavada três vezes com água destilada para a retirada da solução de saponificação. No final, foi utilizada, novamente, uma espátula de sulfato de sódio anidro para completa remoção da água no final do processo e foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro (Bel Photonics, SP2000 UV) em comprimento de onda de 445 nm. O teor de carotenoides totais foi determinado pela Equação 25 e os resultados foram expressos em µg de luteína por 100 g de amostra, em base seca.

$$\text{Carotenoides totais} = \frac{A * V * 10^6}{A^{1\%}(\epsilon) * m} * \text{fator de diluição} \quad (25)$$

em que, A= absorbância; V= volume final em mL; $A^{1\%}(\epsilon)$ = coeficiente de absorvidade da luteína em éter de petróleo (2250 cm^{-1}); m = massa da amostra (g), em base seca.

6.4.6.9 Conteúdo de compostos fenólicos totais

6.4.6.9.1 Preparo dos extratos

Os extratos foram preparados conforme metodologia de Bloor (2001), com adaptações. Inicialmente, 1 g de amostra foi acrescentado de 10 mL de etanol 80% e a mistura foi agitada a 400 rpm por 15 minutos em chapa com agitador magnético, em temperatura ambiente. Por fim, a amostra foi centrifugada a 3500 rpm por 5 minutos a 4 °C.

6.4.6.9.2 Determinação do conteúdo de fenólicos totais

A determinação do teor de compostos fenólicos totais das massas alimentícia de espinafre foi realizada pelo ensaio com o reagente Folin-Ciocalteu, de acordo com a metodologia adaptada de Singleton e Rossi (1965). Uma alíquota de 0,6 mL do extrato (descrito em 6.4.6.9.1) foi misturada em 3,0 mL do reagente Folin-Ciocalteu diluído em água destilada (1:10 v/v). Decorridos 3 minutos em repouso, ao abrigo da luz, foram adicionados 2,4 mL da solução saturada de Na₂CO₃ (7,5% m/v). A mistura foi deixada em repouso por uma 1 hora, ao abrigo da luz, sendo, em seguida, realizada a leitura da absorbância a 760 nm em espectrofotômetro (Bel Photonics, SP2000 UV). A quantificação do teor de compostos fenólicos totais foi efetuada utilizando curva padrão de ácido gálico (0 – 150 ppm) e os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (AGE) por 100 g da amostra, em base seca.

6.4.6.10 Atividade antioxidante – ABTS

6.4.6.10.1 Preparo dos extratos

O preparo dos extratos para determinação da atividade antioxidante pela captura do radical ABTS foi descrito em 6.4.6.9.1.

6.4.6.10.2 Determinação da capacidade antioxidante

O radical ABTS^{•+} foi preparado reagindo 10 mL da solução aquosa de ABTS 7mM com 10 mL da solução de persulfato de potássio 2,45 mM, mantendo ao abrigo da luz por 16 horas antes da utilização. No momento da análise, a absorbância foi ajustada em espectrofotômetro (Bel Photonics, SP2000 UV) para 0,700 a 734 nm com adição de etanol 80%. Posteriormente, uma alíquota de 0,5 mL do extrato foi adicionada de 3,5 mL da solução de ABTS diluída e deixada reagir por 6 minutos. Decorrido esse tempo, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro. Para determinação da atividade antioxidante, foi utilizada a curva padrão de Trolox (0 – 150 mM/L) como antioxidante de referência. Os resultados foram expressos em equivalente de Trolox (µM Trolox) por 100 g da amostra, em base seca (RE et al., 1999).

6.4.6.11 Atividade antioxidante – DPPH

6.4.6.11.1 Preparo dos extratos

Os extratos foram preparados conforme metodologia de Bloor (2001), com adaptações. Inicialmente, a 2 g de amostra foi acrescentado 10 mL de etanol 80% e a mistura foi agitada a 400 rpm por 15 minutos em chapa com agitador magnético, em temperatura ambiente. Por fim, a amostra foi centrifugada a 3500 rpm por 5 minutos a 4 °C.

6.4.6.11.2 Determinação da capacidade antioxidante

A atividade antioxidante pelo método de captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) foi realizada de acordo com a metodologia adaptada de Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) e Von Gadow; Joubert; Hansmann (1997) modificada por Pukalskas et al. (2002). Uma solução de 0,1 mM de DPPH foi diluída em etanol 80% até ser obtida absorvância de $1,10 \pm 0,02$ a 517 nm. Logo após, uma alíquota de 1 mL da solução de DPPH foi adicionada em tubos de ensaio que continham, previamente, 0,1 mL do extrato. A mistura foi agitada em vórtex e deixada em repouso, em temperatura ambiente, por 80 minutos, ao abrigo da luz. A absorvância foi lida no comprimento de onda de 517 nm em espectrofotômetro (Bel Photonics, SP2000 UV), nos tempo zero e no final da reação (estabilização da absorvância). Para isso, foi realizado um estudo cinético previamente para determinar o tempo de estabilização da reação (80 min.). Concomitantemente, leu-se a absorvância do branco, o etanol 80%. A atividade antioxidante foi expressa em porcentagem de sequestro de radicais livres (% SRL), conforme Equação 26.

$$\%SRL = 100 - [(A_A - A_B) / A_C] \times 100 \quad (26)$$

em que, A_a , A_b e A_c = absorvâncias da amostra, do solvente de extração (etanol 80%) e do controle (solução etanólica de DPPH), respectivamente.

6.4.6.12 Textura

A análise de textura das massas alimentícias de espinafre antes da cocção foi realizada em texturômetro Brookfield® (Modelo CT#3), em que as respostas obtidas foram dureza e fraturabilidade. O ensaio foi conduzido em ciclo único de compressão. Para isso, utilizou as seguintes condições iniciais: Probe TA7, reparo:

TA-BT-KI; velocidade do teste de 2,0 mm/s; velocidade pós-teste de 10 mm/s; tempo de retenção de 1 segundo; carga de trigger 0,20 N e taxa de dados de 50 pontos/s.

Estas condições do ensaio foram determinadas em testes preliminares.

6.4.7 Análises da qualidade tecnológica das massas alimentícias

As análises para determinação da qualidade das massas alimentícias foram realizadas de acordo com adaptação do método nº 16-50 da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995).

6.4.7.1 Tempo de cozimento

O tempo de cozimento foi determinado após a cocção de 10,0 g do produto colocados em 500 mL de água destilada em ebulição. As amostras foram comprimidas entre duas lâminas de vidro, a intervalos de tempo determinados, até que o núcleo branco do centro da massa desaparecesse. Após isso, a massa alimentícia foi considerada cozida.

6.4.7.2 Absorção de água

A absorção de água (AA) foi determinada pela relação entre o peso da massa cozida pelo peso da massa crua, expresso em porcentagem (%), de acordo com a Equação 27. Uma amostra de 10,0 g foi submetida ao cozimento, sendo determinada sua massa após esse processo. Para isso, utilizou-se o tempo de cozimento ideal obtido no item 6.4.7.1 para cada amostra.

$$\% \text{ AA} = \frac{\text{Massa do macarrão cozido}}{\text{Massa do macarrão cru}} \times 100 \quad (27)$$

6.4.7.3 Expansão de volume

A expansão de volume (EV) foi determinada pela razão entre o volume deslocado de tolueno por 10,0 g de produto após o cozimento pelo volume deslocado advindo das 10,0 g do produto cru. As amostras foram colocadas em uma proveta contendo 60 mL de tolueno. Em seguida, aferiu-se o volume deslocado pelas massas crua e cozida. A expansão de volume foi expressa em porcentagem (%), de acordo com a Equação 28.

$$\% \text{ EV} = \frac{\text{Volume de tolueno deslocado do macarrão cozido (mL)}}{\text{Volume de tolueno deslocado do macarrão cru (mL)}} \times 100 \quad (28)$$

6.4.7.4 Perda de sólidos solúveis

Para a determinação da perda de sólidos solúveis, foi coletado e medido, numa proveta, a água drenada depois do cozimento da massa alimentícia. Posteriormente, uma alíquota de 10 mL da água de cozimento de cada amostra foi coletada (em duplicata) e disposta em placa de Petri, sendo levada à estufa a 105 °C até peso constante. A porcentagem de perda de solúveis foi dada pela Equação 29.

$$\% \text{ Perda de sólidos solúveis} = \frac{(\text{Volume de água} \times \text{Massa do resíduo seco}) \times 10}{\text{Massa do macarrão cru}} \quad (29)$$

6.4.8 Planejamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado (D.I.C.). O fator avaliado foi temperatura de secagem das massas alimentícias, em 5 níveis (35, 45, 55, 65 e 75 °C), com três repetições.

As análises físico-químicas e tecnológicas foram realizadas para cada repetição, em triplicata.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, submetidos à análise de regressão e ajuste de modelos matemáticos.

As análises estatísticas foram realizadas empregando os softwares Statistica, versão 7.0, e SigmaPlot, versão 11.0, ao nível de 5% de probabilidade.

6.4.8.1 Otimização simultânea de múltiplas variáveis respostas – Função desejabilidade

A função desejabilidade é utilizada com o intuito de determinar os níveis dos fatores que promovam a otimização simultânea das variáveis resposta, sendo transformadas em uma única medida (DERRINGER; SUICH, 1980; ISLAM; SAKKAS; ALBANIS, 2009).

Cada variável resposta, \hat{y}_i , foi convertida em uma função desejabilidade individual, d_i , dentro do intervalo $0 \leq d_i \leq 1$ usando as Equações 30 e 31 para maximizar e minimizar as variáveis, respectivamente.

$$d_i = \begin{cases} 0, & \text{se } \hat{y}_i \leq L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i}, & \text{se } L_i < \hat{y}_i < T_i \\ 1, & \text{se } \hat{y}_i \geq T_i \end{cases} \quad (30)$$

$$d_i = \begin{cases} 1, & \text{se } \hat{y}_i \leq T_i \\ \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i}, & \text{se } T_i < \hat{y}_i < U_i \\ 0, & \text{se } \hat{y}_i > U_i \end{cases} \quad (31)$$

onde:

T_i é o valor alvo (ótimo)

L_i é o valor mínimo para as respostas que serão maximizadas

U_i é o valor máximo para as respostas que serão minimizadas

Após obter os valores das N desejabilidades individuais, d_i , foi calculado o valor da desejabilidade global, D , pela Equação 32.

$$D = \left(\prod_{i=1}^N d_i\right)^{1/N} \quad (32)$$

A condição ótima foi considerada a que apresentou maior valor da desejabilidade global.

6.5 Resultados e discussão

6.5.1 Cinética de secagem

Os dados experimentais de umidade (%), em base úmida, ao longo do tempo de secagem e os modelos matemáticos ajustados são apresentados na Figura 11.

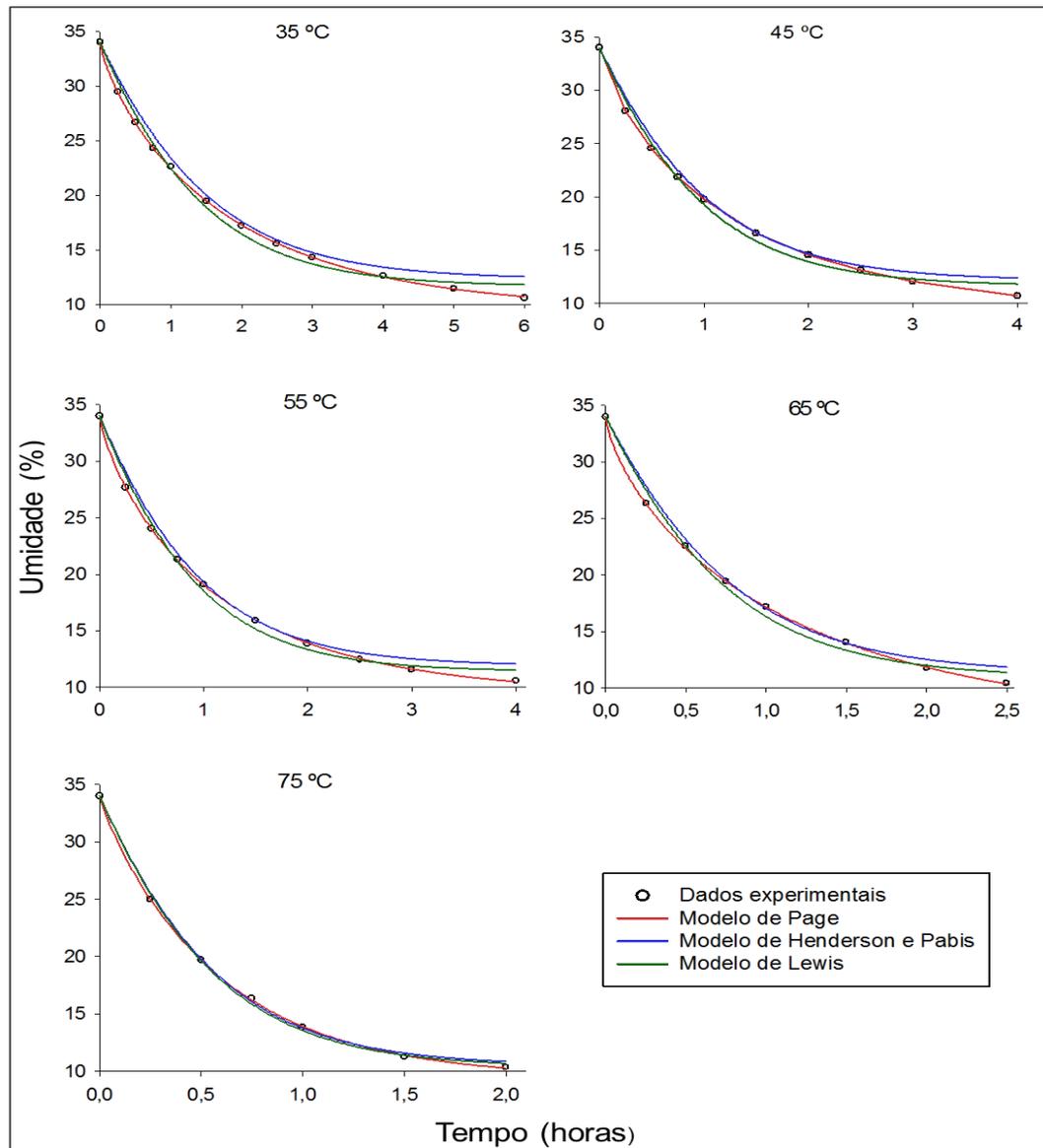


Figura 11 - Cinética de secagem das massas alimentícias de espinafre.

De acordo com a Figura 11, os tempos de secagem para as temperaturas de 35, 45, 55, 65 e 75 °C foram de 6; 4; 4; 2,5 e 2 horas, respectivamente. Para todas as temperaturas, os períodos iniciais da secagem foram caracterizados por uma perda acentuada de água do produto, sendo essa taxa de remoção de água menor à medida que o tempo de secagem aumentava. Esse fato foi observado também para secagem de outros alimentos como tomate (CELMA; CUADROS; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, 2012) e fatias de laranja (KHAFAJEH et al. 2013).

Na Figura 11, pode-se observar, também, que os valores de umidade final, em base úmida, nas diferentes temperaturas, ficaram entre 10 e 11%, atendendo,

assim, a legislação brasileira que preconiza um teor máximo de umidade de 13%, em base úmida (BRASIL, 2000).

Na Tabela 8 estão apresentados os valores dos parâmetros estimados dos modelos, assim como os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e o erro padrão da regressão (S).

Tabela 8 - Parâmetros dos modelos, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e erro padrão da regressão (S) das curvas de secagem de massa alimentícia de espinafre

Temperatura	Modelo matemático	k	n	a	Me	R^2_{adj}	S
35 °C	H&P	0,8131	-	0,9568	412,1053	0,9931	3,8042
	Page	0,7885	0,7801	-	403,0039	0,9999	0,3944
	Lewis	0,8841	-	-	413,6215	0,9913	4,2862
45 °C	H&P	1,2084	-	0,9688	396,6917	0,9931	3,7076
	Page	1,0474	0,7727	-	368,7811	0,9999	0,1744
	Lewis	1,2765	-	-	397,6149	0,9926	3,8397
55 °C	H&P	1,2884	-	0,9694	387,2079	0,9933	3,5898
	Page	1,1261	0,7788	-	378,9564	0,9999	0,3663
	Lewis	1,3561	-	-	387,9859	0,9929	3,7117
65 °C	H&P	1,5984	-	0,9740	366,8623	0,9906	4,2345
	Page	1,1571	0,7110	-	349,5532	0,9998	0,5462
	Lewis	1,6815	-	-	367,7744	0,9907	4,2074
75 °C	H&P	2,2304	-	0,9921	394,4574	0,9981	2,1713
	Page	1,9410	0,8738	-	390,2149	0,9999	0,5243
	Lewis	2,2551	-	-	394,6385	0,9984	2,0102

Os modelos matemáticos ajustados apresentaram valores de R^2_{adj} superiores a 0,99 e baixos valores de S ($\leq 4,2862$), para todas as temperaturas avaliadas. Portanto, esses modelos são satisfatórios para representar o processo de secagem. No entanto, o modelo de Page foi escolhido para representar a cinética de secagem de massas alimentícias de espinafre, uma vez que apresentou o maior valor do coeficiente de determinação ajustado e o menor valor do erro padrão da regressão, em todas as temperaturas estudadas, em relação aos demais modelos testados.

O modelo de Page tem sido empregado também para descrever a cinética de secagem de alguns alimentos, tais como, banana e abacate (CEYLAN; AKTAŞ; DOĞAN, 2007), carambola (SANTOS et al., 2010), tomate (CELMA; CUADROS; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, 2012), casca e polpa de banana verde (GONÇALVES et al., 2016) e acerola (ARAÚJO et al., 2017).

As curvas de secagem em leito fixo da massa alimentícia de espinafre, para as temperaturas de 35, 45, 55, 65 e 75 °C, ajustadas pelo modelo de Page, são apresentadas na Figura 12.

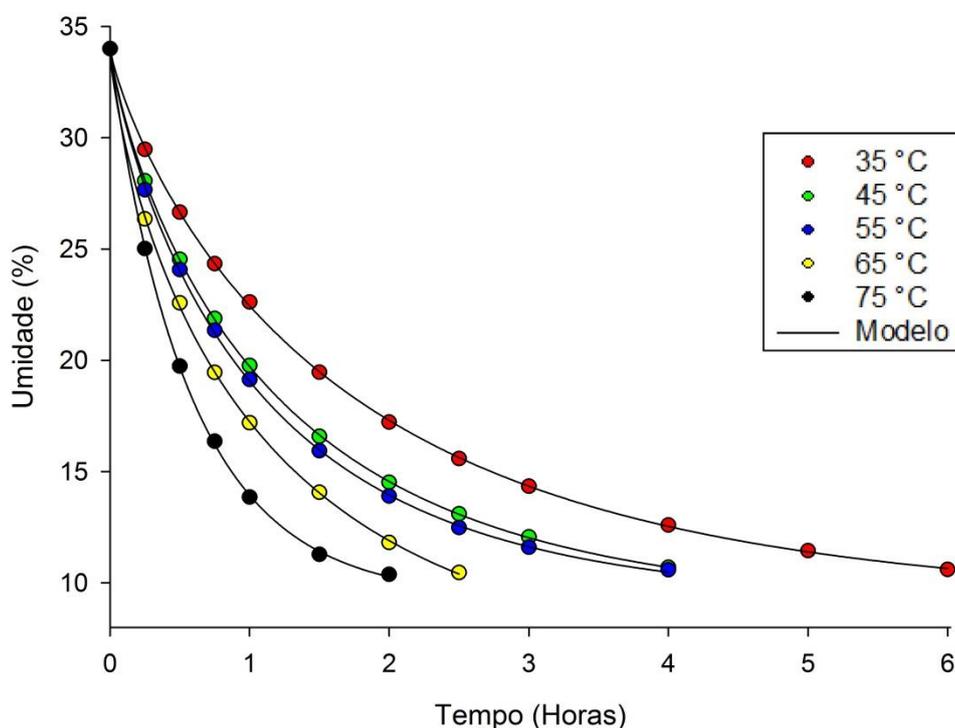


Figura 12 – Curvas de secagem da massa alimentícia de espinafre em diferentes temperaturas do ar de secagem ajustadas pelo modelo de Page.

De acordo com a Figura 12, verifica-se que ao aumentar a temperatura de secagem a partir de valores menores de temperaturas (35 para 45 °C), a redução do tempo de secagem é grande. Entretanto, quando se aumenta a temperatura a partir de temperaturas maiores (65 para 75 °C) essa redução no tempo de secagem torna-se bem menor. Araújo et al. (2017) afirmaram que à medida que a temperatura do ar de secagem aumenta a umidade relativa diminui, levando, portanto, a uma elevação na capacidade de receber o vapor d'água do alimento.

Depois de selecionado o modelo de Page para representar o processo, foi realizado uma avaliação da influência da temperatura sobre os parâmetros deste modelo (n e k) e sobre a umidade de equilíbrio (X_e).

A umidade de equilíbrio, em base seca, foi calculada conforme a Equação 33.

$$X_e = \frac{M_e - M_s}{M_s} \quad (33)$$

em que, M_e e M_s são as massas de equilíbrio e seca, após a secagem, respectivamente.

O coeficiente de variação para os parâmetros n , k e para a umidade de equilíbrio, X_e , foram de 7,43%, 35,69% e 7,99%, respectivamente. Logo, verifica-se que o parâmetro n e a umidade de equilíbrio tiveram uma pequena variação dentro do intervalo avaliado, enquanto o parâmetro k variou de forma mais acentuada dentro do intervalo de temperaturas avaliadas.

O parâmetro k normalmente está relacionado com a difusividade efetiva da água no interior do alimento. A difusividade efetiva, por sua vez, varia com a temperatura, podendo ser comumente descrita pelo modelo de Arrhenius. Diante disso, para a obtenção de um modelo generalizado, em que a umidade seja função da temperatura e do tempo de secagem, utilizou-se um modelo semelhante ao de Arrhenius (ARAÚJO et al., 2017), em que o parâmetros k seja função da temperatura. Para esse modelo, considerou-se a umidade de equilíbrio, X_e , uma função exponencial com a temperatura. O modelo generalizado, após a substituição, é apresentado na Equação 34.

$$RU = e^{-\left(k_1 e^{\frac{-k_2}{T}}\right)t^n} \quad (34)$$

em que, k_1 , k_2 e n são parâmetros do modelo; T é a temperatura, em kelvin, e t é o tempo, em horas.

Após igualar a equação de RU (Equação 12) com a do modelo generalizado (Equação 34) e considerando uma relação exponencial da umidade de equilíbrio com a temperatura, obteve-se a Equação 35.

$$X_t = (a + b e^{-kT}) + [0,5151 - (a + b e^{-kT})] e^{-\left(k_1 e^{\frac{-k_2}{T}}\right)t^n} \quad (35)$$

em que, X_t é a umidade em base seca (Kg de água/ Kg de Ms) no tempo t de secagem, em horas, T é a temperatura em kelvin e $0,5151$ (kg de água/kg de MS) é a umidade em base seca equivalente a umidade inicial da massa alimentícia com 34% (base úmida). E a , b , k , k_1 , k_2 e n são parâmetros do modelo.

A Tabela 9 apresenta os valores estimados para os parâmetros do modelo generalizado, o qual apresentou um coeficiente de determinação igual a 0,9972.

Tabela 9 - Valores dos parâmetros ajustados para o modelo generalizado

Parâmetro	Estimativa
a	-35,6993
b	35,9337
k	0,0001149
k_1	350,4834 (h^{-1})
k_2	1867,7729 (K)
n	0,7849

A partir dos valores de umidade em base seca, calculou-se a umidade em base úmida no tempo t , $U_t(\%)$, pela Equação 36.

$$U_t(\%) = \frac{100}{1 + \frac{1}{X_t}} \quad (36)$$

Na Figura 13 é apresentada a dispersão dos valores de umidade (%) preditos pelo modelo generalizado *versus* os valores experimentais de umidade (%), em base úmida.

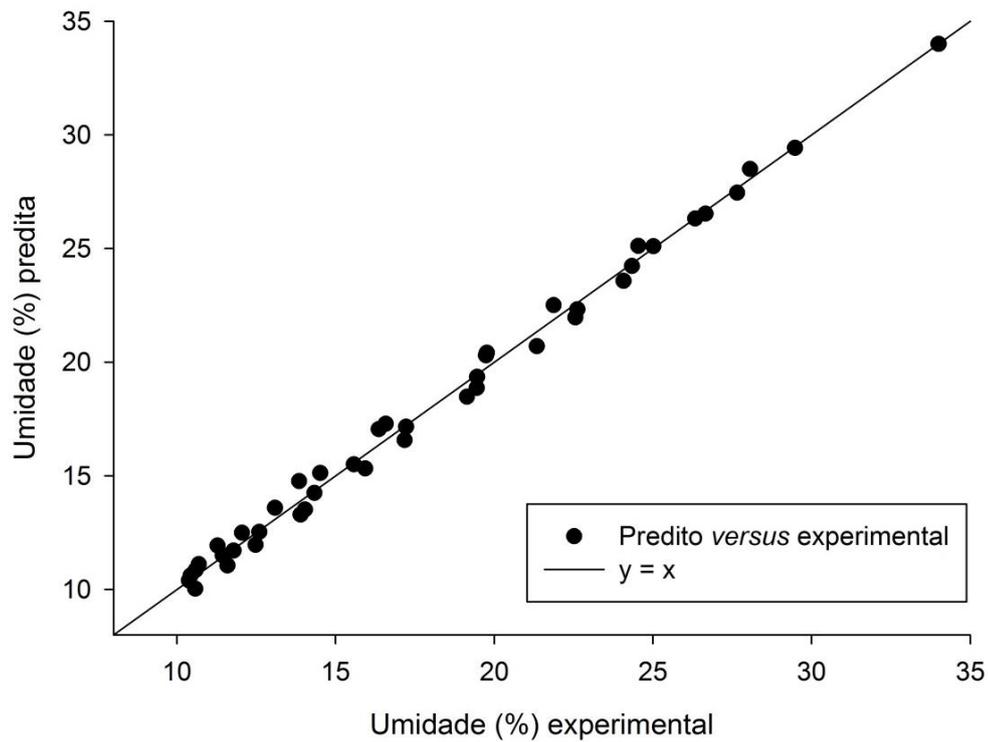


Figura 13 - Valores preditos *versus* valores experimentais.

O modelo generalizado apresentou um bom ajuste à secagem de massa alimentícia de espinafre, com R^2 de 0,9972. Além do mais, verificou-se que os dados foram próximos e aleatoriamente distribuídos em torno da reta $y = x$.

6.5.2 Tempo de secagem

O modelo generalizado foi utilizado para estimar o tempo de secagem das massas alimentícias de espinafre. A Figura 14 apresenta as curvas de secagem estimadas pelo modelo generalizado nas diferentes temperaturas avaliadas. A interseção da linha horizontal com as curvas de secagem fornece, também, o tempo necessário para obtenção de um produto final com 11% de umidade, em base úmida, para cada temperatura.

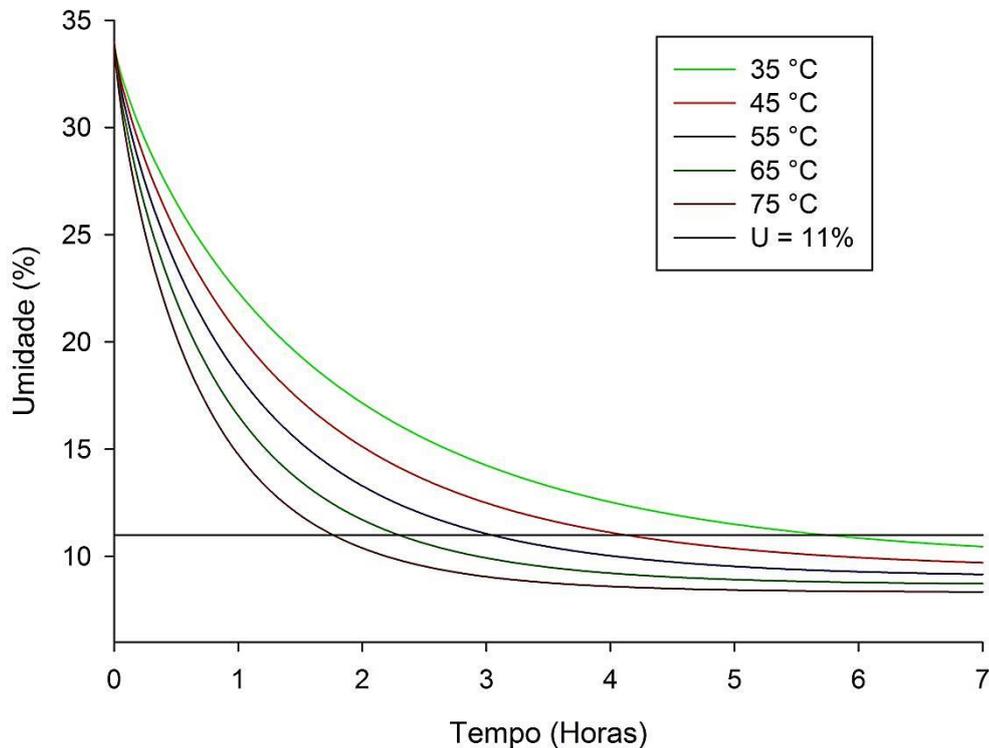


Figura 14 - Curvas de secagem previstas nas diferentes temperaturas.

Os valores estimados pelo modelo generalizado para o tempo de secagem das massas alimentícias de espinafre até umidade de 11% nas temperaturas de 35, 45, 55, 65 e 75 °C foram, respectivamente, de 5,73; 4,11; 3,04; 2,29 e 1,76 horas. Nota-se que à medida que se aumenta a temperatura do ar de secagem, o tempo necessário para a secagem diminui. Esse fato ocorre pois o aumento da temperatura reduz a umidade relativa do ar e faz com que migração da água para o ar ambiente ocorra em uma maior taxa, levando, assim, a uma redução do tempo de secagem (KARIM; HAWLADER, 2005; MUJUMDAR, 2014),

Além do mais, a otimização dos fatores tempo e temperatura de secagem são de grande importância, uma vez que estão relacionados diretamente com o custo do processo de secagem.

6.5.3 Gasto energético

Na Figura 15 é apresentada a cinética do consumo de energia durante a secagem das amostras e o ajuste do modelo exponencial, Equação 21, para cada temperatura avaliada.

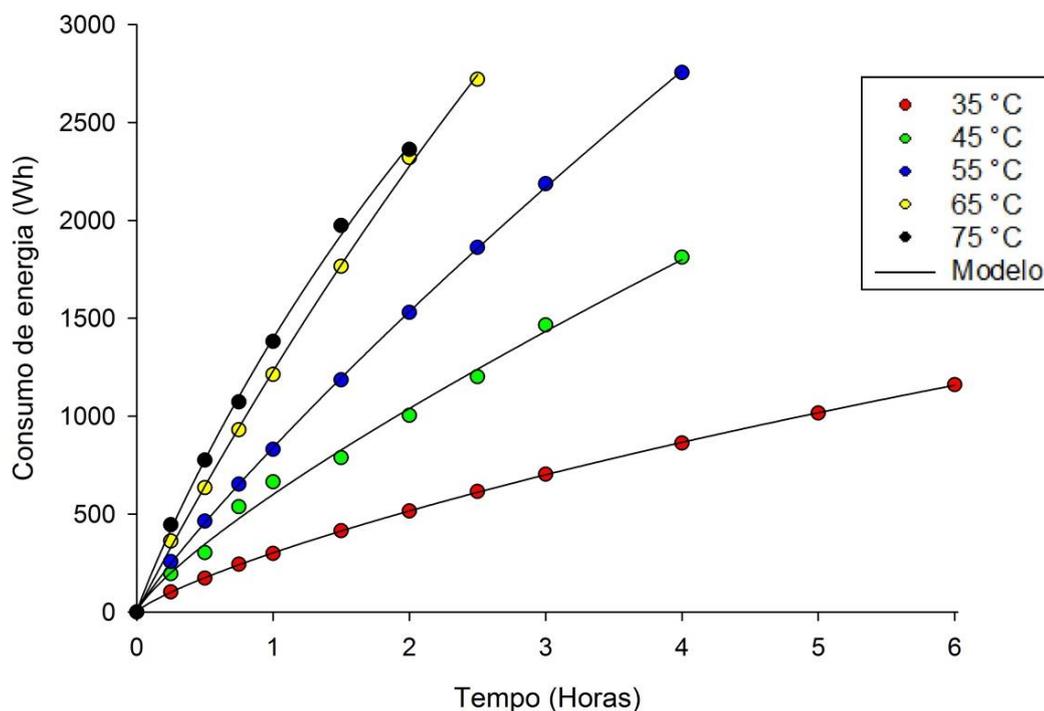


Figura 15 - Cinética do gasto de energia ao longo do tempo de secagem.

De acordo com a Figura 15, observa-se que o modelo exponencial utilizado se ajustou bem aos dados experimentais, uma vez que apresentou valores do coeficiente de determinação (R^2) satisfatórios ($> 0,99$), para todas as temperaturas avaliadas (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores de R^2 e S do modelo exponencial para as temperaturas avaliadas

Temperatura (°C)	R^2	S
35	0,9999	2,9267
45	0,9950	46,5063
55	0,9999	10,5346
65	0,9993	28,6521
75	0,9989	32,8590

Após selecionado o modelo para representar o consumo energético, foi realizado uma avaliação do efeito da temperatura sobre os parâmetros deste modelo (a, b e n).

Para a obtenção de um modelo generalizado, em que o consumo energético seja função da temperatura e do tempo de secagem, considerou-se o parâmetro a constante e os parâmetros b e n uma função linear com a temperatura. O modelo generalizado, após a substituição, é apresentado na Equação 37.

$$\hat{Y} = a \left(1 - e^{-(b_0 + b_1 T) t^{(n_0 + n_1 T)}} \right) \quad (37)$$

em que, b_0 , b_1 , n_0 e n_1 são parâmetros do modelo; T é a temperatura, em Celsius, e t é o tempo, em horas.

A Tabela 11 apresenta os valores estimados para os parâmetros do modelo generalizado para o consumo energético.

Tabela 11 - Valores dos parâmetros ajustados para o modelo generalizado

Parâmetro	Estimativa
a	8082,244
b_0	-0,10468
b_1	0,004007
n_0	0,697843
n_1	0,003966

Na Figura 16 é apresentada a dispersão dos valores de consumo (W.h) preditos pelo modelo generalizado *versus* os valores experimentais de consumo (W.h).

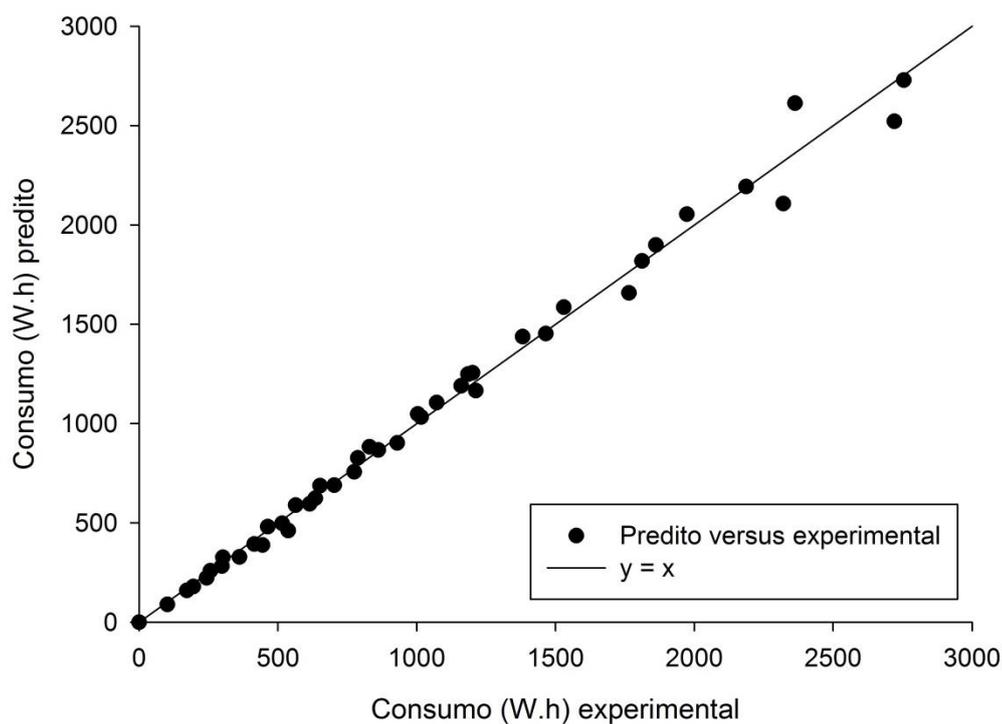


Figura 16 - Valores preditos versus valores experimentais.

O modelo generalizado apresentou um bom ajuste aos dados de consumo energético da etapa secagem de massa alimentícia de espinafre, com R^2 de 0,9919. Além disso, verificou-se que os dados foram próximos e aleatoriamente distribuídos em torno da reta $y = x$.

O modelo generalizado foi utilizado, também, para estimar o consumo energético da etapa secagem das massas alimentícias de espinafre ao atingir 11% de umidade, em base úmida, para cada temperatura (Figura 17).

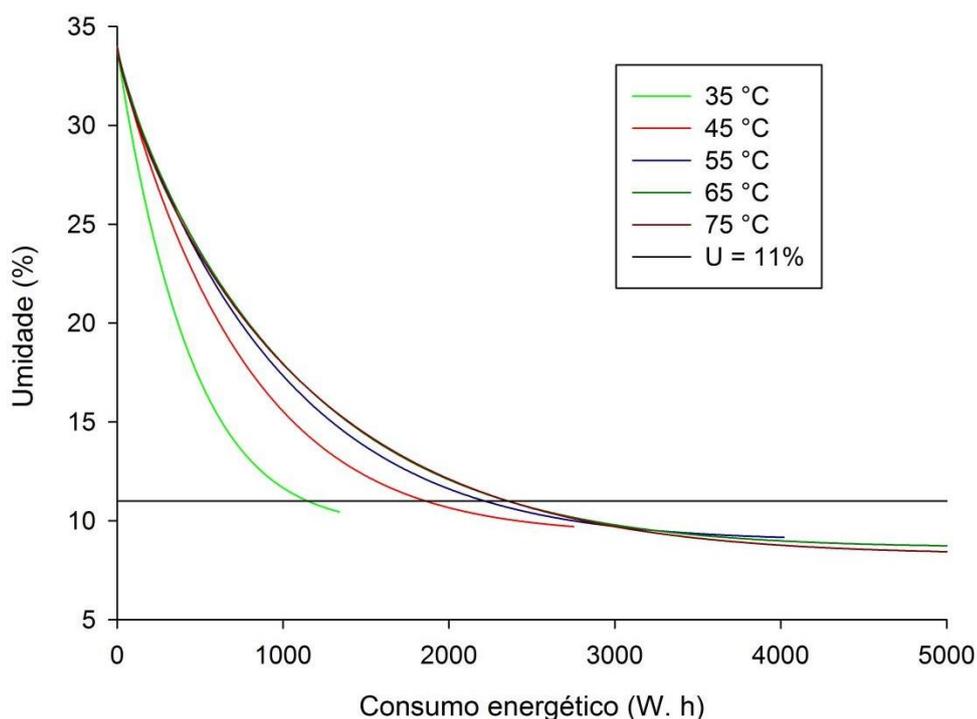


Figura 17 – Consumo energético previsto nas diferentes temperaturas.

De acordo com a Figura 17, os valores de consumo energético estimado pelo modelo generalizado para a massa alimentícia de espinafre atingir umidade de 11% nas temperaturas de 35, 45, 55, 65 e 75 °C foram de 1147,99; 1859,87; 2215,26; 2351,42; 2356,24 W.h, respectivamente. Com isso, verifica-se que as temperaturas maiores apresentam maior consumo energético em relação às menores. Ao aumentar a temperatura de secagem a partir de valores menores de temperaturas (35 para 45 °C), o aumento do consumo energético é grande. Porém, quando se aumenta a temperatura a partir de temperaturas maiores (65 para 75 °C) esse aumento do consumo energético se torna bem menor.

6.5.4 Caracterização físico-química

O fator temperatura de secagem não influenciou de forma significativa ($p > 0,05$), pelo teste F, nas características físico-químicas da massa alimentícia de espinafre descritas na Tabela 12. Com isso, os resultados foram expressos como a média geral mais ou menos o desvio padrão.

Tabela 12 - Resultado das análises físico-químicas das massas alimentícias de espinafre (média \pm desvio padrão)

Análises físico-químicas*	$\bar{X} \pm S$
Parâmetros de cor	
L*	63,33 \pm 1,18
a*	-5,02 \pm 0,34
b*	22,52 \pm 0,59
Umidade (g/100g) b.u.	
Atividade de água	0,47 \pm 0,04
pH	6,03 \pm 0,05
Acidez titulável	3,68 \pm 0,29
Cinzas (g/100g) b.s.	3,85 \pm 0,61
Compostos fenólicos totais	29,18 \pm 1,83
Atividade antioxidante ABTS	3,17 \pm 0,54
Clorofila total	4,22 \pm 0,30
Dureza (N)	34,82 \pm 4,49
Fraturabilidade (N)	24,72 \pm 6,37
Parâmetros de cor do líquido drenado	
a*	-0,29 \pm 0,11

b.u. – base úmida; b.s. – base seca;

* Unidades: Acidez titulável: solução molar por cento (v/m), em b.s.; compostos fenólicos totais (mg de equivalentes de ácido gálico/100 g amostra em b.s.); atividade antioxidante ABTS (μ M de trolox/g amostra b.s.); clorofila total (mg de clorofila total/100 g de amostra em b.s.).

A cor dos alimentos está relacionada com a aceitação e intenção de compra pelos consumidores, além de ser um parâmetro de qualidade para os alimentos desidratados (RATTI, 2008; VAN DER LAAN et al., 2015). A alteração da cor tende a ser maior quando se utiliza temperaturas mais elevadas. No entanto, deve-se levar em consideração o tempo em que o produto fica submetido às altas temperaturas, pois este fator influencia, também, na variação dos parâmetros de cor (RATTI, 2008). Além disso, alguns pigmentos são mais termorresistentes que outros.

No presente estudo, os parâmetros de cor dos discos das massas alimentícias (L*, a* e b*) não sofreram alteração significativa nas temperaturas de secagem avaliadas. Esse fato pode ser explicado devido às secagens em

temperaturas altas apresentarem tempos menores e as temperaturas baixas apresentarem tempos maiores (RATTI, 2008).

A análise de umidade dos produtos é realizada com o intuito de verificar a eficácia do processo de secagem e observar as melhores condições de estocagem para o produto (CASAGRANDI et al., 1999). No presente estudo, o teor médio de umidade foi de $10,00 \pm 0,25\%$, em base úmida. O valor encontrado está de acordo com o estabelecido pela RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000 da ANVISA, que estabelece umidade máxima de 13%, em base úmida, para massas alimentícias secas (BRASIL, 2000).

Segundo Ciacco; Chang (1986), umidade de massas alimentícias secas abaixo de 12-12,5% tornam o processo antieconômico. No entanto, Labuza (1982) afirma que a faixa ótima de umidade situa-se entre 10 e 11%, quando o produto apresenta atividade de água (a_w) próxima de 0,44. Portanto, verifica-se que as massas alimentícias de espinafre apresentaram um valor de umidade dentro da faixa recomenda por Labuza (1982) e de acordo com a legislação vigente.

De acordo com Chisté et al. (2006), o valor de atividade de água 0,60 é considerado o mínimo para o crescimento de microrganismos, sendo assim, grande parte dos alimentos desidratados são considerados estáveis microbiologicamente.

O valor médio de atividade de água encontrado foi de $0,47 \pm 0,04$. Com isso, o crescimento de microrganismos, a atividade enzimática e algumas reações químicas tornam-se desfavorecidos.

No presente estudo, o valor médio do pH das massas alimentícias de espinafre foi de $6,03 \pm 0,05$. Resta; Oliveira (2013) ao avaliarem o pH de massas alimentícias tradicionais secas e frescas, com e sem recheio, encontraram valores que variaram entre $5,69 \pm 0,43$ e $6,12 \pm 0,23$. Desta forma, o extrato de espinafre adicionado não promoveu grande alteração no valor de pH das massa alimentícias, uma vez que estas apresentaram valor próximo ao de massas alimentícias secas tradicionais.

A acidez total titulável encontrada foi de $3,68 \pm 0,19$ mL de NaOH 1 N por 100 g de amostra em base seca. Com isso, observa-se que a acidez das massas alimentícias de espinafre encontra-se dentro do limite especificado pela legislação brasileira, que preconiza um teor máximo de 5 mL NaOH N/100 g para massas secas e úmidas (BRASIL, 2000).

O pH e a acidez são fatores intrínsecos dos alimentos relacionados, também, à manutenção das características do produto, principalmente, na conservação (SOUZA et al., 2008). A acidez da farinha de trigo, bem como dos produtos elaborados a partir dela é de grande importância, uma vez que influencia na vida de prateleira do produto e na diminuição da aceitação pelos consumidores por meio de alterações de cor e sabor (ORTOLAN, 2006).

A legislação brasileira estabelece que quando forem adicionados outros ingredientes além dos derivados de trigo, exceto o sal (cloreto de sódio), nas massas alimentícias, o teor de cinzas pode ser alterado de acordo com a composição do produto (BRASIL, 2000). Para as massas alimentícias de espinafre, o valor encontrado foi de $3,85 \pm 0,61\%$, em base seca. De acordo com Zanatta; Schlabitz; Ethur (2010), o espinafre possui vários minerais em sua composição, tais como: zinco, cobre, manganês, magnésio, fósforo, potássio e, principalmente, ferro e cálcio. Com isso, observa-se que o espinafre adicionado à massa alimentícia contribuiu com o aumento do teor de cinzas do produto final, além dos outros ingredientes adicionados.

O teor médio de compostos fenólicos totais foi de $29,18 \pm 1,83$ mg de equivalentes de ácido gálico/100 g amostra em b.s. Os compostos fenólicos estão relacionados com a atividade antioxidante e um consumo regular ajuda a combater a formação de radicais livres. Além disso, podem exercer ação antimicrobiana, anticarcinogênica, anti-inflamória, entre outras (KIM; JEONG; LEE, 2003; ARAÚJO, 2015). O valor médio da atividade antioxidante pelo método ABTS foi de $3,17 \pm 0,54$ μ M de trolox/g amostra b.s.

O espinafre além de possuir o pigmento clorofila apresenta, também, o carotenoide luteína de pigmentação amarela, sendo um potente antioxidante (STRINGHETA et al., 2006; PIENIZ et al., 2009).

As clorofilas são pigmentos naturais responsáveis pela cor verde dos vegetais (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Na indústria de alimentos, a clorofila é empregada devida suas propriedades corantes e físico-químicas. No entanto, esse pigmento é relativamente instável e sensível à luz, oxigênio, degradação química e aquecimento, (SCHOEFS, 2002). No presente estudo, verifica-se que os níveis do fator temperatura não influenciaram de forma significativa no conteúdo de clorofila total das amostras. O valor médio obtido foi de $4,22 \pm 0,30$ mg de clorofila total/100 g de amostra em b.s.

Mujumdar (2014) afirma que quanto maior for o tempo e temperatura de secagem maior será a dureza do alimento. No entanto, não foi verificada essa relação no presente estudo, uma vez que as respostas de dureza e fraturabilidade foram não significativas ($p > 0,05$) para o fator temperatura de secagem. Os valores médios encontrados de dureza e fraturabilidade das massas alimentícias de espinafre foram de $34,82 \pm 4,49$ N e $24,72 \pm 6,37$ N, respectivamente.

Em relação aos parâmetros de cor do líquido drenado, o parâmetro a^* foi o único que não foi significativo, apresentando valor médio de $-0,29 \pm 0,11$.

6.5.4.1 Variáveis resposta influenciadas pelo fator temperatura de secagem

As análises físico-químicas de carotenoides totais, atividade antioxidante pelo método DPPH e os parâmetros de cor L^* e b^* do líquido drenado apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), pelo teste F. Para isso, foi realizado o ajuste de modelos matemáticos, a fim de descrever o comportamento de cada variável resposta.

6.5.4.1.1 Carotenoides totais

O teor de carotenoides totais (μg de luteína por 100 g de amostra), em base seca, das massas alimentícias de espinafre, em função da temperatura e o modelo ajustado aos dados são apresentados na Figura 18.

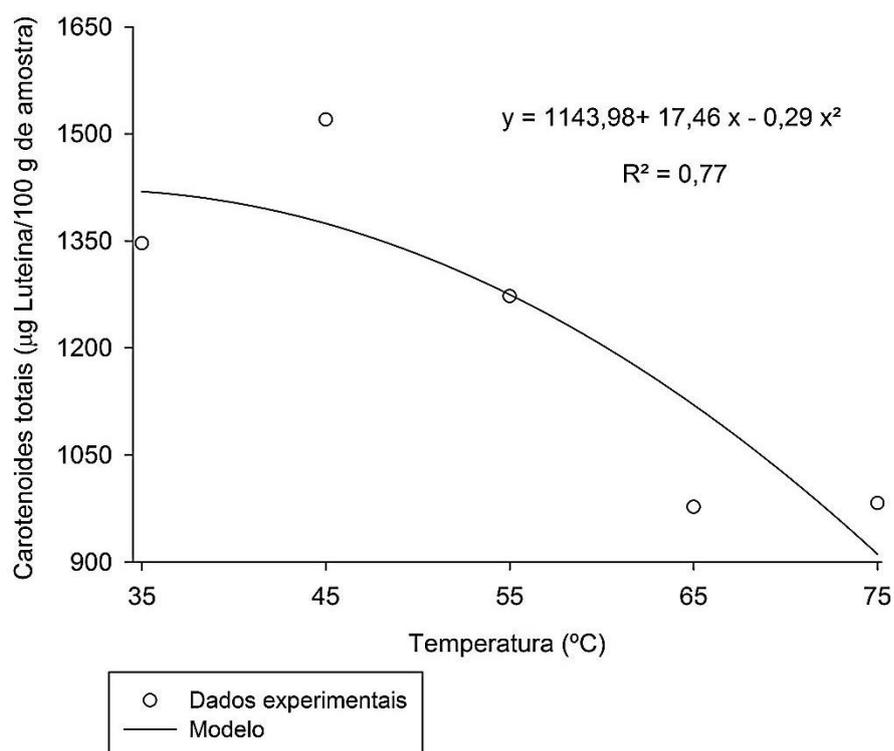


Figura 18 - Teor de carotenoides totais em função da temperatura de secagem.

O teor de carotenoides totais das massas alimentícias de espinafre estimado pelo modelo apresentou-se entre 910,89 e 1419,18 µg de luteína por 100 g de amostra, em base seca, para as temperaturas de 75 °C e 35 °C, respectivamente.

A luteína é o carotenoide majoritário do espinafre. Além disso, outros carotenoides também são encontrados no espinafre como β-caroteno, violaxantina e cisneoxantina (BERGQUIST; GERTSSON; OLSSON, 2006).

A luteína, assim como a zeaxantina, não é precursora de vitamina A. No entanto, de acordo com Ambrósio; Campos; Faro (2006), esses carotenoides parecem exercer ação protetora contra catarata, degeneração macular relacionada a idade (DMRI) e câncer.

Com isso, verifica-se que o consumo de carotenoides proveniente de diferentes fontes de alimentos ou incorporados em algum produto demonstra-se benéfico à saúde dos seres humanos, uma vez que está relacionado à prevenção de várias doenças.

O modelo polinomial de grau 2 foi o que melhor se ajustou aos dados de carotenoides totais em função da temperatura, com R² igual a 0,77.

6.5.4.1.2 Atividade antioxidante – DPPH

A capacidade antioxidante pelo método de sequestro do radical DPPH é apresentada na Figura 19.

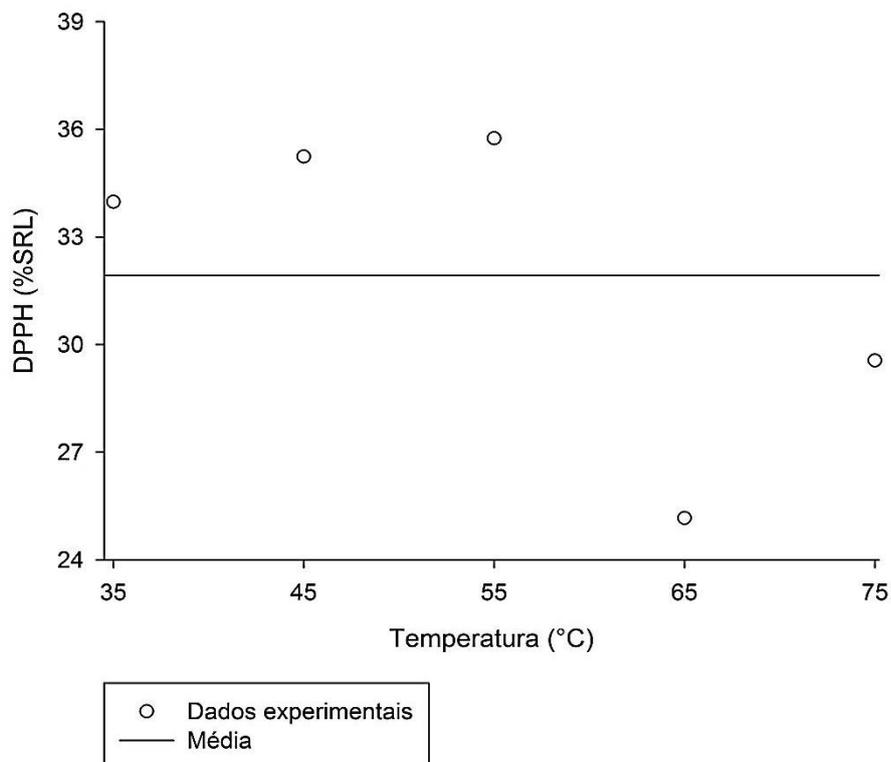


Figura 19 - Porcentagem de sequestro de radicais livres em função da temperatura de secagem.

Para a capacidade antioxidante pelo método DPPH, o teste F apresentou-se significativo ($p < 0,05$). No entanto, ao se testar modelos polinomiais de grau 1 e 2, modelos exponenciais e outros modelos, nenhum foi significativo ($p < 0,05$).

Os valores da atividade antioxidante das massas alimentícias de espinafre apresentaram-se entre 25,16 a 35,75% SRL, com valor médio de 31,94 %SRL. Com isso, verifica-se que a incorporação de espinafre à massa alimentícia contribui para agregar valor nutricional ao produto final.

Os compostos antioxidantes do espinafre atuam bloqueando a ação dos radicais livres e também na prevenção de câncer e algumas doenças (AZEVEDO, 2012).

6.5.4.1.3 Parâmetros de cor do líquido drenado

Os parâmetros de cor L^* e b^* do líquido drenado após o cozimento das massas alimentícias de espinafre em função da temperatura são apresentados nas Figuras 20 e 21.

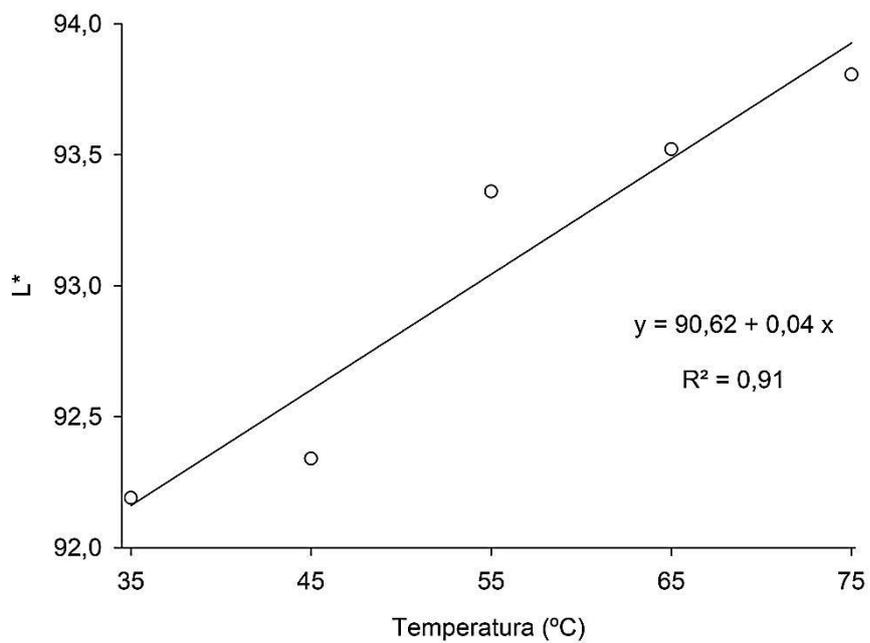


Figura 20 - Parâmetro L^* em função da temperatura de secagem.

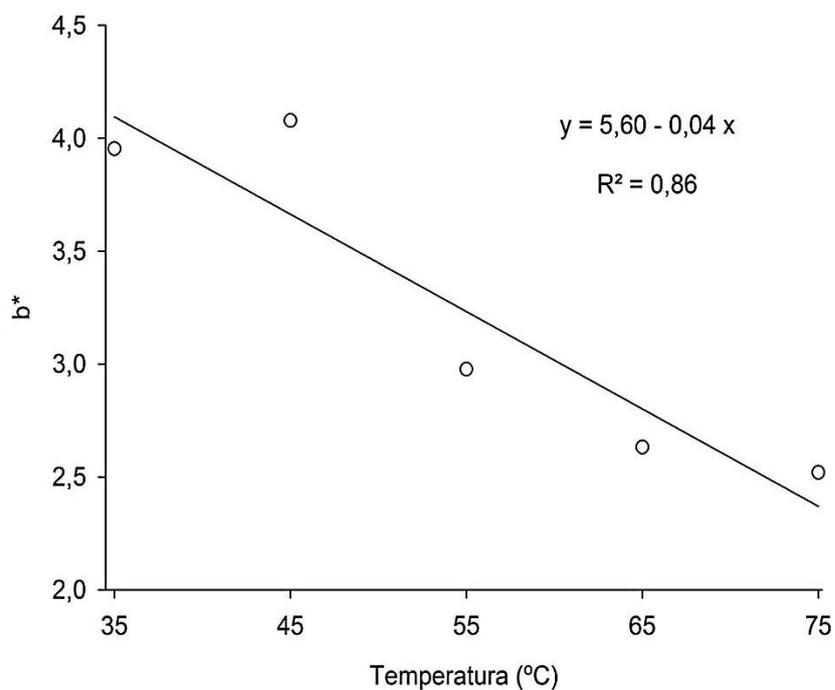


Figura 21 - Parâmetro b^* em função da temperatura de secagem.

De acordo com a Figura 20, os valores de L^* estimados pelo modelo situaram-se entre 92,16 e 93,93, para as temperaturas de 35 e 75 °C, respectivamente. Foi observado que quanto maior a temperatura de secagem das massas alimentícias de espinafre, maior foi o valor de L^* do líquido drenado. Estes resultados mostram que o aumento da temperatura de secagem levou a uma menor perda de resíduos solúveis na água de cozimento das massas alimentícias de espinafre, sendo isso desejável.

Para o parâmetro b^* (Figura 21), os valores estimados pelo modelo ficaram entre 2,37 a 4,09, para as temperaturas de 75 e 35 °C, respectivamente. Nota-se que o parâmetro b^* apresentou uma relação inversa com a temperatura de secagem. De acordo com Stringheta et al. (2006) e Pieniz et al. (2009), a cor amarela do espinafre está relacionada com o carotenoide luteína, sendo um potente antioxidante. Sendo assim, verificou-se que o aumento da temperatura de secagem levou a uma maior perda de cor (amarela) na água de cozimento, sendo uma característica indesejável.

Um modelo linear foi ajustado para representar os parâmetros L^* e b^* em função da temperatura da secagem e os valores de R^2 foram de 0,91 e 0,86, respectivamente.

6.5.5 Caracterização da qualidade tecnológica

A temperatura de secagem não exerceu influência significativa ($p > 0,05$), pelo teste F, nas características tecnológicas das massas alimentícias de espinafre. Os resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultado das análises de qualidade tecnológica das massas alimentícias de espinafre (média \pm desvio padrão)

Análises da qualidade tecnológica	$\bar{y} \pm S$
Tempo de cozimento (min.)	6,87 \pm 0,74
Absorção de água (%)	226,43 \pm 10,51
Expansão de volume (%)	290,96 \pm 27,95
Perda de sólidos solúveis (%)	4,50 \pm 0,63

O tempo de cozimento varia em função do tamanho e formato das massas alimentícias (CASAGRANDI et al., 1999) e este influencia, também, na intenção de compra do produto, uma vez que os consumidores buscam alimentos de preparo rápido, prático e com qualidade nutricional (REIS, 2013). No presente estudo, o tempo de cocção apresentou-se entre 6,33 e 7,66 minutos, com valor médio de $6,87 \pm 0,74$ minutos.

Em relação à absorção de água, Casagrandi et al. (1999) consideram como resultado adequado um valor equivalente a aproximadamente 2 vezes o peso original ($\pm 200\%$). Neste estudo, o valor médio encontrado foi de $226,43 \pm 10,51\%$. Portanto, verifica-se que as massas alimentícias de espinafre são de boa qualidade, uma vez que estão de acordo dados da literatura.

A adição de vegetais às massas alimentícias contribui com o aumento da interação entre os grânulos de amido e a matriz proteica, gerando massas de melhor qualidade, ou seja, com maior capacidade de retenção de água (Yadav et al., 2014).

Casagrandi et al. (1999) e Hummel (1966) afirmam que para o aumento de volume são esperados valores entre 200 e 300%. O resultado médio encontrado, no presente estudo, foi de $290,96 \pm 27,95\%$, estando dentro da faixa recomendada.

Segundo Hummel (1966); Ormenese; Chang (2003), massas alimentícias que apresentam perda de sólidos solúveis (PSS) inferior a 6% são classificadas como de ótima qualidade, entre 6 e 8% são de média qualidade e superiores a 10% são consideradas de baixa qualidade. Com isso, verifica-se que as massas alimentícias de espinafre são classificadas como massas de ótima qualidade, pois apresentaram valor médio de PSS de $4,50 \pm 0,63\%$.

6.5.6 Otimização simultânea das respostas pela função desejabilidade

As melhores condições para cada variável resposta foram distintas. Portanto, empregou-se a técnica de otimização simultânea das variáveis resposta, por meio da função desejabilidade, a fim de alcançar a temperatura ótima de secagem.

As respostas maximizadas foram carotenoides totais e o parâmetro de cor L^* do líquido drenado. Já, as respostas minimizadas foram o tempo de secagem, gasto energético e o parâmetro de cor b^* do líquido drenado. Os valores das respostas \hat{y}_i foram estimados usando modelos de regressão ajustados.

Posteriormente à otimização simultânea das respostas, verificou-se que a condição de maior desejabilidade foi de 0,44, resultando, assim, na temperatura de

secagem de 52 °C. A desejabilidade global em função da temperatura de secagem é apresentada na Figura 22.

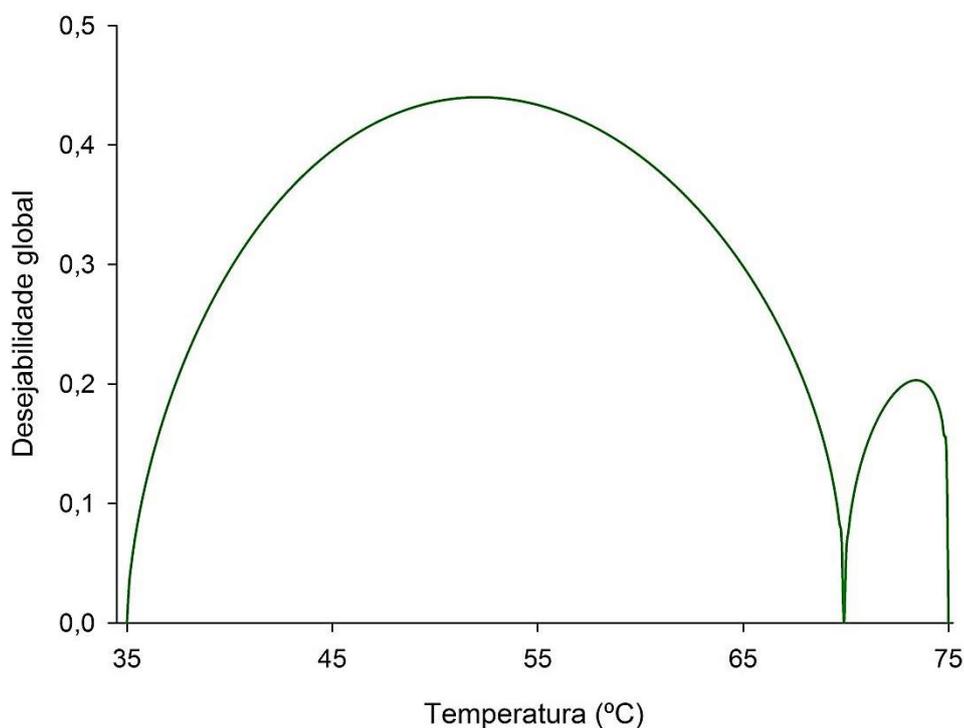


Figura 22 - Desejabilidade global em função da temperatura de secagem.

Cagliari (2017) avaliou a secagem de folhas de oliveira nas temperaturas de 45,9, 50, 60, 70 e 74,1 °C, buscando um menor tempo de secagem para uma menor perda da qualidade da folha e, por meio da função desejabilidade, verificou que o valor de desejabilidade global foi de 0,99 para as condições ótimas, correspondendo à temperatura do ar de 54,4 °C.

6.6 Conclusão

O fator temperatura de secagem exerceu efeito significativo ($p < 0,05$) somente sobre a atividade antioxidante – DPPH, carotenoides totais, sobre os parâmetros L^* e b^* do líquido drenado, tempo de secagem e consumo energético. Já, para as demais respostas físico-químicas e análises tecnológicas não houve diferença significativa ($p > 0,05$), pelo teste F, para o fator avaliado.

Os modelos matemáticos avaliados ajustaram-se bem aos dados experimentais, apresentando valores de R^2_{adj} superiores a 0,99 e baixos valores de S ($\leq 4,2862$). Desta forma, o Modelo de Page foi escolhido para representar o

processo de secagem das massas alimentícias de espinafre, uma vez que apresentou o maior valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e o menor valor do erro padrão da regressão em todas as temperaturas testadas.

O modelo generalizado apresentou um coeficiente de determinação igual a 0,9972, sendo satisfatório para estimar a umidade da massa alimentícia de espinafre em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de secagem para atingir 11% de umidade, em base úmida.

A otimização simultânea das respostas possibilitou escolher uma temperatura ótima para obtenção de uma massa alimentícia de espinafre com características desejáveis. Assim sendo, constatou-se que a temperatura de secagem de 52 °C foi a que apresentou os melhores resultados, ou seja, maior valor de desejabilidade global (0,44) para esse estudo.

6.7 Referências bibliográficas

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. 8. ed. Saint Paul, 1995.

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <<http://www.abimapi.com.br/macarrao.php>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

AKHNAZAROVA, S. KAFAROV, V. **Experiment optimization in chemistry and chemical engineering**. Moscow: Mir, 1982. 312p.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 2, p. 233-243, 2006.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 339p.

ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. do N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leite de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1–9, 2017.

ARAÚJO, J. M. A. **Química dos alimentos: teoria e prática**. 6. ed. Viçosa: UFV, 2015. 668p.

AZEVEDO, F. de L. A. A. de. **Valor nutricional, capacidade antioxidante e utilização de folhas de espinafre (*Tetragonia tetragonoides*) em pó como ingrediente de pão de forma**. 2012. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2012.

BELITZ; H. D.; GROSCH, W.; **Food Chemistry**. 3. ed. Berlin Heidelberg New York: Springer; 1987, 774p.

BERGMAN, M., PERELMA, A., DUBINSKY, Z., GROSSMAN, S. Scavenging of reactive oxygen species by a novel glucuronated flavonoid antioxidant isolated and purified from spinach. **Phytochemistry**, v. 62, n. 5, p. 753-762, 2003.

BERGQUIST, S. Å. M.; GERTSSON, U. E.; OLSSON, M. E. Influence of growth stage and postharvest storage in ascorbic acid and carotenoid content and visual quality of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86; n. 3, p. 346-355. 2006

BLOOR. S. J. Overview of methods for analysis and identification of flavonoids. **Methods in Enzymology**, v. 335, p. 3-14, 2001.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 93, de 31 de outubro de 2000. Dispõe sobre o regulamento técnico para fixação de Identidade e qualidade de massas alimentícias. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisaegis/resol/2000/93_00rdc.htmF>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CAGLIARI, A. **Influência da secagem convectiva em leite fixo sobre as propriedades da folha de oliveira (*olea europaea* L.)**. 2017. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Pampa, Bagé. 2017.

CASAGRANDE, D. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SALGADO, J. M.; PIZZINATO, A.; NOVAES, N. J. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 2, p. 137–143, 1999.

CELMA, A. R.; CUADROS, F.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F. Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 224–234, 2012.

CEYLAN, I.; AKTAŞ, M.; DOĞAN, H. Mathematical modeling of drying characteristics of tropical fruits. **Applied Thermal Engineering**, v. 27, n. 11-12, p. 1931–1936, 2007.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O.; MATHIAS, E. de A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 861–864, 2006.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Massas: tecnologia e qualidade**. Ed. Unicamp, 1986, 127p.

DAMODARAN, S.; PAKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Editora Artmed. 2010. 900p.

DENARDI, C. C.; BOUFLEUR, N.; RECKZIEGEL, P.; SILVA, L. P. da. Influência do consumo de arroz ou de macarrão no desempenho e resposta metabólica em ratos. **Alimentos e nutrição**, v. 20, n. 3, p. 441-449, 2009.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Food Technology**, v. 12, n.4, p. 214-219, 1980.

FAN; HODGES D.M.; ZHANG J.; KIRBY, C. W.; XIUHONG, J.; LOCKE, S. J.; CRITCHLEY, A.T.; PRITHIVIRAJ, B. Commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinacia oleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress. **Food Chemistry**, v. 124, n. 1, p. 195-202, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Catálogo brasileiro de hortaliças, 2010. Disponível em: <<http://www.ceasa.gov.br/dados/publicacao/Catalogo%20hortalicas.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

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

GOKMEN, V.; BAHÇEÇI, S.; ACAR, J. Liquid chromatographic method for the determinations of chlorophylls, carotenoids, and their derivatives in fresh and processed vegetables. **Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies**, v. 25, n. 8, p. 1201–1213, 2002.

GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P. da; PLÁCIDO, G. R.; CALIARI, M.; SILVA, R. M.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G. Secagem da casca e polpa da banana verde (*musa acuminata*): propriedades físicas e funcionais da farinha. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 62–72, 2016.

GUERREIRO, L. **Dossiê técnico de massas alimentícias**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. 39p.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Research Engineering**, v. 12, n. 3, p. 732–736, 1962.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture, processing and packing**. 2.ed. London: Food Trade, 1966. 287p.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1000p

ISLAM, M. A.; SAKKAS, V.; ALBANIS, T. A. Application of statistical design of experiment with desirability function for the removal of organophosphorus pesticide from aqueous solution by low-cost material. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 1, p. 230–238, 2009.

JAWORSKA, G. Nitrates, nitrites, and oxalates in products of spinach and New Zealand spinach. Effect of technological measures and storage time on the level of nitrates, nitrites, and oxalates in frozen and canned products of spinach and New Zealand spinach. **Food Chemistry**, v. 93, n. 3, p. 395-401, 2005.

KARIM, M. A.; HAWLADER, M. N. A. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. **Journal of Food Engineering**, v. 70, n. 1, p. 35–45, 2005.

KAWASHIMA, L. M.; SOARES, L. M. V. Effect of blanching time on selective mineral elements extraction from the spinach substitute (*Tetragonia expansa*) commonly used in Brazil. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 25, n. 3, p. 419–424, 2005.

KHAFAJEH, H.; BANAKAR, A.; GHOBADIAN, B.; MOTEVALI, A. Drying of orange slices in CHP dryer. **Advances in Environmental Biology**, v. 7, n. 9, p. 2326–2331, 2013.

KIM, D.; JEONG, S. W.; LEE, C. Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chemistry**, v. 81, n. 3, p. 231-326, 2003.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Osaka, 1998. 59p.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 4, p. 391–403, 2003.

LABUZA, T. P. **Shelf-life dating of foods**. Westport, Connecticut, 1982, 500p.

LEITÃO, R. F. de F.; GONCALVES, J. R.; EIROA, M. N. U.; GARCIA, E. E. C. **Tecnologia de macarrão**. Campinas, SP: ITAL. Manual Técnico n. 5, 1990. 71p.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427–433, 1921.

LIEBMAN, M.; OKOMBO, J. Oxalate content of selected past products. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 3, p. 254-256, 2009.

MAURO, A. K.; SILVA, V. L. M; FREITAS, M. C. J. Caracterização física, química e sensorial de cookies confeccionados com farinha de talo de couve (FTC) e farinha de talo de espinafre (FTE) rico em fibra alimentar. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 719-728, 2010.

MUJUMDAR, A. **Handbook of industrial drying**. Boca Raton: CRC Press, 4 ed. 2014. 1348p.

MUNRO, D. B.; SMALL, E. **Les Légumes du Canada**. NRC Research Press; 1997. 437p.

OGAWA, T.; CHUMA, A.; AIMOTO, U.; ADACHI, S. Characterization of spaghetti prepared under different drying conditions. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 9, p. 1959–1964, 2015.

ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura em comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 1, p. 91-97, 2003.

ORMENESE, R. de C. S. C.; LEITÃO, R. F. F.; SILVEIRA, N. F. A.; BALDINI, V. L. S.; Influência da secagem à alta temperatura nas características das massas com ovos. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 18, n. 1, p. 7-12, 1998.

ORTOLAN, F. **Genótipos de trigo do Paraná – Safra 2004: Caracterização e fatores relacionados à alteração de cor de farinha**. 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertação (Mestrado)- Purdue University, West Lafayette, 1949.

PIENIZ, S.; COLPO, E.; OLIVEIRA, V. R. de.; ESTEFANEL, V.; ANDREAZZA, R. Avaliação in vitro do potencial antioxidante de frutas e hortaliças. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 552-559, 2009.

PUKALSKAS, A.; VAN BEEK, T. A.; VENSKUTONIS, R. P.; LINSSEN, J. P. H.; VAN VELDHUIZEN, A.; GROOT, A. de. Identification of radical scavengers in sweet grass (*Hierochloa odorata*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 2914–2919, 2002.

RATTI, C. **Advances in food dehydration**. 1. ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, UK, 2008. 416p.

RE, R.; PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.

REIS, T. A. **Caracterização de macarrão massa seca enriquecido com farinha de polpa de peixe**. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

RESTA, M. S. A.; OLIVEIRA, T. C. R. M. de. Avaliação do padrão estafilococos coagulase positiva estabelecido pela legislação brasileira para massas alimentícias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 319–325, 2013.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 2001. 64p.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. da C. I.; P., B. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 3, p. 303–313, 2010.

SCHOEFS B. Chlorophyll and carotenoid analysis in food products. Properties of the pigments and methods of analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, n. 11, p. 361-371, 2002.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic Phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOUZA, J. M. L. de; ÁLVARES, V. de S.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. Á. V. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 761–766, 2008.

STRINGHETA, P. C.; NACHTIGALL. A. M.; OLIVEIRA. T. T. de.; RAMOS, A. M.; SANT'ANA, H. M. P.; GONÇALVES, M. P. J. C. Luteína: propriedades antioxidantes e benefícios à saúde. **Alimentos e nutrição**, v. 17, n. 2, p. 229-238, 2006.

VAN DER LAAN, L. N.; HOOGE, I. T. C., RIDDER, D. T. D. DE; VIERGEVER, M. A.; Smeets, P. A. M. Do you like what you see? The role of first fixation and total fixation duration in consumer choice. **Food Quality and Preference**, v. 39, p. 46–55, 2015

VERNON, L. P. Spectrophotometry determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. **Analytical Chemistry**, v. 32, n. 9, p. 1144–1150, 1960.

VON GADOW, A.; JOUBERT, E.; HANSMANN, C. F. Comparison of the antioxidant activity of aspalathin with that of other plant phenols of rooibos tea (*Aspalathus linearis*), α -Tocopherol, BHT, and BHA. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 3, p. 632–638, 1997.

WROLSTAD, R. E.; SMITH, D. E. Color analysis. In: NIELSEN, S. S. (Ed.). **Food Analysis**, 4. ed. New York: Springer. p. 573–586, 2010.

YADAV, D. N.; SHARMA, M.; CHIKARA, N.; ANAND, T.; BANSAL, S. Quality characteristics of vegetable-blended wheat–pearl millet composite pasta. **Agricultural Research**, v. 3, n. 3, p. 263-270, 2014

ZANATTA, C. L.; SCHLABITZ C; ETHUR, E. M. Avaliação físico-química e microbiológica de farinhas obtidas a partir de vegetais não conformes à comercialização. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 3, p. 459-468, 2010.