



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE FARINHAS DE FEIJÕES GERMINADOS

LARISSA MONIQUE DE SOUSA RODRIGUES

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2020

PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE FARINHAS DE FEIJÕES GERMINADOS

LARISSA MONIQUE DE SOUSA RODRIGUES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

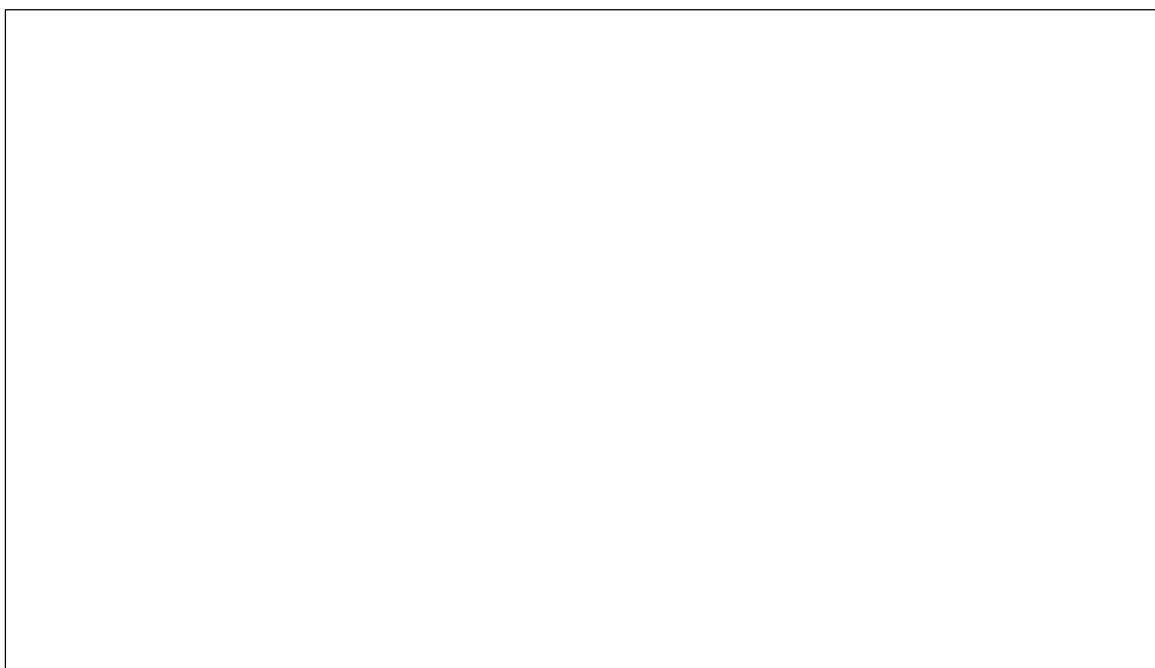
Orientadores: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof^a. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO - 2020

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA
UFCG**

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying the lower half of the page. It is intended for the entry of cataloging information.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Orientador - UFCG/UAEG

Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Orientadora - UFCG/UAEG

Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes
Examinadora - UFCG/UAEG

Profa. Dra. Plúvia Oliveira Galdino
Examinadora - UFCG/UAEG

CAMPINA GRANDE – PB
FEVEREIRO 2020

A Deus. A minha família. A meus amigos.

DEDICATÓRIA.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tamanho cuidado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES), pela concessão da bolsa durante o curso.

À toda minha família, em especial aos meus pais, Cristina Lígia e Eugênio Rodrigues, e as minhas irmãs Laura e Letícia por todo apoio.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Alexandre José, Prof^a. Dr^a. Rossana Maria, Prof^a. Dr^a. Josivanda Palmeira e Prof^a. Dr^a. Plúvia Oliveira pelas sugestões.

Agradeço de forma especial aos professores Alexandre José e Rossana Maria, pela orientação e colaboração a favor da execução do presente trabalho.

Aos amigos que me deram apoio e estavam sempre dispostos a me ajudar (Luís, Joana, Agdylannah, Suiane, Marcela, Fran, Dani, Zanelli, Carol, Júlia, Jamilly, Rebeca, Francisca, Diogo, Shara, Pâmela e Kaluana). Agradeço a todos pelos ensinamentos, dicas, aprendizagem compartilhada, incentivo e paciência.

À todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

A todos, meu sincero sentimento de gratidão.

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | v |
| LISTA DE TABELAS..... | vii |
| RESUMO..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| 1 - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1- Objetivo geral..... | 2 |
| 1.1.1- Objetivo específicos..... | 2 |
| 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 - Feijão..... | 3 |
| 2.1.1 - Feijão Preto..... | 4 |
| 2.1.2 - Feijão Branco..... | 5 |
| 2.1.3 - Feijão Carioca..... | 6 |
| 2.1.4 - Feijão Caupi..... | 7 |
| 2.1.5 - Feijão Gordo..... | 8 |
| 2.2 - Importância econômica..... | 9 |
| 2.3 - Germinação..... | 10 |
| 2.4 - Cinética de germinação..... | 13 |
| 2.5 - Secagem..... | 14 |
| 2.5.1- Cinética de secagem..... | 15 |
| 2.5.1.1 - Modelos matemáticos para secagem..... | 17 |
| 2.6 - Farinha de feijão germinado..... | 18 |
| 2.7 - Broto de feijão..... | 20 |
| 2.8 - Cinética de degradação de compostos fenólicos..... | 22 |
| 2.9 - Propriedades funcionais..... | 23 |
| 2.10 - Estado da Arte..... | 25 |
| 3- MATERIAL E MÉTODOS..... | 27 |
| 3.1 - Matéria-prima..... | 27 |
| 3.2 - Processamento das matérias-primas..... | 27 |
| 3.3 - Caracterização física, química e físico-química dos feijões in natura..... | 27 |
| 3.3.1 - Teor de água..... | 27 |
| 3.3.2 - Atividade de água (a_w) | 28 |
| 3.3.3 - Cinzas..... | 28 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.4 - pH..... | 28 |
| 3.3.5 - Acidez álcool solúvel..... | 28 |
| 3.3.6 - Lipídeos..... | 28 |
| 3.3.7 - Proteínas..... | 28 |
| 3.3.8 - Açúcares totais..... | 28 |
| 3.3.9 - Açúcares redutores..... | 29 |
| 3.3.10 - Açúcares não-redutores..... | 29 |
| 3.3.11 - Amido..... | 29 |
| 3.3.12 - Ácido ascórbico..... | 29 |
| 3.3.13 - Compostos fenólicos..... | 29 |
| 3.3.14 - Taninos..... | 29 |
| 3.3.15 - Antocianinas..... | 30 |
| 3.3.16 - Flavonóides..... | 30 |
| 3.3.17 - Clorofilas e carotenóides totais..... | 30 |
| 3.4 - Cinética de germinação dos feijões..... | 30 |
| 3.5 - Caracterização dos feijões germinados..... | 30 |
| 3.6 - Secagem dos feijões..... | 31 |
| 3.7 - Obtenção das farinhas dos feijões germinados..... | 33 |
| 3.8 - Caracterização química, física e físico-química das farinhas dos feijões germinados..... | 33 |
| 3.8.1 - Massa específica aparente..... | 34 |
| 3.8.2 - Massa específica compactada..... | 34 |
| 3.8.3 - Massa específica absoluta..... | 35 |
| 3.8.4 - Fator de Hausner (FH) | 35 |
| 3.8.5 - Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC) | 35 |
| 3.8.6 - Solubilidade..... | 35 |
| 3.8.7 - Higroscopicidade..... | 36 |
| 3.8.8 - Molhabilidade..... | 36 |
| 3.8.9 - Ângulo de repouso..... | 36 |
| 3.8.10 - Perfil de minerais..... | 37 |
| 3.9 - Cinética de degradação de compostos fenólicos..... | 37 |
| 3.10 - Análise estatística..... | 37 |
| 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 38 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1 - Caracterização química, física e físico-química dos feijões in natura e germinados..... | 38 |
| 4.1.1 - Teor de água..... | 38 |
| 4.1.2 - Atividade de água..... | 39 |
| 4.1.3 - Teor de cinzas..... | 39 |
| 4.1.4 - pH..... | 41 |
| 4.1.5 - Acidez alcoólica..... | 41 |
| 4.1.6 - Lipídeos..... | 42 |
| 4.1.7 - Proteínas..... | 43 |
| 4.1.8 - Açúcares totais..... | 44 |
| 4.1.9 - Açúcares redutores..... | 45 |
| 4.1.10 - Açúcares não redutores..... | 46 |
| 4.1.11 - Amido..... | 47 |
| 4.1.12 - Ácido ascórbico..... | 48 |
| 4.1.13 - Compostos fenólicos totais..... | 49 |
| 4.1.14 - Taninos..... | 50 |
| 4.1.15 - Flavonoides..... | 51 |
| 4.1.16 - Antocianinas..... | 52 |
| 4.1.17 - Carotenoides..... | 52 |
| 4.2- Cinética de germinação..... | 53 |
| 4.3- Cinética de secagem dos feijões germinados..... | 63 |
| 4.3.1- Feijão Preto..... | 65 |
| 4.3.2- Feijão Branco..... | 68 |
| 4.3.3- Feijão Carioca..... | 71 |
| 4.3.4- Feijão Caupi..... | 74 |
| 4.3.5- Feijão Gordo..... | 77 |
| 4.4 - Caracterização química, física e físico-química das farinhas de feijão germinado..... | 80 |
| 4.4.1- Higroscopicidade..... | 88 |
| 4.5 - Perfil de minerais..... | 91 |
| 4.6 - Cinética de degradação de compostos fenólicos totais..... | 92 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 98 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Germinação de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.: 1- Radícula 2- Cotilédone 3- Hipocótilo 4- Raiz lateral 5- Raiz primária (Fonte: Marquezi et al., 2016)..... | 12 |
| Figura 2.2 - Estrutura química dos compostos fenólicos (MANACH et al., 2004).. | 24 |
| Figura 4.1 - Efeito da cinética de germinação dos feijões, sem radículas, sobre o teor de água (% b.s.), para os tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 54 |
| Figura 4.2 - Efeito da cinética de germinação sobre o teor de água (% b.s) dos feijões com radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h..... | 55 |
| Figura 4.3 - Teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) durante a cinética de germinação dos feijões, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 56 |
| Figura 4.4 - Teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) na cinética de germinação dos feijões, com radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h..... | 58 |
| Figura 4.5 - Teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) na cinética de germinação dos feijões, sem radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h..... | 59 |
| Figura 4.6 - Teor de açúcares totais (% b.s.) na cinética de germinação dos feijões, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 60 |
| Figura 4.7 - Teor de açúcares totais (% b.s.) na cinética de germinação dos feijões com radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h..... | 61 |
| Figura 4.8 - Cinética de germinação dos feijões, sem radículas, em relação ao teor de amido, para os tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 62 |
| Figura 4.9 - Teor de amido na cinética de germinação dos feijões, com radículas, nos tempos de 24, 48, 72 e 96 h..... | 63 |
| Figura 4.10 - Curvas de cinética de secagem do feijão Preto germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo Aproximação da Difusão..... | 68 |
| Figura 4.11 - Curvas de cinética de secagem do feijão Branco germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo de Dois Termos..... | 71 |
| Figura 4.12 - Cinéticas de secagem, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, do feijão Carioca germinado com ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão..... | 74 |
| Figura 4.13 - Curvas de cinética de secagem do feijão Caupi germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo de Page..... | 77 |
| Figura 4.14 - Curvas de cinética de secagem do feijão Gordo germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo Aproximação da Difusão..... | 80 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.15 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Preto germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo..... | 89 |
| Figura 4.16 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Branco germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo..... | 90 |
| Figura 4.17 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Carioca germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo..... | 90 |
| Figura 4.18 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Caupi germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo..... | 90 |
| Figura 4.19 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Gordo germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo..... | 91 |
| Figura 4.20 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão preto (FFP) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C..... | 95 |
| Figura 4.21 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão branco (FFB) germinado ajustados ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C..... | 95 |
| Figura 4.22 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão carioca (FFC) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C..... | 96 |
| Figura 4.23 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão caupi (FFCa) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C..... | 96 |
| Figura 4.24 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão gordo (FFG) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C..... | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 - Modelos matemáticos de cinética de secagem..... | 18 |
| Tabela 3.1 - Modelos matemáticos ajustados aos dados da cinética de secagem..... | 31 |
| Tabela 3.2 - Especificação das condições para obtenção das farinhas de feijões germinados..... | 33 |
| Tabela 4.1 - Valores médios e desvios padrão do teor de água de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 38 |
| Tabela 4.2 - Valores médios e desvios padrão da atividade de água de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 39 |
| Tabela 4.3 - Valores médios e desvios padrão do teor de cinzas de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 40 |
| Tabela 4.4 - Valores médios e desvios padrão do pH de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 41 |
| Tabela 4.5 - Valores médios e desvios padrão da acidez alcoólica de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 42 |
| Tabela 4.6 - Valores médios e desvios padrão dos lipídeos de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 42 |
| Tabela 4.7 - Valores médios e desvios padrão das proteínas de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 42 |
| Tabela 4.8 - Valores médios e desvios padrão dos açúcares totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 44 |
| Tabela 4.9 - Valores médios e desvios padrão dos açúcares redutores de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 45 |
| Tabela 4.10 - Valores médios e desvios padrão dos açúcares não redutores de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 46 |
| Tabela 4.11 - Valores médios e desvios padrão do amido de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 47 |
| Tabela 4.12 - Valores médios e desvios padrão do ácido ascórbico de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 47 |
| Tabela 4.13 - Valores médios e desvios padrão dos compostos fenólicos totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 49 |
| Tabela 4.14 - Valores médios e desvios padrão dos taninos de feijões de | 50 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| diferentes variedades in natura e germinados..... | |
| Tabela 4.15 - Valores médios e desvios padrão dos flavonoides totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 51 |
| Tabela 4.16 - Valores médios e desvios padrão das antocianinas totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 52 |
| Tabela 4.17 - Valores médios e desvios padrão dos carotenoides totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados..... | 53 |
| Tabela 4.18 - Valores médios do teor de água dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 54 |
| Tabela 4.19 - Valores médios do teor de água dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 55 |
| Tabela 4.20 - Valores médios do teor de fenólicos dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 56 |
| Tabela 4.21 - Valores médios do teor de fenólicos dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 57 |
| Tabela 4.22 - Valores médios do teor de taninos dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 58 |
| Tabela 4.23 - Valores médios do teor de açúcares totais dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 69 |
| Tabela 4.24 - Valores médios do teor de açúcares totais dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 60 |
| Tabela 4.25 - Valores médios do teor de amido dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 62 |
| Tabela 4.26 - Valores médios do teor de amido dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h..... | 63 |
| Tabela 4.27 - Valores médios dos tempos de secagem e teores de água dos feijões germinado desidratado em secador convectivo nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C | 64 |
| Tabela 4.28 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Preto germinado..... | 66 |
| Tabela 4.29 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Branco germinado..... | 69 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 4.30 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Carioca germinado..... | 72 |
| Tabela 4.31 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Caupi germinado..... | 75 |
| Tabela 4.32 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Gordo germinado..... | 78 |
| Tabela 4.33 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão preto germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C..... | 81 |
| Tabela 4.34 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão branco germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C..... | 82 |
| Tabela 4.35 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão carioca germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80° C..... | 83 |
| Tabela 4.36 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão caupi germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C..... | 85 |
| Tabela 4.37 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão gordo germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C..... | 86 |
| Tabela 4.38 - Perfil de minerais das farinhas de feijão germinado obtidas nas secagens a 80 °C..... | 91 |
| Tabela 4.39 - Parâmetros da cinética de degradação dos compostos fenólicos totais das farinhas dos feijões germinados..... | 93 |
| Tabela 4.40 - Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q10) para degradação de compostos fenólicos em farinhas de feijão germinado..... | 94 |

RODRIGUES, L. M. S. **Produção e avaliação de farinhas de feijões germinados**. 2020. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

RESUMO

Como alimento básico da dieta brasileira, o feijão é fonte importante de nutrientes, com destaque para carboidratos e proteínas, além de minerais, vitaminas e fibras. Como estratégia para criação de novos produtos, com características sensoriais diversas e perfil nutricional que privilegia elementos considerados benéficos para a saúde, tem-se estudado o efeito da germinação sobre os grãos consumidos tradicionalmente, obtendo-se resultados promissores, com ênfase na síntese de compostos bioativos. O feijão, ao passar pelo processo de germinação, sofre transformações químicas que alteram suas características nutricionais, criando-se um novo produto, que pode ser consumido diretamente ou utilizado para compor misturas, de forma mais simples na forma de farinhas. O trabalho foi realizado com o objetivo de se estudar o efeito da germinação sobre quatro variedades de feijão *Phaseolus* e um *Vigna*, determinando a composição química e os bioativos das amostras antes e após secagem, além das propriedades tecnológicas das farinhas obtidas. A germinação foi estudada por meio da cinética, acompanhando-se a composição das amostras em intervalos de 24 horas, até um total de 96 horas. Os feijões germinados foram submetidos a secagens nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, determinando-se as cinéticas de secagem com ajustes pelos modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Exponencial de Dois Termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logistic, Newton, Page, Thompson e Verna. Após secagem, as farinhas com melhores valores de proteínas e compostos fenólicos foram avaliadas quanto ao perfil de minerais e submetidas a cinética de degradação de compostos fenólicos nas temperaturas de 15, 25 e 35°C. A germinação aumentou o teor de água, atividade de água, acidez, proteínas e compostos fenólicos dos feijões e diminuiu o teor de lipídeos e de açúcares totais. Todos os modelos matemáticos testados nos feijões germinados proporcionaram bons ajustes aos dados experimentais, destacando-se o modelo de Dois Termos para o feijão Branco; Page para o feijão Caupi e o modelo Aproximação da Difusão para os feijões Carioca, Gordo e Preto, apresentando os maiores R², menores DQM e χ^2 . A cinética de degradação de compostos fenólicos demonstrou efeito da temperatura, havendo maiores reduções com o aumento da temperatura.

Palavras-Chaves: *Phaseolus vulgaris* L., *Vigna unguiculata* (L.) Walp., germinação, fenólicos, bioativos.

RODRIGUES, L. M. S. **Production and evaluation of germinated bean flours.** 2020. 124 f. Dissertation (Master's degree in Agricultural engineering) Federal University of Campina Grande, Campina Grande, 2020.

ABSTRACT

As a staple of the Brazilian diet, beans are an important source of nutrients, especially carbohydrates and proteins, in addition to minerals, vitamins and fibers. As a strategy for creating new products, with different sensory characteristics and nutritional profile that favors elements considered beneficial to health, the effect of germination on grains traditionally consumed has been studied, obtaining promising results, with emphasis on the synthesis of compounds bioactive. The bean, when going through the germination process, undergoes chemical transformations that alter its nutritional characteristics, creating a new product, which can be consumed directly or used to compose mixtures, in a simpler form in the form of flour. The work was carried out with the objective of studying the effect of germination on four varieties of *Phaseolus* beans and one *Vigna* bean, determining the chemical composition and bioactives of the samples before and after drying, in addition to the technological properties of the flours obtained. Germination was studied by means of kinetics, following the composition of the samples at intervals of 24 hours, up to a total of 96 hours. The germinated beans were subjected to drying at temperatures of 60, 70 and 80 °C, with drying kinetics determined with adjustments by the Diffusion Approximation, Two Terms, Two Terms Exponential, Henderson and Pabis, Henderson and modified Pabis models, Logistic, Newton, Page, Thompson and Verna. After drying, flours with the best values of proteins and phenolic compounds were evaluated for mineral profile and subjected to the degradation kinetics of phenolic compounds at temperatures of 15, 25 and 35°C. Germination increased the water content, water activity, acidity, proteins and phenolic compounds of the beans and decreased the content of lipids and total sugars. All mathematical models tested on the sprouted beans provided good adjustments to the experimental data, highlighting the Two Terms model for White beans; Page for Cauipi beans and the Diffusion Approximation model for Carioca, Gordo and Preto beans, with the highest R^2 , lowest DQM and χ^2 . The degradation kinetics of phenolic compounds showed an effect of temperature, with greater reductions with increasing temperature.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., *Vigna unguiculata* (L.) Walp., Germination, phenolic, bioactive

1- INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um grão que possui importância comercial de forma globalizada, visto que é uma cultura cultivada em vários países. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), em 2018 a produção de feijão no Brasil foi equivalente a 3.291.312 toneladas, sendo um grão com excelentes características nutricionais, acessibilidade e o valor cultural no país.

O feijão possui um elevado teor de proteínas e é rico em diversos compostos bioativos, a saber: peptídeos, polissacarídeos, ácidos fenólicos, flavonoides e oligossacarídeos. Assim como outros grãos, o feijão, ao passar pelo processo de germinação, sofre transformações químicas que aumentam a disponibilidade de compostos bioativos decorrente de reações desencadeadas pela entrada de água no endosperma (ZHANG et al., 2015). Além disso, com o processo de germinação, uma forma de processamento simples e de baixo custo, pode haver aumento no teor proteico, de fibras e de compostos bioativos (MAMILLA e MISHRA, 2017).

A fim de minimizar os riscos de deteriorações decorrentes do elevado teor de água e aumentar o tempo de conservação dos produtos, a secagem é operação indispensável, possibilitando a preservação do produto agrícola por tempo prolongado.

De acordo com Fellows (2006), a secagem é a operação onde é aplicado calor sob condições controladas para remover, pelo processo de evaporação, a maioria da água livre normalmente presente no alimento. Assim, os principais objetivos da utilização da secagem no produto agrícola são: aumento do tempo de conservação; facilidade e redução dos custos de transporte e armazenamento, uma vez que provoca redução do peso e do volume do produto, além de facilitar o uso e diversificar a oferta de produtos, sendo essencial na produção de grãos.

O uso do feijão se restringe praticamente ao grão inteiro. No entanto, pelas características nutricionais e funcionais a transformação desse grão em farinhas é uma alternativa viável para enriquecimento nutricional de outros alimentos, inclusive na composição com farinhas de trigo para elaboração de produtos de panificação, melhorando o perfil proteico, aumentando o conteúdo de fibras e reduzindo o teor de glúten.

1.2- Objetivo geral

Determinar as características químicas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L e *Vigna unguiculata* (L.) Walp.) germinados, elaborar farinhas dos grãos após secagem e caracterizá-las quanto às propriedades químicas e físicas.

1.1.2- Objetivo específicos

- Caracterizar feijões *Phaseolus vulgaris* das variedades carioca, branco, preto, gordo e feijão caupi (*Vigna unguiculata*), in natura, quanto a composição química;
- Realizar a cinética de germinação nos tempos 0, 24, 48, 72 e 96 horas dos feijões.
- Caracterizar os feijões germinados quanto a composição;
- Determinar a cinética de secagem dos feijões germinados nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, com velocidade do ar de secagem de 1,0 m s⁻¹, e ajustar os modelos matemáticos Aproximação da Difusão, Dois Termos, Page, Exponencial de Dois Termos, Thompson, Verna, Logistic, Logarítmico, Newton, Henderson e Pabis e Henderson e Pabis modificado aos dados experimentais;
- Produzir farinhas dos feijões germinados e determinar as propriedades químicas e físicas das amostras;
- Realizar a cinética de degradação de compostos fenólicos das farinhas de feijão germinado com maiores teores de compostos fenólicos totais durante 16 dias de armazenamento nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Feijão

O feijão é um dos alimentos mais antigos da humanidade sendo cultivado no antigo Egito e na Grécia e visto como símbolo da vida. A história aponta a disseminação dos feijões no mundo em decorrência das guerras, uma vez que esses alimentos eram parte essencial da dieta dos guerreiros. Os grandes exploradores ajudaram a difundir o uso e o cultivo de feijão para as diversas regiões do planeta (CARNEIRO, 2005). O gênero *Phaseolus* compreende aproximadamente 55 espécies, sendo apenas 5 cultivadas: o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), o feijão de lima (*P. lunatos*), o feijão Ayocote (*P. coccineus*), o feijão tepari (*P. acutifolius*) e o *P. polyanthus* (BRAGANTINI, 2005).

A produção de feijão no Brasil é de 3.291.312 toneladas (IBGE, 2018), no entanto, está perdendo expressão no comércio internacional devido à elevada demanda de consumo nos países produtores e ampla variedade de tipos de feijão, além das diferenças de hábitos alimentares. Tem-se o exemplo do feijão carioca, que embora seja o mais consumido no Brasil, apresenta aceitação limitada no mercado exterior (CONAB, 2018).

O feijão é considerado um dos alimentos básicos do brasileiro, sendo mais consumidos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. É uma leguminosa considerada importante fonte de proteína, podendo substituir produtos de origem animal, além de ser fonte de energia, de fibras e de minerais (NUTTI, 2009), possuindo baixa quantidade de lipídeos. Sendo a principal fonte de proteínas da população de baixa renda se destaca pela sua influência nutricional, econômica e social (FROTA et al., 2010).

Os grãos de feijão (*P. vulgaris* L.) possuem um valor nutricional significativo por apresentar propriedades vantajosas para consumo, com elevados níveis de proteínas, minerais, vitaminas, carboidratos e fibras. Sua composição química é diretamente relacionada com suas condições ambientais, genéticas e suas interações, sua composição influencia valores, nutrição e propriedades perceptuais dos grãos (ZÍLIO et al., 2013).

No que concerne às proteínas, essa leguminosa é especialmente rica no aminoácido essencial lisina. No entanto, é considerada pobre nos aminoácidos essenciais sulfurados metionina e cisteína. Na dieta, o feijão, além de aumentar a quantidade de proteínas, também contribui na melhoria da qualidade nutricional da alimentação, quando a fonte de proteína da dieta é constituída de leguminosas e cereais, visto que se complementam, uma

vez que as leguminosas apresentam deficiência em aminoácidos sulfurados, enquanto os cereais apresentam deficiência em lisina (VIEIRA et al., 2001).

Além disso, o feijão possui teor significativo de fibra alimentar, carboidratos complexos, vitaminas (principalmente do complexo B) e polifenóis com propriedades antioxidantes (SILVA et al., 2009). O Feijão apesar de apresentar como uma alta fonte vegetal como tiamina, piridoxina, niacina, e ácido fólico, manifesta um baixo teor de vitaminas lipossolúveis e ácido ascórbico (SILVA et al., 2006).

Diferente do feijão, nos feijões germinados, o teor de carboidratos e proteínas diminui devido à diminuição o processo de germinação que ocorre quando várias enzimas hidrolisam parte destes, o que ajuda no processo de digestão no organismo e conseqüentemente aumentando a capacidade de aminoácidos livres e a quantidade de conteúdo de ácidos ascórbico e vitaminas do complexo B, como a B12 (MARQUEZI, 2016).

Embora sejam encontrados inúmeros benefícios nutricionais, os feijões tal quais outras leguminosas apresentem fatores antinutricionais, fatores esses, que representam compostos ou classes de compostos com uma ampla variedade de alimentos de origem vegetal que possui seu valor nutritivo reduzido quando utilizados. Esses fatores são identificados como ácido fítico, inibidores de proteases, lectinas e inibidor de α -amilase, taninos e oligossacarídeos (MARQUEZI, et al. 2016).

2.1.1- Feijão Preto

O conhecido feijão preto tem origem americana, como todo o gênero *Phaseolus*, que possui 55 espécies, das quais apenas cinco são cultivadas: *Phaseolus vulgaris*, *P. lunatus* (feijão-de-lima), *P. coccineis* (ayocate), *P. acutifolius* (tepari), *P. polyanthus* (petaco). Os primeiros indícios de sua origem verificam-se nos Andes e na Mesoamérica (há vestígios de cerca de 7 mil anos a.C. no México e de até 10 mil anos a.C. no Peru, no sítio de Guitarrero) sendo a principal fonte alimentícia dessas comunidades, com alto teor de nutrientes, rico em proteínas, possui semelhança no modo de plantação como no papel nutricional (CARNEIRO, 2005).

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado alimento base da dieta brasileira, apresentando em sua composição carboidratos, proteínas, minerais, vitaminas (especialmente do complexo B) e fibras (SILVA et al., 2006). Foi estimado para produção da safra de 2016/2017 1.379,6 mil toneladas e área plantada foi de 1.101 mil hectares. Em

relação ao feijão preto a estimativa de produção nacional foi de 317,1 mil toneladas, sendo a Região Sul a principal produtora atingindo 96 g/100 g da oferta de feijão preto no país (CONAB, 2018).

No estudo que buscou avaliar os critérios de qualidade nutricional e sensorial na preparação de feijão preto e vermelho foi observado que a quantidade de água utilizada para o cozimento do feijão preto era menor comparado ao feijão vermelho e a relação direta do tempo de armazenamento do feijão com a quantidade maior de água necessária para sua cocção, juntamente com tamanho da panela que for utilizada para o cozimento menor será a quantidade de água/feijão necessária (FERNANDES et al., 2007).

No estudo que analisa as frações de fibras alimentares em cultivares de feijão cultivadas em dois ambientes foi identificado que o conteúdo da fibra alimentar e de suas frações são diferentes geneticamente sendo explorada para um maior aproveitamento. Foi obtido uma variação de 24,82 a 31,35% para fibra insolúvel (FI) e de 8,04 a 11,11% para a fibra solúvel (FS), o que caracteriza quase 75% da fibra alimentar do feijão preto é composta de fração insolúvel (LONDERO, 2008).

Em estudo avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto irradiado foi constatado que em feijão preto estocado por 6 meses a 30°C e 75% de umidade relativa do ar, houve redução do teor de fitato a 50% do valor original, diferentemente do que é encontrado em outras variedades (MECHI et al., 2005).

2.1.2- Feijão Branco

Os feijões, especialmente o branco, possuem em sua composição uma alta quantidade de proteína, sendo fonte de proteína vegetal, e fibras solúveis e insolúveis. O feijão também é rico em ácido fólico, ferro, magnésio, zinco e antioxidantes, se comparado com outros feijões, o feijão branco possui melhor qualidade proteica e melhor desestabilidade (LUJÁN et al., 2008; TOLEDO et al., 2013).

Estudos evidenciam que o consumo de feijão branco é uma opção para o tratamento de diabetes devido a capacidade de redução da glicemia, assim como na diminuição da digestibilidade do amido através da ligação do ácido fitico com o fosfato. (MAZUR, 2014). Com a ação de inibição extraído do feijão branco há uma diminuição do conteúdo calórico através do consumo de carboidratos inibindo a enzima α -amilase que é responsável por converter o amido em açúcares simples reduzindo a quantidade de açúcar absorvido pelo intestino (PEREIRA et al., 2010).

Encontrada no feijão branco, a proteína faseolamina possui a capacidade de inibir a enzima alfa-amilase. Essa enzima é responsável pelo metabolismo de carboidratos em animais, plantas e outros organismos. Alguns produtos como suplementos que apresentam essa enzima inibidora tem a capacidade de bloquear o amido, usado no controle de doenças como diabetes, obesidade e ajudando a melhorar e manter o padrão de alimentação desses indivíduos (COLAÇO e DEGÁSPARI, 2014).

As proteínas encontradas no *Phaseolus vulgaris* contém baixo valor biológico que dispõem de atribuição a várias condições como a forma pequena das proteínas encontradas no feijão, resistentes à proteólise, baixo teor de aminoácidos sulfurados, substâncias antinutricionais que ajudam a modificar a absorção de nutrientes e aumentar a liberação de aminoácidos (WU, 1995).

Com a tecnologia sendo desenvolvida cada vez mais nas áreas alimentícias, os alimentos industrializados de fácil preparo apresentam um déficit no balanço nutricional, levando a mudanças significativas no hábito de consumos dos brasileiros entre essas mudanças tem se destacado a redução no consumo do feijão, devido a um maior tempo de cozimento o que vem sendo pouco a pouco substituído por alimentos de rápido preparo. Com isso, o consumo da proteína faseolamina tem diminuído significativamente, o que contribui diretamente para o aumento de casos de obesidade e doenças do coração (BEVILACQUA et al. 2010).

2.1.3- Feijão Carioca

Embora exista preferência local por determinada coloração das sementes, o feijão carioca apresenta uma maior aceitação nacional e é o tipo de grão mais semeado no País. Desse grupo, o feijão do tipo Carioca é responsável pela maioria da produção de grãos de feijão, e qualquer novo cultivar deverá ter características de grãos semelhantes às do Carioca para manter a aceitação por produtores e consumidores (ABREU E RAMALHO, 2005). Os feijões da variedade Carioca são caracterizados por possuir alto potencial produtivo, apresentando plantas com porte semi-ereto, resistentes ao vírus mosaico dourado do feijão (bean golden mosaic geminivirus) e a outros patógenos (RIOS et al. 2002).

O feijão possui algumas características culinárias apreciada pelos consumidores como uma boa hidratação, rápido tempo de cozimento, produção de caldo espesso, sabor, textura, grãos selecionados, casca delgada, boa aparência da cor. A consistência dos grãos

após o cozimento é de fundamental importância para sua utilização na indústria. A presença de uma boa qualidade dos grãos, coloração e tamanho adequados são indispensáveis para os consumidores avaliarem o produto de boa qualidade (ARMELIN et al 2007).

No estudo sobre Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes foi constatado há viabilidade para o armazenamento de sementes do feijão carioca por um período de tempo maior, ou mais de uma safra, independente do ambiente mantendo sua viabilidade e sua comercialização (ZUCARELI et al. 2015).

No estudo que avalia os efeitos da cocção e irradiação na composição do feijão carioca foi constatado que a irradiação ajuda a manter a qualidade nutricional dos feijões em comparação com o cozimento. Tendo os grãos cozidos apresentado redução no índice de proteína, cinza, extrato etéreo e minerais, comparado aos grãos crus, os índices de carboidratos tiveram um aumento após o cozimento (BRIGIDE E CANNIATTI-BRAZACA, 2011).

2.1.4- Feijão Caupi

O feijão-caupi tem uma cultura de origem africana, a qual foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no Estado da Bahia (FREIRE FILHO, 1988). O feijão-caupi tem vários nomes populares e isso por vezes confunde as pessoas que são: feijão-macassa e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul (FREIRE FILHO et al., 1983).

O feijão-caupi tem uma grande importância, tanto como alimento quanto como gerador de emprego e renda. É rico em proteína, minerais e fibras (FROTA et al., 2008; SINGH, 2007) e constitui um componente alimentar básico das populações rurais e urbanas das regiões Norte e Nordeste. Atualmente seu consumo expande-se de forma mais intensa para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Esse tipo de feijão possui um alto índice de grande plasticidade, adaptando-se bem a diferentes condições de ambiente, e tem grande capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, por meio da simbiose com bactérias do gênero *rhizobium*. Além disso, apresenta todos os aminoácidos essenciais e tem excelente valor calórico. Em virtude dessas características é espécie de grande valor atual e estratégico (FREIRE FILHO et al., 2005).

Estudos têm apontado que o germoplasma de feijão-caupi apresenta variabilidade genética para os teores de proteínas, carboidratos, lipídeos, fibras, ferro e zinco nos grãos secos, componentes importantes na dieta de vários povos nos continentes africano, americano e asiático. Alguns trabalhos têm identificado genótipos com grãos de composição química bastante equilibrada (FERREIRA NETO et al., 2006). Além da utilização do grão seco e do grão verde na forma tradicional, os genótipos cujo grão apresenta características adequadas para a produção de farinha (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2006; MARTINS et al., 2006). A farinha de feijão-caupi pode ser utilizada na produção de sopa pré-cozida, biscoitos e acarajé, quitute da culinária afro-brasileira e prato típico da cozinha da Bahia.

O feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma excelente fonte de proteínas (23%-25% em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não conter colesterol. Representa alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro (Sales et al, 1988).

Pelo seu valor nutritivo, o feijão-caupi é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano, in natura, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, o caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo (FREIRE FILHO et al. 2000).

2.1.5- Feijão Gordo

No estudo sobre sementes crioulas de feijão comum para cultivo agroecológico que buscou realizar a caracterização morfométricas e características de sementes crioulas de feijão do tipo: carioca, gordo, ovo-de-rola e preto para cultivo agroecológico. Os resultados obtidos apresentaram que o feijão do tipo gordo apresentou melhores resultados em comprimento, largura, espessura e massa. O conhecimento da morfometria e da identificação de sementes crioulas que tem maior potencial genético amplia a disponibilidade de sementes de boa qualidade para o cultivo agroecológico (SOUSA et al., 2019).

No estudo sobre o rendimento do algodão agroecológico em consórcio intercalares no semiárido que avaliou o desenvolvimento e a produção do algodão herbáceo, em

sistema consorciado com o feijão gordo, coentro e algodão no curimatau paraibano. A cultura do algodoeiro pode ter sua potencialidade aumentada em virtude da consorciação com outras culturas como o coentro e o feijão gordo (*Phaseolus vulgaris*). Os valores de diâmetro caulinar e do número de ramos produtivos se mostraram mais relevante no consórcio algodão mais feijão *Phaseolus* (SILVA et al. 2009).

Devido aos poucos estudos sobre esse tipo de feijão, o conhecimento de sua importância e benefícios é limitado, porém pode observar a relação dele com outros elementos capaz de gerar maiores vantagens para produtores e consumidores.

2.2- Importância econômica

A cultura do feijão apresenta grande importância econômica e social no Brasil, devido este ser um dos alimentos básicos da população e o principal componente na dieta alimentar dos menos favorecidos. Além disso, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o Brasil é um grande produtor mundial desta leguminosa, que também é utilizada como alternativa econômica de exploração agrícola em pequenas propriedades, tornando-se uma renda e ocupação da mão de obra menos qualificada.

Segundo a Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2002/2003 (SANTA CATARINA, 2003), em 2002, cerca de 65% da produção mundial proveio de apenas seis países (Brasil, Índia, México, Mianmar, Estados Unidos e China). O Brasil foi o maior produtor mundial de feijão, responsável por 16,5% da produção mundial, seguido pela Índia e México, responsáveis, respectivamente, por 16,4% e 9% da produção (GIUSTINA et al. 2005).

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as importações de feijão foram de: 78 mil toneladas (safra 1999-00), 129 mil toneladas (safra 2000-01), 82 mil toneladas (safra 2001-02), 103 mil toneladas (safra 2002-03) e 100 mil toneladas (safra 2003-04), enquanto que as exportações foram de 2 mil toneladas em cada uma das referidas safras, exceto na safra 2003-04, que foi de 3 mil toneladas.

No âmbito do Mercado Comum do Sul (Mercosul), segundo dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2004), o Brasil é o maior produtor de feijão. Em 2003, o Brasil produziu 3,3 milhões de toneladas, a Argentina 216 mil toneladas, o Paraguai 54 mil toneladas, e o Uruguai 3 mil toneladas. O valor produzido no Brasil corresponde a 17,4% da produção mundial, que foi de 19 milhões de toneladas.

O feijão-comum da safra de inverno está entre as culturas mais plantadas nos sistemas produtivos explorados sob regime de irrigação por aspersão em área de Cerrado, em razão de sua rentabilidade atrativa e de um rápido retorno econômico. A utilização de irrigação e adubação adequadas, ao lado de uma equilibrada população de plantas, concorre para maiores níveis de produtividade do feijoeiro-comum, acima de 3.000 kg/ha, compatíveis com uma agricultura irrigada em bases racionais (AZEVEDO et al., 2008).

Constitui como importante fonte protéica na dieta da enorme parcela da população mundial, em especial nos países onde o consumo de proteína animal é limitado, por razões econômicas, religiosas ou culturais. No Brasil é a principal leguminosa fornecedora de proteínas, fazendo parte da dieta diária das classes socioeconômicas menos favorecidas (ANTUNES et al., 1995). Além das implicações relacionadas à segurança alimentar, a cultura tem significativa importância socioeconômica, vista que representa uma importante fonte de emprego e renda no campo.

A produtividade na cultura do feijão comum é influenciada por vários fatores, tais como luz, fotossíntese, doenças, pragas, plantas daninhas, nutrição mineral, condições ambientais, sementes e densidade. O uso de melhores práticas culturais vem possibilitando aumentos significativos em produtividade nas lavouras dessa cultura (DIDONET, 2005).

A importância econômica e social do feijão (*Phaseolus vulgaris*) é evidenciado pelo contingente de pequenos produtores e pelo consumo generalizado pela população brasileira. É cultivado em 47% dos estabelecimentos rurais cadastrados pelo FIBGE, tendo apresentado substanciais declínios de produtividade nas áreas sob cultivo e reduzida disponibilidade interna do alimento para produção (COMISSÃO DE FINANCIAMENTO DA PRODUÇÃO, 1981).

2.3- Germinação

A germinação é um dos processos mais antigos, simples e viáveis economicamente, visando a melhorar o valor nutricional dos grãos, convertendo proteínas de baixa qualidade nutricional em proteínas de melhor qualidade. Durante a germinação ocorre a degradação do amido e um aumento no teor de proteína total devido à conversão de outros componentes da semente ou do grão. O aumento do teor de proteínas é atribuído a manutenção de moléculas que atuam no sistema de defesa das plantas contra predadores (MOKTAN, PRAVIN, 2016).

A germinação possui as seguintes fases: a primeira caracteriza-se por lançamento da radícula; a segunda, a saída do epicótilo; a terceira: abertura dos cotilédones e

aparecimento das folhas e a última fase tem o aparecimento das folhas (figura 1). Depois se existirem condições apropriadas, o grão germina entre cinco a oito dias (CARVALHO, 2000). Do ponto de vista físico e bioquímico, o processo de germinação pode ser descrito como sendo composto de fases como: reidratação, aumento da respiração, formação de enzimas, digestão enzimática de reservas, mobilização de transportes de reservas, assimilação metabólica e crescimento e diferenciação de tecidos (COSTA, 2000).

A quantidade de pesquisas dedicadas a determinar o valor nutricional de sementes germinadas está aumentando e, com isso, essa linha de pesquisa vem se expandindo com vários estudos na área. Dentre essas sementes ou grãos estão: quinoa, girassol, feno-grego, feijão mungo, feijão azuki e gergelim, merecendo, portanto, atenção especial devido ao espaço que vêm ganhando no mercado (LIMA et al., 2018).

O feijão é considerado uma cultura de ampla adaptação climática, importante para a nutrição da população brasileira e fonte de renda dos pequenos, médios e grandes produtores. No entanto, o solo nem sempre oferece ambiente adequado para a germinação das sementes, porque, quando ocorre deficiência hídrica, subentende-se que o solo apresenta potenciais hídricos que dificultam a absorção da água necessária para a germinação (MACHADO NETO et al., 2006).

O ciclo do feijoeiro é de 90 dias em média, exigindo uma média de 300 mm de água em todo o ciclo, tendo uma necessidade média diária de 3,5 mm (Balardin, 2000). O feijoeiro não tolera excesso de água e deficiência hídrica durante o florescimento, fatores que podem provocar perdas de até 60 % na produção de grãos.

O déficit hídrico é considerado um dos principais fatores que afetam a produtividade agrícola, pois afeta vários processos durante o desenvolvimento vegetal. Assim, BRAY (1995) concluiu que os fatores externos que interferem no processo germinativo são os mais importantes no que diz respeito à hidratação da semente, pois a água constitui a matriz onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos e fisiológicos. Entretanto, segundo (CUSTÓDIO et al., 2002), o excesso de água pode provocar danos devido a rápida embebição.

Alguns estudos apontam que a variação de temperatura do solo afeta diretamente o processo de germinação de feijões. Ao contrário de climas temperados onde o aquecimento do solo é desejável para proporcionar temperaturas adequadas à emergência das plântulas, em climas tropicais e subtropicais, o aquecimento excessivo do solo pode prejudicar a germinação e a emergência das plântulas. (Hornetz et al. 2001) verificaram que temperatura do solo acima de 40°C inibiu a germinação do feijoeiro.

Estudos tem apresentado que várias espécies em condições de estresse salino alteram significativamente seu padrão de germinação, crescimento e desenvolvimento dessa leguminosa. De acordo com Deuner et al. (2011) avaliando o efeito da salinidade sobre viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo apresentaram aumento do nível de salinidade, reduzindo para níveis com capacidade de anular a ativação do processo de germinação e emergência das plântulas, entretanto, nas concentrações intermediárias de sal, as enzimas antioxidantes apresentam atividade eficiente na proteção contra o estresse salino, porém, este efeito não é mantido para a maior dose testada.

A germinação e a vitalidade de sementes constituem o potencial fisiológico de sementes, e encontra-se, como o principal foco de atenção dos tecnologistas de sementes. De modo geral, as manifestações do baixo potencial fisiológico de lotes de sementes podem ser relacionadas à menor velocidade de germinação, maior sensibilidade das sementes e plântulas a estresses durante esse processo e plantas com crescimento lento, reduzido, desuniforme e com menor desenvolvimento radicular (MOREIRA, 2014).

Para o cultivo do feijoeiro, o emprego de tecnologias de cultivo como o uso de tratamento de sementes é essencial para se atingir altas produtividades, dentre estas, o uso de sementes vigorosas formadoras de plantas de alto desempenho, associadas a aplicação de fungicidas, inoculação de microrganismos e rizobactérias promotoras do crescimento vegetal, caracterizam-se como soluções importantes para produção e sustentabilidade dos cultivos (OLIVEIRA et al., 2016).

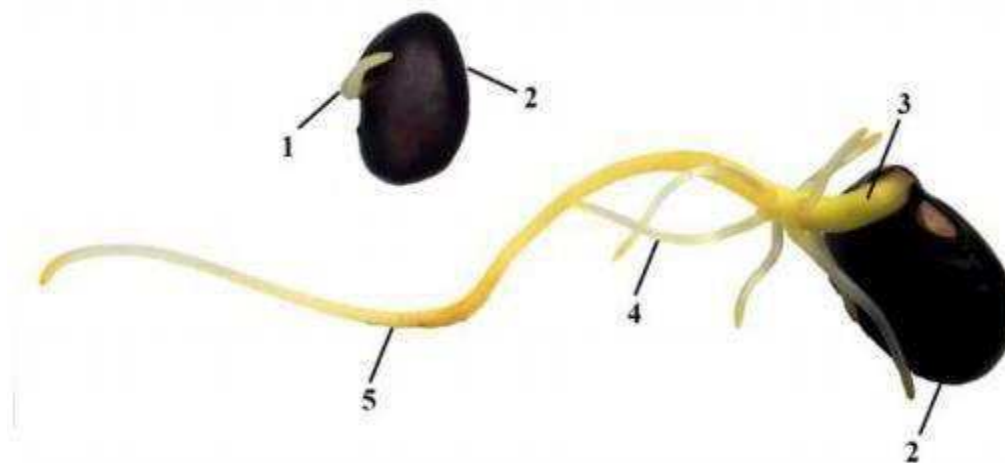


Figura 2.1 - Germinação de *Phaseolus vulgaris* L.: 1- Radícula 2- Cotilédono 3- Hipocótilo 4- Raiz lateral 5- Raiz primária (Fonte: Marquezi et al., 2016)

2.4- Cinética de germinação

Existem estudos sobre a cinética de degradação que buscou avaliar o processo de degradação de diversos componentes. Como no estudo de Cougo et al. 2014 verificou-se a cinética de degradação dos compostos bioativos da amora- preta durante o processo de secagem conectiva, obteve uma alta concentração de compostos fenólicos com a antocianinas em diferentes tempos de secagem.

No estudo de Rodrigues et al. 2013 sobre a cinética de degradação de carotenoides e da alteração da cor do azeite de pequi submetido ao aquecimento em temperatura de fritura realizadas análises de carotenoides totais e cor, determinando assim os parâmetros cinéticos. No decorrer do aquecimento, o teor de carotenoides foi degradado e a cor foi alterada. A cinética de degradação dos carotenoides foi de primeira ordem e da alteração de cor foi de ordem zero. Essas cinéticas refletiram as observações visuais das amostras do azeite de pequi obtidas depois de cada tratamento.

No estudo Takikawa (2014) sobre a cinética de degradação térmica de antocianinas e seu impacto na cor e na capacidade antioxidante *in vitro* em frutas vermelhas. As constantes de velocidade de reação em condições diferentes foram obtidas e mostraram que degradação das antocianinas é reforçada pelo aumento do tempo, em uma temperatura fixa de 90°C. Consequentemente, a cor visual e a capacidade antioxidante variaram linearmente com o teor de antocianinas durante o processamento térmico.

No estudo de Teixeira et al. (2016), que buscou avaliar a variabilidade dos compostos bioativos e da atividade antioxidante em genótipos de leguminosas buscando determinar as concentrações totais de antocianinas, carotenoides, compostos fenólicos e atividade antioxidante em grãos de três leguminosas que possuem função bioativa pouco explorada.

Modelos cinéticos são muitas vezes utilizados para uma avaliação objetiva, rápida e econômica da segurança alimentar. Modelagem cinética pode também ser utilizada para prever o efeito do processamento de parâmetros críticos de qualidade. O conhecimento da cinética de degradação, incluindo a ordem de reação, constante de velocidade e a energia de ativação, é muito importante para prever a perda de qualidade dos alimentos durante o armazenamento. Um dos fatores importantes a ser considerado no processamento de alimentos é a perda de nutrientes (PATRAS et al., 2010).

2.5- Secagem

A secagem constitui um processo de primordial importância dentre as técnicas envolvidas na conservação da qualidade de produtos de origem vegetal (Ribeiro et al., 2005), sendo o principal método para a conservação das características qualitativas de produtos agrícolas. Essa operação influencia diretamente na alteração das propriedades físicas de sementes e de grãos, importante para o dimensionamento e projeto de equipamentos.

Para garantir o ideal aproveitamento e manutenção da qualidade das sementes e grãos a secagem deve ser realizada no momento da maturidade fisiológica e logo após a colheita, visto que neste estágio as sementes e grãos com alto teor de água são suscetíveis a deteriorações e danos mecânicos (ANDRADE et al., 2006).

Em relação ao armazenamento adequado, por sua vez, deve-se remover parte da água contida na semente após a colheita. Neste caso, a secagem é a etapa do processamento que retirará o excesso de água de forma a propiciar condições adequadas para o beneficiamento, armazenamento e comercialização (ANDRADE et al., 2006), uma vez que ao reduzir o teor de água do produto, reduz-se também o risco de proliferação de micro-organismos e da ocorrência de reações enzimáticas e não enzimáticas, mantendo a qualidade por mais tempo.

Temperaturas de secagem mais altas resultam em tempos mais curtos de secagem, como relatam Morais et al. (2010) que observaram que com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorre maior taxa de remoção de água do produto e essa remoção ocorre de forma decrescente devido ao aumento de resistência em transferir a água do interior do produto para a superfície. No entanto, conduzem a degradações, como constatam Almeida et al. (2013), que relatam um menor tempo de secagem em temperaturas mais elevadas, porém com perdas de qualidade para os grãos de feijão.

Mesmo a secagem sendo de suma importância para a conservação de grãos, quando não é convenientemente controlada pode causar diversos danos, como alteração de cor, formação de crosta periférica, perda de matéria seca, redução de integridade física dos grãos, suscetibilidade à defeitos e redução do tempo de conservação. Esses danos fragilizam os grãos, possibilitando ataques de insetos de hábitos alimentares secundários e potencializa a ocorrência de reações químicas oxidativas que reduzem a qualidade da massa de grãos. (ALMEIDA et al. 2013).

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta de acordo com o crescimento da produção, devido a algumas vantagens, a saber: permite a armazenagem por períodos mais longos sem o perigo de deterioração do produto, auxilia na antecipação da colheita, mantém o poder germinativo por longos períodos, impede o crescimento de microrganismos e insetos, minimiza a perda de produto no campo; Redução do volume e do peso a ser transportado (ANDRADE, 2003).

O valor de água final para o armazenamento é a quantidade máxima com o qual o produto pode ser armazenado por períodos pré-determinados, para que haja deteriorações. Este teor de água varia conforme o tipo de produto. Os grãos, de modo geral, têm sua faixa ótima de teores de água para armazenamento compreendida entre 11 e 13%. (ANDRADE, 2003).

A redução do teor de água é obtida pela movimentação da água decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água, entre a superfície do produto a ser seco e o ar que envolve. A condição para que um produto seja submetido ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto (P_g) seja maior que a pressão do vapor de água no ar (P_a) de secagem (ANDRADE, 2003; JAYAS et al., 1995).

Alguns autores afirmam que a intensidade das danificações imediatas e latentes causadas às sementes pela secagem varia de acordo com a espécie e a variedade, e depende da interação entre a temperatura de secagem e teores de água inicial e final das sementes, dentre outros fatores (ANDRADE, 2003).

O desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para o processo de secagem de grãos é de fundamental importância através da simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Os modelos de secagem baseados na teoria da difusão líquida assumem que não há influência da capilaridade e despreza os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, dada a dificuldade de quantificar os múltiplos efeitos na massa de produto, e também considera que os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar instantaneamente, o que pode induzir a discrepâncias entre os resultados encontrados (BROOKER et al., 1992).

2.5.1-Cinética de secagem

A secagem é o processo mais utilizado para garantir qualidade e estabilidade, devido a redução do teor de água do produto diminui a atividade biológica e as mudanças

fisioquímicas que ocorrem nos grãos no processo de armazenamento (ALMEIDA et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2012). O processo de secagem deve ser planejado e analisado, garantindo o controle e administração de várias etapas do agronegócio, do plantio, ao produto final.

O processo de modelagem estatística é utilizado na avaliação da cinética de secagem de diversos produtos, avaliando condições como, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e características do produto. Esses fatores são responsáveis pelas simulações matemáticas de secagem em camada espessa, auxiliando no processo de melhoria e desenvolvimento de equipamentos de secagem, simulando o comportamento de cada produto durante a redução do teor de água, sob sucessivas camadas delgadas (GONELI et al., 2014; SANTOS et al., 2013; ARAUJO et al., 2017; BOTELHO et al., 2015).

Através do processo de secagem pode se obter informações importante sem relação ao comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem, normalmente ar atmosférico, aquecido ou não; essas informações são fundamentais para o projeto, operação e simulação de sistemas de secagem e secadores (CORRÊA et al., 2007).

Segundo Oliveira et al., (2014) A partir de estudos sobre propriedades termodinâmicas é possível entender o dimensionamento dos equipamentos de secagem, sendo relacionado ao cálculo de energia necessária para a realização do processo e fenômenos ocorridos na superfície desses produtos.

A obtenção da cinética de secagem é de fundamental importância para a modelagem matemática da operação e projeto de secadores. É através deste estudo que se estabelecem as equações da umidade em função do tempo de secagem para os diferentes períodos de taxas de secagem. A cinética de secagem possibilita também a determinação do mecanismo predominante na transferência de massa do material para o fluido e as respectivas equações matemáticas correspondentes (FERREIRA,2004).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por simulação matemática. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de umidade do produto durante o período de secagem. Pode se encontrar vários métodos propostos para se analisar a secagem em camada fina de produtos higroscópicos: os teóricos, os semi-teóricos e os empíricos (AFONSO JUNIOR et al. 1999).

2.5.1.1- Modelos matemáticos para secagem

O estudo e a modelagem matemática da cinética de secagem têm despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diferentes produtos: nozes de pistache (KASHANINEJAD et al., 2007), feijão vermelho (CORRÊA et al., 2007), semente de abóbora (SACILIK, 2007), tomate (DOYMAZ, 2007), sementes de amaranto (ABALONE et al., 2006), pimenta vermelha (KALEEMULLAH e KAILAPPAN, 2006), trigo parabolizado (MOHAPATRA e RAO, 2005), milho (DOYMAZ e PALA, 2003), entre outros.

Na literatura, encontram-se vários métodos propostos para se analisar a secagem em camada fina de produtos higroscópicos: os teóricos, os semi teóricos e os empíricos. O modelo teórico, que considera apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar quente, os modelos semi teóricos e os empíricos, têm como base a lei de resfriamento de Newton, que considera somente a resistência externa à temperatura e a umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI et al., 2002; PANCHARIYA et al., 2002).

Embora várias teorias tenham sido propostas para analisar o comportamento da secagem de grãos e sementes, na maioria das vezes, as relações semi-empíricas e empíricas têm-se mostrado como melhores opções para prever o processo de secagem, apesar de sua validade estar limitada às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (BROOKER et al., 1992).

Segundo Afonso Junior et al. (1999) A teoria da difusão líquida explica que não há influência da capilaridade e despreza os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, devido à dificuldade de se quantificar esses múltiplos efeitos na massa do produto, e também considera que os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar instantaneamente, o que pode induzir a discrepâncias entre os resultados encontrados. Portanto, quando a difusão líquida é utilizada para produtos biológicos, referidas condições são normalmente consideradas satisfatórias.

Durante a modelagem e a simulação dos processos de secagem de produtos agrícolas, diversos trabalhos correlacionaram satisfatoriamente os coeficientes dos modelos ajustados aos parâmetros de secagem (Tabela 2.1), principalmente a temperatura, a umidade relativa e a vazão do ar (DOYMAZ, 2004; MOHAPATRA E RAO, 2005).

Tabela 2.1 - Modelos matemáticos de cinética de secagem

| Designação do Modelo | Equação | |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Aproximação da difusão | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$ | (2.1) |
| Dois Termos | $RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ | (2.2) |
| Exponencial de Dois Termos | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$ | (2.3) |
| Page | $RX = \exp(-k \cdot t^n)$ | (2.4) |
| Newton | $RX = \exp(-k \cdot t)$ | (2.5) |
| Thompson | $RX = \exp(-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}) / 2 \cdot b$ | (2.6) |
| Verna | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ | (2.7) |
| Logarítmo | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$ | (2.8) |
| Logistic | $RX = a_0 / 1 + a \cdot \exp(k \cdot t)$ | (2.9) |
| Henderson e Pabis | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ | (2.10) |
| Henderson e Pabis modificado | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ | (2.11) |

Fonte: Doymaz (2004); Mohapatra e Rao (2005)

O uso de modelos matemáticos cinéticos facilita consideravelmente a otimização, o design, simulação e controle de projetos industriais e contribui para uma melhor utilização do tempo e energia (SANT'ANNA et al., 2012). A determinação dos parâmetros cinéticos é essencial para prever as mudanças de qualidade que ocorrem durante o processamento térmico (KARA e ERÇELEBI, 2013).

2.6- Farinha de feijão germinado

As alterações nos hábitos alimentares, no estilo de vida e a valorização econômica do trabalho da mulher, são fatores que levam o consumidor a pagar um pouco mais por um produto que apresente melhor qualidade, praticidade e/ou rapidez no preparo (CARNEIRO, 2001).

A farinha obtida do feijão é uma alternativa de consumo que agrega grande potencial nutricional e tecnológico dessa leguminosa, podendo ser utilizada para se adaptar a uma grande variedade de produtos (SANTOS, et al. 2009).

Desta forma, o feijão in natura vem se tornando menos competitivo que os produtos prontos para o consumo (CARNEIRO, 2001). Com o lançamento de diversas sopas

desidratadas, massas, legumes e verduras desidratadas, o consumo de farinha de feijão aumentou expressivamente (OLIVEIRA, 1996).

As farinhas são produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e/ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos (BRASIL, 2005).

A utilização de farinhas mistas é crescente, principalmente em produtos de panificação, por serem alimentos facilmente aceitos e consumidos universalmente. Essas características, juntamente com a diversidade de espécies disponíveis, constituem possibilidades para o desenvolvimento de inúmeros itens, específicos em suas propriedades físicas, químicas, sensoriais, tecnológicas e funcionais (SILVA, 2010).

À medida que há o aumento na demanda por alimentos no mundo, é necessário buscar fontes alternativas para a alimentação, bem como por novos processos tecnológicos, a fim de reduzir os custos dos produtos e gerar impacto positivo no atendimento das demandas nutricionais (CASTILHO et al., 2010).

A utilização de farinhas vegetais desempenha um papel importante nas indústrias de alimentos, uma vez que possuem custo baixo de produção comparado com os concentrados proteicos, podendo ainda ser utilizadas como alternativa para substituição da farinha de trigo, para compor farinhas mistas no desenvolvimento de produtos de panificação e massas alimentícias (SILVA, 2010).

Neste contexto, o fomento e incentivo do consumo de grãos na composição de farinhas mistas, pode oferecer ao mercado oportunidades para o desenvolvimento de diferentes produtos de panificação, tornando-os mais nutritivos e ainda atender grupos com dietas restritas (SIDDIQ, 2010; AMAGLIANI, 2017).

A farinha de feijão tem como principais componentes os carboidratos e proteínas, a solubilidade apresenta-se como reflexo do equilíbrio das ligações proteína-proteína, proteína-água e proteína-biomolécula, e as interações de carboidrato com a água, entre si e com outros compostos do alimento. A capacidade de absorção representa a quantidade de água ligadas as moléculas que constituem o alimento, se relaciona com a quantidade de água que permanece em proteínas e carboidratos na exposição de uma força de centrifugação ou pressão (CAMARGO et al., 2008, CROCHET et al., 2005).

A utilização da farinha do feijão evidencia o potencial de substâncias no desempenho de benefícios para o organismo humano. Com um potencial enzimático capaz de contribuir inibindo a enzima alfa-amilase e contribuindo no tratamento de diabetes. Essas substâncias inibitórias dessa enzima são extraídas do feijão tendo como principais

efeitos inibição da digestão e absorção do amido utilizadas como complemento de dietas de perda de peso e ação hipoglicemiante em pessoas que possuem diabetes mellitus não insulina dependentes (PEREIRA, 2008).

2.7- Broto de feijão

Durante o desenvolvimento vegetal a fase mais rica em nutrientes é a germinação, já que, as leguminosas ao germinar multiplicam seus nutrientes tendo os maiores níveis de proteína, carboidratos e lipídeos (LOURES, 2007). As sementes germinadas (dois a três dias) dão origem ao caule e as folhas, que vão preenchendo-se com clorofila, originando os brotos (cinco a sete dias). Os brotos são considerados alimentos totalmente naturais, já que não necessitam a utilização de adubos e defensivos agrícolas durante o seu crescimento (LOURES, 2007; OLIVEIRA, et al, 2013).

De acordo com Vieira e Lopes (2001) e Lima (2006) as vantagens do cultivo de brotos, incluem o pouco espaço, pois é feita em bandejas, ou em recipientes que contenham furos para escoar a água excedente; não necessita luz solar direta, no caso dos brotos de feijão, os grãos são germinados no escuro (considerando que existem espécies que germinam com luz, exemplo alfafa); sua produção ocorre em pouco tempo, tamanho adequado ao consumo, utiliza-se mão de obra simples e não requer região específica para produzi-los.

O broto de feijão comestível é uma leguminosa obtida através da germinação de sementes de feijão em ambientes escurecidos. Ao contrário dos brotos de feijão destinados ao cultivo da planta que germinam na presença de luz e assim em poucos dias apresentam uma coloração verde, apresenta-se uma cor esbranquiçada, pois os cloroplastos não se desenvolveram devido à ausência de iluminação (SCHARDONG, et al., 2013).

Os brotos são altamente nutritivos devido suas fontes de minerais, vitaminas, proteínas e baixas calorias o que o tornou popular no Brasil pela procura de alimentação saudável. Segundo Vieira (2001), o teor de proteínas dos grãos desta leguminosa pode variar de 19,5% a 31,2%, o grão ainda possui 10,6% de água, 4,4% de fibras, 1,2% de lipídeos e 3,5% de cinzas ricos em Ca, P, Fe, Na e K. Fordham et al. (1975) descrevem que o mesmo possui 86% a 91% de água, 2,7% a 4,3% de proteínas, 0,4 a 0,8% de cinzas, 0,6% de fibras e 0,1% a 0,2% de lipídeos.

A secagem do broto e posterior produção da farinha garante algumas vantagens em relação ao produto in natura. A farinha pode ser uma substituinte de outros ingredientes em

receitas capazes de serem adaptadas para o consumo, de acordo com a necessidade do consumidor, por exemplo em pães ou massas de pizza. Além disso, a farinha é uma opção mais fácil de ser introduzida nas dietas, incluindo infantis, as quais necessitem dos nutrientes e compostos contidos no broto de feijão (CROCETTI, et. al., 2016).

A secagem do broto de feijão diminui a atividade da água, aumentando o tempo de prateleira do produto. Tal fato se deve pela diminuição da carga microbiana presente, sendo assim, a farinha garante maior tempo de validade para consumo (MOURA et al., 2007). A utilização de broto de feijão ocorre principalmente, pelo valor proteico nele incluso, sendo considerado a oitava hortaliça com maior teor de proteínas (TACO, 2011). Podemos comparar os valores proteicos obtido da farinha de broto de feijão 25,82%, com outros estudos utilizando brotos de outras espécies.

Barcelos et al. (2002) estudaram a composição nutricional do broto de milho seco, concluindo que a matéria seca do produto tinha 9,84% de proteínas. Já Oliveira, et al. (2013) estudaram a composição nutricional da farinha de beterraba em comparação a farinha de trigo, declarando que quantidade de proteína chegava a 13,64% e 9,8% respectivamente.

A utilização da farinha de broto de feijão pode ser utilizada como substituinte de farinhas normalmente utilizadas em receitas, como a farinha de trigo, por apresentar um maior valor proteico podendo complementar a dieta de vegetarianos favorecendo o ganho de massa muscular. Além de um valor proteico considerável, a baixa carga lipídica do broto de feijão o tornou um atrativo ainda maior para indivíduos que almejam uma alimentação saudável (TACO, 2011).

A farinha do broto de feijão tem se apresentado como viável suplemento proteico, em especial para indivíduos veganos e vegetarianos que carecem em fontes de proteínas em suas dietas, sendo uma alternativa para celíacos ao substituir a farinha de trigo na alimentação. Outra vantagem que pode ser destacada é o baixo teor lipídico e grande quantidade de fibra, sendo assim uma opção saudável e interessante. O broto de feijão é também economicamente acessível, orgânico e de crescimento rápido. E pode ainda ser produzido em climas variados, adequando-se ao plantio em todo o território brasileiro (SCHARDONG, et al., 2013).

2.8- Cinética de degradação de compostos fenólicos

O consumo de vegetais tem sido associado a uma dieta saudável. Além do seu potencial nutritivo, estes alimentos contêm diversos fitoquímicos derivados de fenilalanina e tirosina, muitos dos quais desempenham funções biológicas, com destaque para aqueles com ação antioxidante. Estudos têm demonstrado que além de b-caroteno, vitamina C e vitamina E, os compostos fenólicos também estão relacionados à capacidade antioxidante de vários vegetais (SOARES, 2002).

Os compostos fenólicos são originados no metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o processo de crescimento e reprodução, apresentam diversas funções nas plantas: pigmentação das pétalas, tornando-as atrativas para insetos polinizadores; prevenção de ataques de patógenos devido à adstringência; proteção contra danos da radiação UV; e participação na reprodução sexual e na estrutura dos tecidos (NACZK et al., 2004).

Nos alimentos, os polifenóis contribuem com a coloração, adstringência, acidez, odor e amargor, além das suas propriedades antioxidantes. Esses compostos podem ser encontrados em folhas, raízes, frutas, leguminosas e sementes (PIMENTEL et al. 2005).

Os compostos fenólicos, apesar de não apresentarem importância nutricional direta, têm recebido muita atenção devido a sua atividade biológica. Alguns estudos apontam que os alimentos vegetais contêm compostos metabólicos secundários, que quando ingeridos frequentemente através da dieta, apresentam efeitos benéficos à saúde, entre os quais os de anti-inflamatório e antioxidante (HASSIMOTTO et al., 2005).

Vários efeitos têm sido associados ao consumo de compostos fenólicos presentes no feijão, como a capacidade antioxidante, antimutagênica, antiproliferativa, anti-hipertensiva, entre outras, atuando na redução das doenças coronarianas, câncer, diabetes e obesidade. (SILVA, 2008).

A ação antioxidante atribuída aos compostos fenólicos em geral é indicada no auxílio do balanceamento do estresse oxidativo gerado pelos radicais livres, visto que os antioxidantes atuam diretamente como sequestradores dos radicais livres e como cofatores de enzimas que também exercem atividade antioxidante (MASISI et al., 2016).

Entre os fatores que influenciam quantitativa e qualitativamente o perfil fenólico de feijão pode-se citar a variedade, genótipo das plantas, grau de germinação, além de fatores ambientais incluindo ocorrência de chuvas, incidência de luz e nutrição mineral (IGNAT, et al. 2011).

As sementes de feijão de cor escura apresentam maior teor de compostos fenólicos do que as claras (Pellegrini et al., 2006), embora o feijão de cor clara apresente um teor de taninos condensados ou proantocianidinas superior ao do feijão colorido. Segundo Cardador-Martinez et al. (2002) a elevada atividade antioxidante no feijão branco deve-se ao teor de taninos condensados, supondo-se assim que estes sejam os compostos fenólicos mais importantes nessas sementes.

A presença de compostos fenólicos, principalmente o grupo dos taninos, são responsáveis pelo sabor adstringente do feijão (DUARTE, 1999). Além disso, as perdas decorrentes de temperatura, umidade, manuseio incorretos, ataques de roedores e insetos e das próprias mudanças físico-químicas dos grãos, ocorridas desde a colheita, armazenamento, transporte e distribuição podem desencadear mudanças na estrutura dos grãos de feijão, transformando seus componentes.

Alguns estudos demonstraram que o preparo de feijão com maceração e descarte da água de maceração pode reduzir o conteúdo de compostos fenólicos, como taninos, assim como fitatos e oligossacarídeos (OLIVEIRA et al., 2001; RAMIREZ-CÁRDENAS et al., 2008), os quais diminuem a digestibilidade podendo causar flatulência.

Segundo Udaeta e Lajolo (1997), os compostos fenólicos também estão relacionados com o endurecimento dos grãos na pós-colheita, ocorrendo um aumento dos seus níveis e no tempo de cocção, após 3 e 6 meses de armazenamento, nas condições de 30 °C de temperatura e 70% de umidade relativa.

2.9- Propriedades funcionais

O fator antinutricional é usado para descrever compostos ou classes de compostos presentes numa extensa variedade de alimentos de origem vegetal, que quando consumidos, reduzem o valor nutritivo desses alimentos. Eles interferem na digestibilidade, absorção ou utilização de nutrientes e, se ingeridos em altas concentrações, podem gerar efeitos danosos à saúde (SANTOS, 2006), como diminuir sensivelmente a disponibilidade biológica dos aminoácidos essenciais e minerais, além de poder causar irritações e lesões da mucosa gastrintestinal, interferindo assim, na seletividade e eficiência dos processos biológicos (LOPES, 2009).

Os compostos fenólicos podem ser classificados em diferentes grupos funcionais de acordo com o grupo número de anéis aromáticos presentes nas moléculas e com os elementos estruturais aos quais estes anéis estão ligados. Os polifenóis são divididos em:

ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos e lignanas (Figura 2). Este grupo é bastante diversificado, podendo ser encontrado ligados a carboidratos, ácidos orgânicos e a outros fenólicos (MANACH et al. 2004).

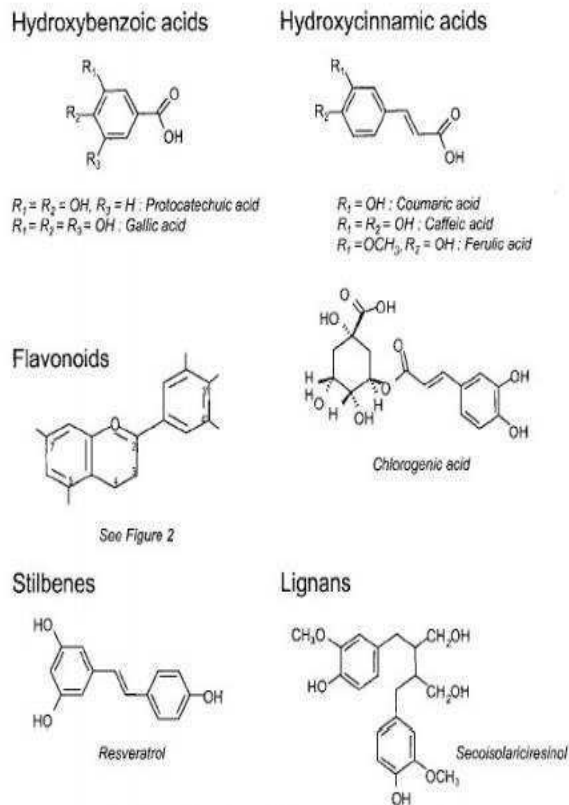


Figura 2.2 - Estrutura química dos compostos fenólicos (MANACH et al., 2004)

Os compostos fenólicos possuem a capacidade antioxidante e, portanto, assumi papel relevante na diminuição do risco de doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, mal de Alzheimer e Parkinson. No entanto, entre os compostos fenólicos, os taninos são considerados como antinutrientes por causa do efeito adverso na digestibilidade da proteína (DELFINO et al. 2010).

Os fitatos representam uma classe complexa de componentes naturais que ocorrem principalmente em cereais e leguminosas e que afetam as suas propriedades funcionais e nutricionais. Os fitatos são sais do ácido fítico (mioinositol do ácido hexafosfórico). Nutricionalmente, a presença de fitato é desfavorável, pois ocasiona a formação de complexos insolúveis com minerais e proteínas, reduzindo a biodisponibilidade desses nutrientes (TORREZAN et al. 2010).

Entre os compostos fenólicos, os taninos são considerados como antinutrientes devido ao efeito adverso na digestibilidade da proteína (LEAL et al. 2010). Nas dietas para seres humanos e algumas espécies de animais, taninos podem reduzir a digestibilidade da proteína, carboidratos e minerais; diminuir a atividade de enzimas digestivas, além de causar danos à mucosa do sistema digestivo ou exercer efeitos tóxicos sistêmicos (LOPES, 2009).

Segundo Nappi et al. (2006) os fitatos são derivados do ácido fítico, com habilidade de formar cálcio e magnésio, formando complexos solúveis resistentes à ação do trato intestinal, que diminuem a disponibilidade desses minerais e, embora esse seja seu maior efeito, os fitatos também interagem com resíduos básicos das proteínas, participando da inibição de enzimas digestivas como a pepsina, pancreatina e a α -amilase.

Conforme Souza et al. (2005), esses fatores quando consumidos em altas concentrações e de maneira crônica, podem ser responsáveis por carências nutricionais por causa da não utilização dos nutrientes presentes nos alimentos ingeridos. Portanto, aplicar algum processo que diminua esses fatores, seja ele através de cocção ou da germinação seria interessante para minimizar esses compostos presentes nas sementes.

2.10- Estado da Arte

Segundo Xavier (2013), com a utilização da farinha de feijão é possível a criação de novos produtos alimentícios, com a possibilidade de enriquecimento de outros produtos. A utilização da farinha de feijão em outros alimentos é uma forma de ingestão do feijão facilitando o dia a dia das pessoas e favorecendo as pessoas que não ingerem na sua forma habitual de consumo.

De acordo com os estudos de FROTA et al. (2010), a substituição da farinha de trigo em muffins ou inclusão de farinha de feijão em diversos produtos de panificação também atribuem incrementos nos teores de umidade, cinzas, proteínas e fibra alimentar, em detrimento dos carboidratos digeríveis e valor calórico.

No estudo de FIORENTIN et al. (2019) sobre o desenvolvimento de formulações em cookies com a adição de farinha de feijão caupi biofortificado apresentaram resultado satisfatório nos índices de ferro e zinco necessários para suprir as necessidades recomendadas, os quais os participantes não perceberam a adição da farinha quando comparada com o produto já existente na indústria alimentícia, sendo uma boa opção saudável e nutritiva.

No estudo GOMES et al. (2012) que analisou a criação da farinha do feijão a partir de diversas temperaturas, as farinhas obtidas no processo de secagem com temperaturas de 50 a 60°C tiveram índices de solubilidade mais altos em água, apresentando características mais satisfatórias para o processamento de produtos de rápido preparo, revelando boa estabilidade microbiológica.

Segundo os estudos de Batista et al. (2011), que analisou a substituição da farinha de trigo por farinha de feijão preto em pães. Verificou-se que a inclusão da farinha de feijão na composição de pães contribuiu para o aumento de proteínas e fibras, mantendo a mesma coloração do pão que utiliza a farinha de trigo.

Castilho et al. (2010) avaliou as propriedades tecnológicas da farinha de feijão gandu (*Cajanuscajan (L) Millsp*) e sua utilização em fiambre, apresentou boa atividade estabilidade para as emulsões obtidas, indicando potencial de aplicação na produção de embutidos. Quando comparados ao fiambre elaborado com a adição de concentrado proteico de soja, estes fiambres não apresentaram diferenças significativas nos atributos sensoriais, aparência, cor, aroma, textura.

No estudo de Bassinello et al. (2010), foi desenvolvido uma pré-mistura para bolos substituindo a farinha de trigo por farinhas de feijão e de arroz. Bolos obtidos com 50% de substituição de farinha de trigo por farinha de arroz e feijão obtiveram propriedades tecnológicas, aceitabilidade e estabilidade comparados ao de formulação padrão somente com farinha de trigo.

Santos et al. (2009), avaliou a composição química e a aceitação de uma torta de legumes preparada com 50% de farinha de trigo especial e 50% de farinha de feijão. Foi verificado que a farinha de feijão apresentou composição química adequada em relação a outras leguminosas e é um ingrediente com alto potencial nutricional e a substituição de 50% da farinha de trigo por farinha de feijão, na elaboração da torta de legumes, resultou em uma boa aceitação ao produto.

Anton et al. (2008), desenvolveram *tortillas*, substituindo a farinha de trigo por farinha de feijão de diferentes cultivares nas proporções de 15%, 25%, 35%. Do ponto de vista nutricional todas as *tortillas*, apresentaram níveis significativos mais elevados de proteínas bruta, compostos fenólicos (DPPH E ABTS+) e atividade antioxidante *in vitro* do que o controle (100% farinha de trigo).

3- MATERIAL E MÉTODOS

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

3.1- Matéria-prima

As matérias-primas utilizadas foram feijões (*Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walp) de cinco variedades, preto, branco, carioca, caupi e gordo, adquiridos em feira central na cidade de Campina Grande, PB.

3.2- Processamento das matérias-primas

Os feijões foram transportados para o laboratório, selecionados de acordo com a qualidade física e integridade, sendo descartados os feijões que apresentaram injúrias mecânicas, má aparência e defeitos visíveis. Em seguida houve a sanitização dos feijões para remoção de sujidades e impurezas, com a imersão dos mesmos em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 10 minutos e por fim enxaguados em água corrente para retirar o excesso de cloro.

3.3- Caracterização física, química e físico-química dos feijões in natura

Os feijões in natura foram caracterizados em triplicata quanto aos parâmetros físico-químicos: teor de água, atividade de água, cinzas, pH, acidez álcool solúvel, lipídeos, proteínas, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, amido, ácido ascórbico, compostos fenólicos, taninos, antocianinas, flavonoides, clorofila e carotenoides de acordo com o descrito nos itens a seguir.

3.3.1- Teor de água

Realizada pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C, até peso constante, de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.3.2- Atividade de água (a_w)

Foi realizada por leitura direta a 25 °C, utilizando-se o equipamento Aqualab, modelo 3TE, da Decagon Devices.

3.3.3- Cinzas

A porcentagem de cinzas das amostras foi determinada por incineração em mufla a 550 °C e os resultados foram expressos em porcentagem (p/p), conforme os procedimentos analíticos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.3.4- pH

Foi determinado pelo método potenciométrico, com uso de pHmetro digital, conforme os procedimentos analíticos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.3.5- Acidez álcool solúvel

Foi realizada utilizando álcool metílico para diluição da amostra conforme o manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.3.6- Lipídeos

O teor de lipídeos foi determinado pela metodologia de Bligh e Dyer (1959) usando clorofórmio, metanol e água.

3.3.7- Proteínas

Foi realizada por meio da quantificação do teor de nitrogênio total e o teor de proteína total pelo método Kjeldahl (IAL, 2008).

3.3.8- Açúcares totais

A quantificação dos açúcares totais (AT) foi realizada pelo método de antrona, com leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 620 nm, de acordo com a metodologia proposta por Yemm e Willis (1954).

3.3.9- Açúcares redutores

A quantificação dos açúcares redutores (AR) foi realizada de acordo com o método do ácido dinitrosalicílico, com leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 540 nm, de acordo com a metodologia proposta por Miller (1959).

3.3.10- Açúcares não-redutores

A determinação dos açúcares não redutores em sacarose foi dada através da diferença entre açúcares totais e redutores, determinada de acordo com IAL (2008).

3.3.11- Amido

O teor de amido foi determinado pelo método baseado na titulação da solução de Fehling de acordo com Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

3.3.12- Ácido ascórbico

Seguindo os procedimentos da AOAC (2009), o teor de ácido ascórbico foi determinado através da titulação com 2,6 diclorofenolindofenol (DCFI), até obtenção de coloração rósea clara permanente, usando-se como solução extratora, o ácido oxálico (BENASSI e ANTUNES, 1988).

3.3.13- Compostos fenólicos

Para a determinação do teor de fenólicos totais, seguiu-se o método de Folin e Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006). Os extratos foram diluídos e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro com comprimento de onda de 765 nm. Para a obtenção da curva analítica foi utilizada uma solução padrão de ácido gálico. A concentração dos compostos fenólicos totais foi expressa em miligrama de equivalente de ácido gálico/g extrato.

3.3.14- Taninos

Os taninos foram determinados segundo a metodologia descrita por Goldstein e Swain (1963), utilizando a curva de ácido tânico como padrão.

3.3.15- Antocianinas

As antocianinas totais foram determinadas segundo a metodologia descrita por Francis (1982), com leitura em espectrofotômetro e comprimento de onda de 535 nm.

3.3.16- Flavonóides

A determinação do conteúdo de flavonoides totais foi realizada segundo o método de Francis (1982), com leitura em espectrofotômetro e comprimento de onda de 374 nm.

3.3.17- Clorofilas e carotenóides totais

A quantificação de clorofilas e carotenoides totais foi realizada através de metodologia descrita por Lichtenthaler (1987), com leitura em espectrofotômetro e comprimento de onda 470, 646 e 663 nm.

3.4- Cinética de germinação dos feijões

Para se determinar o tempo ideal de germinação dos feijões, realizou-se a cinética de germinação, onde, os feijões foram colocados em bandejas contendo o substrato areia (350 g), expostas as condições ambientais do laboratório de temperatura e umidade relativa, e irrigadas com água destilada de 1 em 1 dia (utilizando-se 200 mL de água para cada bandeja). Os feijões foram avaliados quanto ao teor de água, proteínas, lipídeos, amido, açúcares totais, compostos fenólicos totais e taninos, de acordo com as metodologias descritas no item 4.3 nos tempos 0h, 24h, 48h, 72h e 96h, sendo eles nas condições, sem radícula e com radícula.

3.5- Caracterização dos feijões germinados

Após definição do tempo de germinação os feijões germinados foram caracterizados quanto às seguintes análises: teor de água, atividade de água, cinzas, pH, acidez álcool solúvel, lipídeos, proteínas, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não-redutores, amido, ácido ascórbico, compostos fenólicos, taninos, antocianinas, flavonoides, clorofilas e carotenoides de acordo com metodologias citadas no item 3.3.

3.6- Secagem dos feijões

Os feijões germinados foram triturados, espalhados em cestas teladas, em camada de 0,5 cm, e submetidos ao processo de secagem em secador convectivo com velocidade do ar de 1,0 m/s e temperaturas de 60, 70 e 80 °C, até atingir o equilíbrio. Para a realização das cinéticas de secagem, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).

Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (RU), dada pela relação entre as diferenças de teores de água no tempo, t, e teor de água de equilíbrio ($X - X_e$) e teores de água inicial e de equilíbrio ($X_0 - X_e$). Como descrito na Equação 3.1:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.1)$$

Em que:

RU - Razão de teor de água (adimensional)

X_e - Teor de água de equilíbrio (base seca)

X - Teor de água (base seca)

X_0 - Teor de água inicial (base seca)

Com os dados coletados foram construídas as curvas de cinética de secagem e os modelos matemáticos (Tabela 3.1) de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Exponencial Dois Termos, Page, Logaritmo, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Newton, Verna, Logistic e Thompson foram ajustados aos dados experimentais utilizando-se o programa Statistica 7.7 usando-se regressão não linear com o método Quase-Newton.

Tabela 3.1 - Modelos matemáticos ajustados aos dados da cinética de secagem

| Designação do Modelo | Equação | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Aproximação da difusão | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$ | (3.2) |
| Dois Termos | $RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ | (3.3) |
| Exponencial de Dois Termos | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$ | (3.4) |
| Page | $RX = \exp(-k \cdot t^n)$ | (3.5) |
| Newton | $RX = \exp(-k \cdot t)$ | (3.6) |
| Thompson | $RX = \exp(-a \cdot (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}) / 2 \cdot b$ | (3.7) |
| Verna | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ | (3.8) |

| | | |
|------------------------------|-------------------------------------------------|--------|
| Logarítmo | $RX=a.exp.(-k.t)+c$ | (3.9) |
| Logistic | $RX=a_0/1.a.exp.(k.t)$ | (3.10) |
| Henderson e Pabis | $RX=a.exp.(-k.t)$ | (3.11) |
| Henderson e Pabis modificado | $RX=a.exp.(-k.t)+b.exp.(-k_0.t)+c.exp.(-k_1.t)$ | (3.12) |

Onde: RX – razão do teor de água, adimensional; a, a₀, b, c, k, k₀, k₁, n – parâmetros dos modelos; t – tempo de secagem, min.

Utilizaram-se como critérios de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais a magnitude do coeficiente de determinação (R²) (Equação 3.13), desvio quadrático médio (DQM) (Equação 3.14) e o qui-quadrado (χ²) (Equação 3.15).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [(RX_{exp,i} - \overline{RX}_{exp,i}) (RX_{pred,i} - \overline{RX}_{pred,i})]^2}{\sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - \overline{RX}_{exp,i})^2 \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - \overline{RX}_{pred,i})^2} \quad (3.13)$$

Em que:

R² – coeficiente de determinação;

RX_{exp} – razão de teor de água experimental;

$\overline{RX}_{exp,i}$ – média da razão de teor de água experimental;

RX_{pred} – razão de teor de água predita pelo modelo;

$\overline{RX}_{pred,i}$ – média da razão de teor de água predita pelo modelo; e

N – número de observações.

$$DQM = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX_{pred} - razão do teor de água predito pelo modelo;

RX_{exp} - razão do teor de de água experimental;

n - número de observações realizadas durante o experimento.

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3.15)$$

Em que:

χ^2 – qui-quadrado;

RX_{pred} – razão de teor de água predita pelo modelo;

RX_{exp} – razão de teor de água experimental;

N – número de observações; e

n – número de constantes do modelo.

3.7- Obtenção das farinhas dos feijões germinados

Os feijões germinados foram secos nas condições de temperatura e velocidade do ar descritas no item 3.6, até teor de água de aproximadamente 8%, logo após as secagens, as sementes foram trituradas em moinho de facas para a obtenção das farinhas (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Especificação das condições para obtenção das farinhas de feijões germinados

| Feijão | Temperatura de secagem | Velocidade do ar de secagem |
|---------|------------------------|-----------------------------|
| | (°C) | (m.s ⁻¹) |
| Preto | 60 | 1 |
| | 70 | 1 |
| | 80 | 1 |
| Branco | 60 | 1 |
| | 70 | 1 |
| | 80 | 1 |
| Carioca | 60 | 1 |
| | 70 | 1 |
| | 80 | 1 |
| Caupi | 60 | 1 |
| | 70 | 1 |
| | 80 | 1 |
| Gordo | 60 | 1 |
| | 70 | 1 |
| | 80 | 1 |

3.8- Caracterização química, física e físico-química das farinhas dos feijões germinados

As farinhas dos feijões germinados foram caracterizadas, em triplicata, quanto ao teor de água, atividade de água, cinzas, pH, acidez alcóolica, lipídeos, proteínas, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, compostos fenólicos e taninos, conforme metodologias descritas no item 3.3. Além das análises: massa específica aparente, massa

específica compactada, massa específica absoluta, fator de Hausner (FH), índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC), solubilidade, higroscopicidade, molhabilidade, ângulo de repouso e perfil de minerais, de acordo com metodologias descritas a seguir.

3.8.1- Massa específica aparente

Para determinação da massa específica aparente utilizou-se uma massa de farinha conhecida que em seguida foi transferida para uma proveta graduada, na qual o volume foi utilizado no cálculo da massa específica aparente pela relação entre a massa e o volume.

O método utilizado para a massa específica aparente foi o descrito por Caparino et al. (2012), com modificações, onde 3 g da farinha foi pesada em proveta graduada de 10 mL, sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido. A densidade aparente foi calculada conforme Equação 3.16:

$$\rho_a = m_s / V_t \quad (3.16)$$

Em que:

ρ_a - densidade aparente, g.mL⁻¹

m_s - massa do sólido, g

V_t - volume total, mL.

3.8.2- Massa específica compactada

Para determinação da massa específica compactada utilizou-se a metodologia de Tonon et al. (2013). Pesou-se uma massa de farinha até completar o volume de 10 mL na proveta. Em seguida, a farinha foi compactada batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada. A massa específica compactada foi calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta, conforme a Equação 3.17:

$$\rho_c = \frac{m_a}{V_c} \quad (3.17)$$

Em que:

ρ_c - densidade compactada, g.mL⁻¹

m_s - massa do sólido, g

V_c - Volume do sólido após compactação, mL.

3.8.3- Massa específica absoluta

A massa específica absoluta das farinhas foi determinada em triplicata, pelo método picnométrico, utilizando hexano, na temperatura de 25 °C, o qual consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, utilizando-se um picnômetro.

3.8.4- Fator de Hausner (FH)

O fator de Hausner foi calculado pela relação entre a massa específica compactada e a massa específica aparente (Equação 3.18) (HAUSNER, 1967).

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (3.18)$$

Onde:

FH – Fator de Hausner (adimensional);

ρ_c – massa específica compactada (g cm^{-3});

ρ_a – massa específica aparente (g cm^{-3}).

3.8.5- Índice de compressibilidade ou índice de Carr (IC)

O índice de Carr foi calculado (Equação 3.19) conforme Bhusari et al. (2014). O índice de compressibilidade é um parâmetro relacionado à capacidade de empacotamento da farinha.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \cdot 100$$

(3.19)

Em que:

IC – índice de Carr (%)

ρ_c – massa específica compactada (g cm^{-3});

ρ_a – massa específica aparente (g cm^{-3}).

3.8.6-Solubilidade

A solubilidade (Equação 3.20) foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Um grama de farinha foi adicionado em 100 mL de água destilada na velocidade máxima de agitação em um agitador magnético, durante 5 min. A farinha dispersa em água foi centrifugada a 2.600 rpm por 5

min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma cápsula de alumínio, previamente tarada, e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa da farinha no sobrenadante}}{\text{massa da farinha total}} \times 100 \quad (3.20)$$

3.8.7-Higroscopicidade

A higroscopicidade das farinhas foi determinada de acordo com a metodologia proposta por CAI & CORKE (2000). Foram pesadas aproximadamente 1g em cadinhos e colocadas dentro de recipientes herméticos contendo solução saturada de NaCl e postos em BOD com temperatura controlada de 25 °C. Durante aproximadamente 6 dias as amostras foram pesadas até atingirem peso constante e a higroscopicidade foi expressa como g de água adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100 g).

3.8.8-Molhabilidade

Para a determinação do tempo de molhabilidade pesou-se cerca de 1,0 g da farinha adicionando-a, sob queda, em um bécker de 250 mL contendo 200 mL de água destilada (25 °C), sem agitação, e se observou o tempo gasto até que a amostra ficasse totalmente molhada (LANNES e MEDEIROS, 2003).

3.8.9-Ângulo de repouso

Para a determinação do ângulo de repouso foi utilizada a seguinte metodologia: na pilha de pó escoado do funil, formada na placa de recolhimento da determinação anterior, foram medidos o diâmetro (D) da pilha e sua altura (h), obtendo-se o ângulo de repouso (Θ), de acordo com a Equação 3.21.

$$\Theta = \arctg \frac{2h}{D} \quad (3.21)$$

Em que:

Θ - ângulo de repouso

h – altura da pilha

D – diâmetro

3.8.10- Perfil de minerais

O perfil de minerais foi quantificado por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva.

3.9- Cinética de degradação de compostos fenólicos

A melhor farinha de cada variedade de feijão foi escolhida com base nos resultados das análises do item 4.7. e em seguida foi realizada a cinética de degradação de compostos fenólicos durante 16 dias. As amostras foram pesadas aproximadamente 1g em cadinhos e colocadas dentro de recipientes herméticos contendo solução saturada de KCL com umidade relativa de 75%, e postos em BOD com temperatura controlada de 15, 25 e 35 °C. A cada 2 dias era realizada a análise de compostos fenólicos de acordo com o método de Folin & Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006). Deste modo, pôde-se obter 9 pontos nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16 dias.

3.10- Análise estatística

Os dados da caracterização dos feijões in natura, germinados e das farinhas dos feijões germinados foram analisados estatisticamente por meio do delineamento inteiramente casualizado com a comparação entre médias usando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Já para a cinética de degradação dos compostos fenólicos, os coeficientes de regressão foram estimados por regressão linear. Utilizou-se o programa STATISTICA 7.0 para toda análise estatística.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Caracterização química, física e físico-química dos feijões in natura e germinados

Encontram-se, nas Tabelas 4.1 a 4.17, os valores médios dos parâmetros analisados na caracterização química, física e físico-química dos feijões in natura e germinados.

4.1.1- Teor de água

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores médios e desvios padrão do teor de água dos feijões de diferentes variedades in natura e germinado. Como esperado, observa-se que após a germinação o teor de água aumentou em todos os feijões, com valores variando entre 90,94 e 97,28% b.s. Valores próximos aos constatados neste estudo foram verificados por Machado et al. (2009) ao analisarem a composição química de feijões germinados, encontrando teores de água para os feijões mungo verde, mungo preto e guandu anão de 90,93, 91,57 e 82,15%, respectivamente. Diante destes valores constata-se que se faz necessário realizar algum tipo de processo para a conservação dos grãos germinados e um dos processos mais utilizados é a secagem.

Tabela 4.1 - Valores médios e desvios padrão do teor de água de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Teor de água (% b.s.) | |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 13,84±1,49 ^b | 97,28±0,48 ^a |
| Branco | 13,23±0,54 ^b | 94,68±0,89 ^a |
| Carioca | 9,68±0,87 ^b | 90,94±0,72 ^a |
| Caupi | 12,93±1,13 ^b | 99,37±0,95 ^a |
| Gordo | 12,65±1,54 ^b | 93,17±1,13 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que o teor de água dos feijões in natura variou de 9,68% (feijão carioca) a 13,84% b.s. (feijão preto). Segundo a EMBRAPA, não é recomendável que o teor de água do grão seja superior a 13% b.u., visto que à medida que o teor de água aumenta,

maior será a probabilidade do comprometimento da qualidade do produto, devido à maior facilidade do processo respiratório e, desta forma, há o favorecimento da proliferação de microrganismos. Diante desta recomendação, percebe-se que todos os feijões estão em conformidade. Lovano et al. (2018), ao estudarem grãos de feijão preto e carioca encontraram valores de 16,81% e de 14,42%, respectivamente, para o teor de água, sendo valores superiores aos encontrados no presente trabalho.

4.1.2- Atividade de água

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores médios e desvios padrão da atividade de água dos feijões de diferentes variedades in natura e germinado.

Tabela 4.2 - Valores médios e desvios padrão da atividade de água de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Atividade de água | |
|-----------|---------------------------|--------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 0,418±0,003 ^b | 0,880±0,003 ^a |
| Branco | 0,436±0,001 ^b | 0,853±0,002 ^a |
| Carioca | 0,374±0,009 ^b | 0,862±0,008 ^a |
| Caupi | 0,420 ±0,003 ^b | 0,842±0,001 ^a |
| Gordo | 0,413±0,002 ^b | 0,826±0,002 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A atividade de água dos feijões in natura variou de 0,374 (feijão carioca) a 0,436 (feijão branco) e dos feijões germinados de 0,826 (feijão gordo) a 0,880 (feijão preto), constatando-se também aumento com o processo germinativo e apresentando altos valores que são propícios ao desenvolvimento de microrganismos, principalmente fungos e leveduras.

4.1.3- Teor de cinzas

Na Tabela 4.3 estão apresentados os valores e desvios padrão do teor de cinzas de feijões de diferentes variedades in natura e germinados. Verifica-se que houve aumento significativo do teor de cinzas com a germinação em todas as variedades.

Tabela 4.3 - Valores médios e desvios padrão do teor de cinzas de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Teor de cinzas (% b.s.) | |
|-----------|-------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 4,76±0,03 ^b | 9,10±0,03 ^a |
| Branco | 3,73±0,03 ^b | 7,99±0,17 ^a |
| Carioca | 4,16±0,02 ^b | 7,73±0,10 ^a |
| Caupi | 3,37±0,08 ^b | 6,31±0,26 ^a |
| Gordo | 4,12±0,22 ^b | 8,27±0,25 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O teor de cinza dos feijões in natura variaram entre 3,37 (feijão caupi) e 4,76% b.s. (feijão preto). Valores próximos foram verificados no estudo sobre a composição química de diferentes tipos de feijão in natura, com teor de cinzas de 4,60% para o feijão preto e de 3,90% para o feijão carioca (LOS et al, 2018).

Nos feijões germinados os teores de cinzas estiveram compreendidos na faixa entre 6,31 e 9,10% b.s., sendo o maior teor também observado no feijão preto e o menor no feijão Caupi, acompanhando o comportamento observado nos grãos in natura. Silva (2011) verificou teor de cinzas para feijões germinados de 4,84% b.s. para feijão branco, 4,92% b.s. para feijão mulatinho e de 4,57% b.s. para o feijão verde, valores inferiores ao deste estudo.

Quando se compara os teores de cinzas entre os feijões in natura e germinado, observa-se um aumento no teor de cinzas nos grãos germinados na ordem de 91,18%, para o feijão preto, 114,21% para o branco, 85,82% para o feijão carioca, 87,24% para o feijão caupi e 100,73% para o feijão gordo. Desta forma percebe-se que os teores de cinzas praticamente dobraram nos grãos germinados quando comparados aos in natura.

Desempenho contrário foi verificado por Leite et al. (2020) ao analisarem o teor de cinzas após a germinação de sementes de jaca em que houve redução do conteúdo, sendo atribuído ao descarte da radícula da semente germinada antes da quantificação das cinzas.

4.1.4- pH

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores médios e desvios padrão do pH dos feijões de diferentes variedades in natura e germinados. Verifica-se que houve também aumento no pH com a germinação em todas as variedades.

Tabela 4.4 - Valores médios e desvios padrão do pH de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | pH | |
|-----------|-----------|-----------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 6,23±0,01 | 6,65±0,03 |
| Branco | 6,36±0,01 | 6,50±0,02 |
| Carioca | 6,30±0,01 | 6,61±0,02 |
| Caupi | 6,33±0,01 | 6,74±0,02 |
| Gordo | 6,39±0,02 | 6,79±0,01 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que houve diferença entre o pH dos feijões in natura e germinados para todas as variedades, de modo que os feijões in natura apresentaram os menores valores de pH (6,23 a 6,39) e os feijões germinados apresentaram os maiores valores (6,50 a 6,79). Valores próximos e também aumento de pH foram verificados por Marquezi (2016) para o feijão preto cv. SCS204 Predileto in natura (6,54 a 6,56) e germinados (6,76 a 6,90), provenientes de diferentes municípios de Santa Catarina (Chapecó e Guatambu); e por Leite et al. (2016) para o pH sementes de sorgo antes (6,18) e após (6,51) a germinação.

4.1.5- Acidez alcoólica

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores médios e desvios padrão da acidez alcoólica dos feijões de diferentes variedades in natura e germinados. Verifica-se que houve também aumento da acidez alcoólica com a germinação em todas as variedades, com percentuais de aumento variando entre 17,45 e 50,75%.

Observa-se que os feijões in natura apresentaram os menores teores de acidez alcoólica variando entre 1,34% b.s. (feijão gordo) a 1,95% b.s. (feijão preto) e os feijões germinados apresentaram os maiores valores variando entre 1,75% b.s. (feijão carioca) a

2,58% b.s. (feijão preto). Leite et al. (2020) e Leite et al. (2016) também verificaram aumento da acidez nas sementes germinadas de jaca (0,89% in natura para 1,21% germinada) e sorgo (1,08% in natura para 1,99% germinada), respectivamente.

Tabela 4.5 - Valores médios e desvios padrão da acidez alcoólica de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Acidez alcoólica (% b.s.) | |
|-----------|---------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 1,95±0,26 ^b | 2,58±0,45 ^a |
| Branco | 1,63±0,26 ^b | 2,04±0,44 ^a |
| Carioca | 1,49±0,26 ^b | 1,75±0,43 ^a |
| Caupi | 1,63±0,26 ^b | 2,35±0,00 ^a |
| Gordo | 1,34±0,00 ^b | 2,02±0,44 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.1.6- Lipídeos

Na Tabela 4.6 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos lipídeos dos feijões de diferentes variedades in natura e germinados.

Tabela 4.6 - Valores médios e desvios padrão dos lipídeos de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Lipídeos (% b.s.) | |
|-----------|------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 3,38±0,03 ^a | 1,55±0,01 ^b |
| Branco | 2,74±0,30 ^a | 1,49±0,03 ^b |
| Carioca | 2,93±0,14 ^a | 1,54±0,02 ^b |
| Caupi | 2,30±0,08 ^a | 1,49±0,04 ^b |
| Gordo | 3,33±0,37 ^a | 1,26±0,03 ^b |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que houve redução dos lipídeos com a germinação em todas as variedades, com percentuais de diminuição variando entre 35,22 a 62,16%. Esse

decaimento dos lipídeos nos feijões germinados pode ser explicado pela degradação de reserva de nutrientes, lipídeos e carboidratos, devido ao fornecimento de energia requerida durante o crescimento (MARTINEZ et al., 2011). Desempenho oposto foi constatado por Benevides et al. (2019) para feijões das variedades andu e mangalô, cultivadas no Peru, com teores antes e após a germinação, respectivamente, de 1,36% e 1,97% para o feijão andu, e de 0,64% e 0,66% para o feijão mangalô.

Os teores de lipídeos dos feijões in natura variaram entre 2,30% b.s. (feijão caupi) e 3,38% b.s. (feijão preto). Valores inferiores de lipídeos foram verificados para o feijão carioca com 1,51% b.s. (1,3% b.u.) e para o feijão preto com 1,41% b.s. (1,2% b.u. (TACO, 2011).

Nos feijões germinados os lipídeos variaram entre 1,26% b.s. (feijão gordo) e 1,55% b.s. (feijão preto), sendo superiores ao teor do broto de feijão com 0,8% b.s. (0,1% b.u.) (TACO, 2011).

4.1.7- Proteínas

Na Tabela 4.7 estão apresentados os valores médios e desvios padrão das proteínas dos feijões de diferentes variedades in natura e germinados. Observa-se que desempenho inverso ao dos lipídeos ocorreu para as proteínas, com acréscimo nos teores de proteínas com a germinação em todas as variedades. Efeito também constatado por Rockenbach et al. (2016) para o feijão azuki com o teor de proteínas passando de 21,15% (in natura) para 25,43% (germinado); e por Machado et al. (2009) para o feijão mungo verde com teor de proteínas na ordem de 29,22% (in natura) e de 40,18% (germinado), para o feijão mungo preto com 25,26% in natura e 39,08% germinado e para o feijão guandu anão com 22,54% in natura e 36,70% germinado.

Tabela 4.7 - Valores médios e desvios padrão das proteínas de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Proteínas (% b.s.) | |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 21,90±0,10 ^b | 42,66±0,17 ^a |
| Branco | 25,86±0,87 ^b | 44,90±0,77 ^a |
| Carioca | 21,21±0,38 ^b | 44,31±0,12 ^a |
| Caupi | 27,21±0,37 ^b | 48,60±0,85 ^a |
| Gordo | 20,97±0,60 ^b | 36,86±0,07 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A germinação de sementes proporciona melhora do valor nutritivo, devido a melhor digestibilidade protéica, além da redução de fatores antinutricionais. É esperado que o teor de proteínas aumente com a germinação, visto que durante esse processo ocorre a síntese enzimática proteica, além de mudanças na composição que segue com a degradação de outros constituintes (MARTINEZ, 2011).

Nos feijões in natura as proteínas variaram de 20,97 (feijão gordo) a 27,21% b.s. (feijão caupi) e nos feijões germinados variaram de 36,86 (feijão gordo) a 48,60% b.s. (feijão caupi), confirmando que essa leguminosa tem alto conteúdo de proteínas (mínimo de 12%), conforme o valor estabelecido em Brasil (2012).

O aumento percentual do teor de proteínas dos feijões germinados foi da ordem de 73,63 a 108,91%.

4.1.8- Açúcares totais

Na Tabela 4.8 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos açúcares totais dos feijões de diferentes variedades in natura e germinados. Observa-se que houve redução dos açúcares totais com a germinação, sendo inverso ao ocorrido para as proteínas. A redução dos níveis de açúcares ocorre em razão da germinação ser um processo de pré-digestão, onde ocorre a assimilação de nutrientes para o crescimento do embrião e um desses nutrientes é o amido, que é sintetizado em glicose e frutose que são utilizados na respiração do embrião e na síntese de novas moléculas e estruturas celulares (SILVA, 2017).

Tabela 4.8 - Valores médios e desvios padrão dos açúcares totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Açúcares totais (% b.s.) | |
|-----------|--------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 2,62±0,01 ^a | 1,15±0,00 ^b |
| Branco | 3,15±0,00 ^a | 1,12±0,00 ^b |
| Carioca | 2,36±0,00 ^a | 1,32±0,00 ^b |
| Caupi | 3,15±0,00 ^a | 1,53±0,00 ^b |
| Gordo | 3,28±0,01 ^a | 1,25±0,00 ^b |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os açúcares totais dos feijões in natura variaram de 2,62 a 3,28% b.s. e os germinados de 1,12 a 1,53% b.s.

Silva (2011) ao avaliar feijões de diferentes variedades in natura e germinado, verificou um decréscimo no teor de carboidratos após a germinação em todas as amostras analisadas; enquanto que Leite (2017) ao caracterizar as sementes de jaca in natura e germinada, verificaram que houve com a germinação aumento no teor de açúcares totais (de 5,27 para 6,37%) e redução dos carboidratos totais (de 19,75 para 16,08%).

4.1.9- Açúcares redutores

Na Tabela 4.9 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos açúcares redutores (AR) dos feijões de diferentes variedades, in natura e germinados. Constata-se baixos valores para os açúcares redutores dos feijões, com diferenças significativas entre as médias dos feijões in natura e germinado apenas para as variedades carioca, caupi e gordo.

Tabela 4.9 - Valores médios e desvios padrão dos açúcares redutores de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Açúcares redutores (% b.s.) | |
|-----------|-----------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 0,02±0,01 ^a | 0,02±0,00 ^a |
| Branco | 0,01±0,00 ^a | 0,01±0,01 ^a |
| Carioca | 0,06±0,01 ^a | 0,05±0,00 ^b |
| Caupi | 0,01±0,00 ^b | 0,02±0,01 ^a |
| Gordo | 0,01±0,00 ^b | 0,02±0,01 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Leite et al. (2016) ao analisarem sementes de sorgo antes e após a germinação, verificaram que houve um aumento considerável do teor de açúcares redutores com a germinação (de 0,38% para 3,77%). Já Leite et al. (2020) ao caracterizarem as sementes de jaca in natura e germinadas, verificaram que não houve diferença estatística no teor dos açúcares redutores entre as amostras, apresentando teores de 1,85 e 1,66%, respectivamente, sendo superiores aos dos feijões.

4.1.10- Açúcares não redutores

Na Tabela 4.10 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos açúcares não redutores dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades. Como ocorrido para os açúcares totais (AT), também tem-se redução dos açúcares não redutores (ANR) com a germinação em todas as variedades. Nota-se superioridades nas médias dos ARN com relação aos AR.

Tabela 4.10 - Valores médios e desvios padrão dos açúcares não redutores de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Açúcares não redutores (% b.s.) | |
|-----------|---------------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 2,46±0,01 ^a | 1,17±0,01 ^b |
| Branco | 2,99±0,00 ^a | 1,05±0,01 ^b |
| Carioca | 2,19±0,00 ^a | 1,20±0,00 ^b |
| Caupi | 2,98±0,00 ^a | 1,44±0,00 ^b |
| Gordo | 3,10±0,01 ^a | 1,17±0,01 ^b |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os feijões in natura apresentaram teores de açúcares não redutores variando de 2,19 a 3,10% e os germinados de 1,05 a 1,44%.

4.1.11- Amido

Na Tabela 4.11 estão apresentados os valores médios e desvios padrão do teor de amido dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Tabela 4.11 - Valores médios e desvios padrão do amido de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Amido (% b.s.) | |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 23,21±0,06 ^b | 47,66±0,53 ^a |
| Branco | 21,45±0,16 ^b | 49,19±0,48 ^a |
| Carioca | 21,30±0,11 ^b | 45,62±0,28 ^a |
| Caupi | 24,24±0,07 ^b | 50,29±0,16 ^a |
| Gordo | 21,71±0,04 ^b | 44,18±0,13 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De maneira inversa aos açúcares totais, o teor de amido aumentou significativamente com o processo de germinação em todas as variedades. O teor de amido

variou entre 21,30 a 24,24% b.s. para os feijões in natura e de 44,18 a 50,29% b.s. para os feijões germinados.

Leite et al. (2020) verificaram para as sementes de jaca in natura e germinadas, que o teor de amido sofreu decréscimo com a germinação da semente (de 22,04% b.s. para 14,72% b.s.), em que foi relacionado este comportamento à transformação do amido em glicídios durante o processo de germinação. Leite et al. (2016), identificaram para grãos de sorgo após a germinação a redução do teor de amido (de 64,12 para 50,0%), sendo justificado em razão do aumento da taxa de mobilização de carboidratos solúveis no endosperma dos cereais durante a germinação.

4.1.12- Ácido ascórbico

Na Tabela 4.12 estão apresentados os valores médios e desvios padrão do teor de ácido ascórbico dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Tabela 4.12 - Valores médios e desvios padrão do ácido ascórbico de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Ácido ascórbico (mg/100 g b.s.) | |
|-----------|---------------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 3,24±0,00 ^b | 4,35±1,08 ^a |
| Branco | 4,29±0,00 ^b | 6,14±1,07 ^a |
| Carioca | 6,42±0,00 ^b | 8,42±1,04 ^a |
| Caupi | 5,36±0,00 ^b | 8,17±1,09 ^a |
| Gordo | 3,93±0,61 ^b | 5,48±0,00 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que houve aumento significativo no teor de ácido ascórbico com a germinação para as diferentes variedades. Os teores de ácido ascórbico dos feijões in natura variaram de 3,24 a 6,42 mg/100 g e nos feijões germinados variaram entre 4,35 a 8,42 mg/100 g. De acordo com o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar (BRASIL, 2012) os feijões germinados das variedades caroca e caupi podem ser considerados fonte de vitamina C, em razão de terem apresentado teor de ácido ascórbico superior a 6,75 mg/100 g (15% da IDR - Ingestão Diária Recomendada para Adultos).

Este aumento representa um comportamento positivo, no sentido de que o ácido ascórbico representa um antioxidante muito importante na conservação de sementes durante o armazenamento. De acordo com Brilhante et al. (2013), o tratamento prévio das sementes com antioxidantes como o ácido ascórbico contribui para o aumento do vigor e eleva o tempo de armazenamento das sementes devido à retirada de espécies reativas de oxigênio.

Conforme Silva et al. (2014), no processo de germinação de sementes ocorre a produção de antioxidantes, como ácido ascórbico, entre outros, aumentando assim a capacidade antioxidante das sementes, promovendo assim maiores benefícios à saúde com o seu consumo.

4.1.13- Compostos fenólicos totais

Na Tabela 4.13 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos compostos fenólicos totais dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Tabela 4.13 - Valores médios e desvios padrão dos compostos fenólicos totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Fenólicos totais (mg ácido gálico/100 g b.s.) | |
|-----------|-----------------------------------------------|---------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 949,42±6,22 ^b | 1242,65±3,41 ^a |
| Branco | 817,21 ±2,35 ^b | 1078,34±2,07 ^a |
| Carioca | 866,26±0,78 ^b | 1145,57±2,35 ^a |
| Caupi | 922,88±1,57 ^b | 1226,84±1,35 ^a |
| Gordo | 878,79±3,14 ^b | 1143,50±1,56 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Seguindo o mesmo comportamento do ácido ascórbico, observa-se aumento dos compostos fenólicos totais com a germinação em todas as variedades de feijão. Os compostos fenólicos totais dos feijões in natura variaram de 817,21 mg/100 g b.s. (branco) a 949,42 mg/100 g b.s. (preto) e nos feijões germinados de 1078,34 mg/100 g b.s. (branco) a 1242,65 mg/100 g b.s. (preto). Estes valores dos compostos fenólicos totais são superiores aos apresentados por Pajak et al. (2014) ao estudaram o efeito da germinação nos fenólicos totais em sementes de feijão mungo, verificaram um aumento do conteúdo de

fenólicos totais durante a germinação, encontrando valores na ordem de 183 mg/100 g para o feijão mungo; e por Ampofo e Ngadi (2020) que analisaram a elicitação fenólica assistida por ultrassom durante a germinação de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) sendo encontrado um valor de 216,74 mg/100 g de fenólicos totais nas sementes germinadas, tratadas com ultrassom de 360 W por 60 minutos, após 96 horas de germinação.

O acréscimo no teor dos compostos fenólicos totais nos feijões germinados variou entre 30,12 a 32,94%.

4.1.14- Taninos

Na Tabela 4.14 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos taninos dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Da mesma forma que os compostos fenólicos totais, os taninos aumentaram com a germinação em todas as variedades. O feijão preto apresentou as maiores concentrações de taninos, com 814,39 mg/100 g b.s. (in natura) e 1060,43 mg/100 g b.s. (germinado) e o feijão branco as menores concentrações com 705,53 mg/100 g b.s. (in natura) e 924,90 mg/100g b.s. (germinado).

Tabela 4.14 - Valores médios e desvios padrão dos taninos de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Taninos (mg/100 g b.s.) | |
|-----------|--------------------------|---------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 814,39±5,11 ^b | 1060,43±2,80 ^a |
| Branco | 705,53±1,93 ^b | 924,90±1,70 ^a |
| Carioca | 744,82±0,64 ^b | 979,43±1,93 ^a |
| Caupi | 792,33±1,29 ^b | 1047,70±1,11 ^a |
| Gordo | 756,07±2,58 ^b | 978,11±1,28 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O aumento percentual nas concentrações dos taninos nos feijões com a germinação variou entre 29,37 a 32,23%.

Valores inferiores de taninos foram quantificados por Freitas et al. (2019) em feijão-caupi cozido dos genótipos MNC03-737F-5-9 e MNC03-737F-5-4 encontrando valores de 19,09 e 20,46 mg/100 g, respectivamente; e por Abreu et al. (2019) para feijão-

caupi cru das cultivares BRS Aracê com 4,72 mg/100 g e BRS Tumucumaque com 12,81 mg/100 g.

4.1.15- Flavonoides

Na Tabela 4.15 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos flavonoides totais dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Tabela 4.15 - Valores médios e desvios padrão dos flavonoides totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Flavonoides totais (mg/100 g b.s.) | |
|-----------|------------------------------------|-------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 4,31±0,02 ^b | 7,74±0,04 ^a |
| Branco | 2,28±0,02 ^b | 5,18±0,04 ^a |
| Carioca | 4,90±0,04 ^b | 10,73±0,07 ^a |
| Caupi | 2,91±0,04 ^b | 5,45±0,22 ^a |
| Gordo | 4,20±0,02 ^b | 7,78±0,04 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os flavonoides fazem parte dos compostos fenólicos em razão disso era esperado também que os valores dos flavonoides totais dos feijões aumentassem significativamente com a germinação para todos os tipos de feijão. Benevides et al. (2019) verificaram comportamento similar ao analisarem amostras de feijões Andu e Mangalô, após germinação e desidratação, sendo constatado que houve o aumento das concentrações de flavonoides dos feijões in natura (Andu: 17,03 µg EC/100 mg; Mangalô: 12,23 µg EC/100 mg) após o processo de germinação e liofilização (Andu: 39,09 µg EC/100 mg; Mangalô: 40,52 µg EC/100 mg). Os feijões in natura apresentaram os menores teores de flavonoides totais (2,28 a 4,90 mg/100 g b.s.), e os feijões germinados apresentaram os maiores valores (5,18 a 10,73 mg/100 g b.s.).

As sementes in natura e germinadas representam fonte de antioxidantes, como os flavonoides, entre outros, com isso, o seu consumo tem grande potencial na promoção de benefícios à saúde (SILVA et al., 2014).

4.1.16- Antocianinas

Na Tabela 4.16 estão apresentados os valores médios e desvios padrão das antocianinas totais dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Tabela 4.16 - Valores médios e desvios padrão das antocianinas totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Antocianinas totais (mg/100 g b.s.) | |
|-----------|-------------------------------------|------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 1,39±0,03 ^b | 2,57±0,08 ^a |
| Branco | 0,85±0,03 ^b | 1,75±0,03 ^a |
| Carioca | 1,14±0,02 ^b | 2,10±0,07 ^a |
| Caupi | 0,80±0,03 ^b | 1,66±0,03 ^a |
| Gordo | 0,63±0,02 ^b | 1,29±0,06 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que houve aumento significativo das antocianinas totais dos feijões com a germinação em todas as variedades. Os feijões in natura apresentaram os menores teores de antocianinas totais (0,63 a 1,39 mg/100 g b.s.) e os feijões germinados apresentaram os valores maiores (1,29 a 2,57 mg/100 g b.s.).

Valores de antocianinas totais inclusos nessa faixa foram encontrados por Landim et al. (2016) ao analisarem feijões Caupi de diferentes cultivares (1,02 a 2,20 mg/ 100 mg), sendo ressaltado que o conteúdo de antocianinas totais em feijões é variável de acordo com as diferentes cultivares e partes da planta, e ainda pela genética e características agrônômicas de cultivo.

4.1.17- Carotenoides

Na Tabela 4.17 estão apresentados os valores médios e desvios padrão dos carotenoides dos feijões in natura e germinados de diferentes variedades.

Observa-se também aumento significativo dos valores médios dos carotenoides totais nos feijões germinados em todas as variedades. Os feijões in natura apresentaram os menores teores de carotenoides totais (0,95 a 4,44 mg/100 g b.s.), e os feijões germinados apresentaram os valores maiores (6,72 a 10,17 mg/100 g b.s.).

Silva et al. (2014) encontrou comportamento similar ao identificar o aumento no teor de carotenoides totais em função do tempo de germinação para linhaça e painço de diferentes safras, ressaltando que elevadas concentrações de carotenoides obtidos através da ingestão de alimentos estão associada à redução do risco de doenças crônicas.

Tabela 4.17 - Valores médios e desvios padrão dos carotenoides totais de feijões de diferentes variedades in natura e germinados

| Variedade | Carotenoides totais (mg/100 g b.s.) | |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------|
| | In natura | Germinado |
| Preto | 4,44±0,09 ^b | 10,17±0,09 ^a |
| Branco | 0,95±0,10 ^b | 7,50±0,04 ^a |
| Carioca | 3,93±0,03 ^b | 8,25±0,17 ^a |
| Caupi | 2,20±0,08 ^b | 6,72±0,13 ^a |
| Gordo | 3,52±0,08 ^b | 8,08±0,05 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2 - Cinética de germinação

Os valores do teor de água dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de 0, 24, 48, 72 e 96 h estão apresentados na Tabela 4.18. O feijão caupi apresentou o maior valor, com teor de água final (96 h) de 66,16%, enquanto o menor valor obtido foi para a variedade 'carioca'. Martinez et al. (2011) constataram aumento no teor de água das amostras de soja germinada em relação ao controle, obtendo médias de 63,73 e 6,71%. Este aumento ocorre devido a hidratação promovida durante a germinação, necessária para a semente iniciar as atividades enzimáticas e proporcionar o adequado crescimento e desenvolvimento da plântula (MARCOS FILHO, 2005).

Tabela 4.18 - Valores médios do teor de água dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Teor de água (% b.s.) - Feijão sem radícula | | | | | |
|---------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 0 | 12,95 e | 11,94 e | 12,01 e | 13,11 e | 13,22 e |
| 24 | 32,46 d | 31,56 d | 31,61 d | 32,78 d | 30,90 d |
| 48 | 46,59 c | 45,22 c | 41,36 c | 47,31 c | 43,20 c |
| 72 | 48,66 b | 48,87 b | 47,42 b | 49,23 b | 48,70 b |
| 96 | 65,18 a | 63,84 a | 61,80 a | 66,42 a | 66,16 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Figura 4.1 mostra-se o comportamento do teor de água dos feijões sem radículas com o aumento gradativo da embebição, de acordo com o tempo de germinação. De acordo com Villela et al. (2007), durante o processo germinativo ocorre a hidratação das sementes com consequente reidratação dos tecidos; o aumento da respiração e de outras atividades metabólicas, culminando com o fornecimento de energia e de nutrientes necessários para o crescimento da planta.

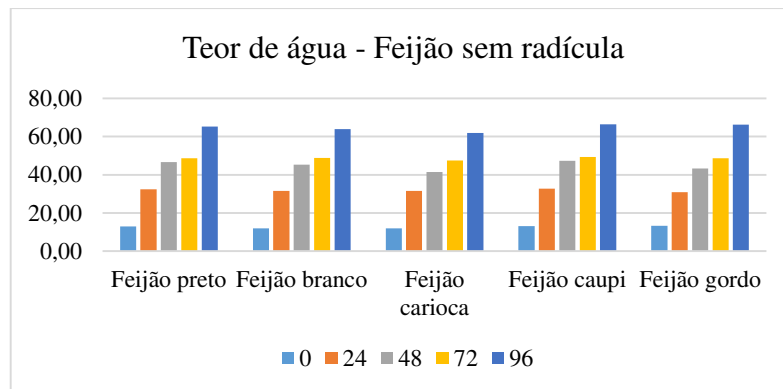


Figura 4.1 - Efeito da cinética de germinação dos feijões, sem radículas, sobre o teor de água (% b.s.), para os tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

Verifica-se que o teor de água aumentou para os cinco tipos de feijão, em média, 52% após o tempo de 96 h. Chinma et al. (2009), estudando sementes de junça ou junquinho-mansa (*Cyperus esculentus*) da variedade amarela obtiveram teor de água de 7,30 e 9,65% (após 72 h de germinação) para as sementes *in natura* e germinadas,

respectivamente, e por Leite et al. (2016) para sementes de sorgo *in natura* e germinadas, obtendo valores de 12,16 e 36%, respectivamente.

Tem-se na Tabela 4.19 e na Figura 4.2 que os feijões germinados, com radículas, apresentaram umidade acima de 40% b.s. Marquezi (2016) justificou que com a umidade da câmara de germinação acima de 90%, esse teor de água absorvido pelos feijões se mantém em seu interior. O teor de água dos feijões germinados também pode estar associado às condições das amostras, não estocados por períodos que poderiam comprometer tanto a absorção de água quanto a germinação.

Tabela 4.19 - Valores médios do teor de água dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Teor de água (% b.s) - Feijão com radícula | | | | | |
|--------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 24 | 41,42 d | 41,18 d | 40,88 d | 40,64 d | 40,78 d |
| 48 | 52,07 c | 49,54 c | 52,37 c | 51,10 c | 50,80 c |
| 72 | 60,66 b | 59,91 b | 62,76 b | 62,05 b | 63,51 b |
| 96 | 95,47 a | 93,49 a | 90,00 a | 99,22 a | 92,17 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

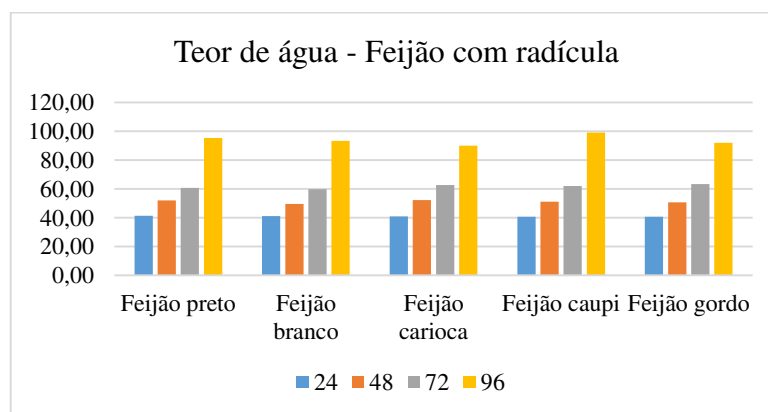


Figura 4.2 - Efeito da cinética de germinação sobre o teor de água (% b.s) dos feijões com radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h

Os resultados do teor de fenólicos dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de 0, 24, 48, 72 e 96 h estão apresentados na Tabela 4.20 e na Figura 4.3. Observa-se aumento no conteúdo após germinação, corroborando os resultados encontrados por

Leite et al. (2016), que observaram aumento de fenólicos após a germinação, obtendo valores de 0,07 e 0,12 g de ácido gálico/100 g para as sementes de sorgo *in natura* e germinadas, respectivamente, e por Tian et al. (2010) os quais verificaram em sementes de aveia que após o processo de germinação o conteúdo de fenólicos totais foi aumentando até 120 h de germinação.

Tabela 4.20 - Valores médios do teor de fenólicos dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Fenólicos (mg/100 g b.s.) - Feijão sem radícula | | | | | |
|-------------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 0 | 936,59 b | 805,22 e | 874,62 c | 919,35 c | 874,73 c |
| 24 | 944,68 b | 816,01 d | 886,60 bc | 924,24 c | 880,61 c |
| 48 | 963,04 a | 841,39 c | 896,88 b | 941,14 b | 895,22 b |
| 72 | 977,20 a | 860,18 b | 885,70 bc | 939,07 b | 927,14 a |
| 96 | 988,18 a | 870,90 a | 927,85 a | 974,35 a | 936,09 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Randhir et al. (2004) reportaram que a germinação causou diminuição no teor dos compostos fenólicos de sementes de feijão-mungo (*Vigna radiata*). Lin e Lai (2006) citaram que os feijões que apresentam tegumentos escuros diminuem significativamente o teor de fenólicos totais após a germinação em curto prazo.

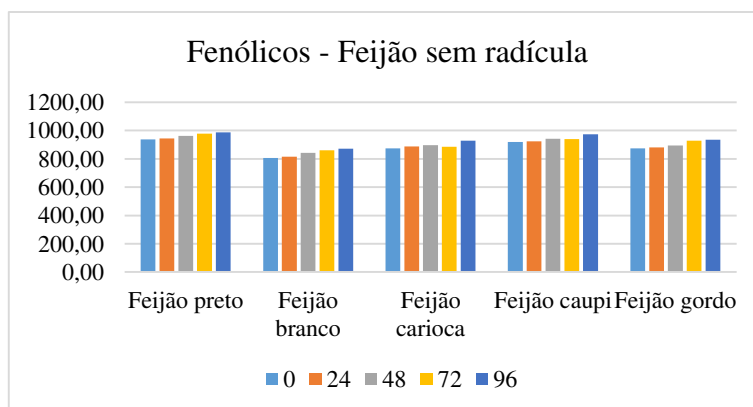


Figura 4.3 - Teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) durante a cinética de germinação dos feijões, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

De acordo com Fiori (2009), os compostos fenólicos evitam a oxidação em alimentos e atuam como fatores de proteção contra danos oxidativos no organismo, desempenhando atividade antioxidante. A germinação de sementes e grãos pode proporcionar mudanças significativas na composição fenólica devido, principalmente, à ativação de enzimas endógenas (DUEÑAS et al., 2009). Deve-se ressaltar que o conteúdo fenólico é geralmente afetado por condições genéticas (cultivar) e ambientais (presença de luz e temperatura).

São apresentados na Tabela 4.21 e Figura 4.4 os valores médios para o teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de 24, 48, 72 e 96 h. Observa-se que as amostras com radícula apresentaram valores de fenólicos, na maioria dos casos, maiores que nas amostras sem radícula, indicando que estas contêm um teor de fenólicos superior ao conteúdo presente nos cotilédones.

Dueñas et al. (2009) afirmam que a germinação modifica tanto a composição qualitativa quanto quantitativa de fenólicos das sementes. Os autores observaram em brotos de tremço o aumento de compostos fenólicos no 4º dia de germinação, sendo mais pronunciada no 9º.

Tabela 4.21 - Valores médios do teor de fenólicos dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Fenólicos (mg/100 g b.s.) - Feijão com radícula | | | | | |
|--------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 24 | 947,86 d | 829,95 d | 887,65 d | 922,54 c | 893,70 c |
| 48 | 978,16 c | 905,06 b | 917,60 b | 935,76 c | 944,66 b |
| 72 | 993,66 b | 867,15 c | 906,22 c | 972,54 b | 952,27 b |
| 96 | 1074,66 a | 953,44 a | 1061,50 a | 1091,84 a | 1043,71 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

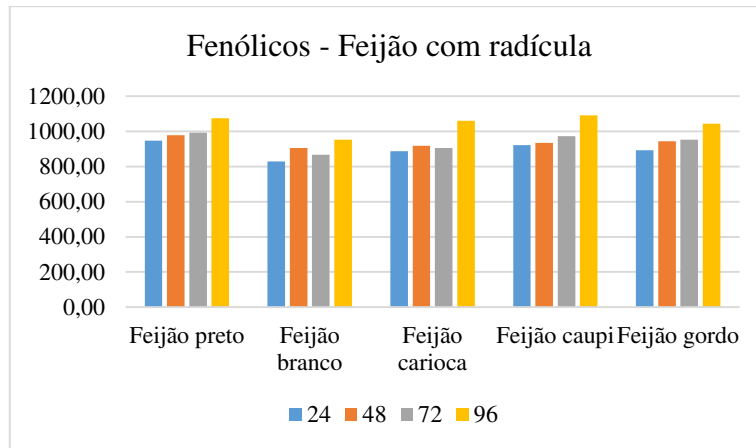


Figura 4.4 - Teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) na cinética de germinação dos feijões, com radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h

Estão apresentados na Tabela 4.22 e na Figura 4.5 os valores do teor de taninos dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de 0, 24, 48, 72 e 96 h. Verifica-se que com o processo germinativo o teor de taninos aumentou, com variações de 10,6% no feijão preto a 12,8% no feijão carioca e 12,9% no caupi.

Sangronis e Machado (2007) reportaram declínio no valor de taninos do feijão branco e feijão preto devido à germinação, com reduções de 36,2 e 19%, respectivamente.

Tabela 4.22 - Valores médios do teor de taninos dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Taninos (mg/100 g b.s.) - Feijão sem radícula | | | | | |
|-----------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 0 | 1065,06 e | 940,01 d | 1005,37 c | 1049,08 d | 1007,43 e |
| 24 | 1116,47 d | 993,47 c | 1060,26 b | 1097,35 c | 1052,47 d |
| 48 | 1145,07 c | 996,73 c | 1061,88 b | 1097,22 c | 1036,85 c |
| 72 | 1161,39 b | 1032,63 b | 1071,53 b | 1119,50 b | 1112,49 b |
| 96 | 1178,91 a | 1053,63 a | 1134,46 a | 1184,38 a | 1126,96 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

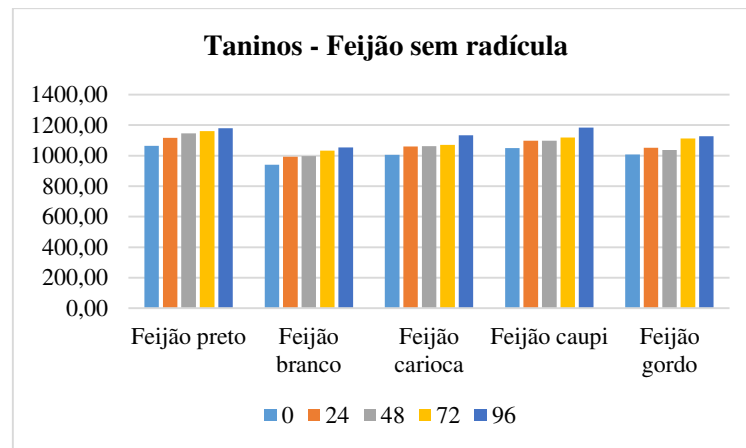


Figura 4.5 - Teor de fenólicos (mg/100 g b.s.) na cinética de germinação dos feijões, sem radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h

Na Tabela 4.23 têm-se os valores médios do teor de açúcares totais dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de 0, 24, 48, 72 e 96 h. Nos feijões preto, carioca e gordo constata-se um aumento nos açúcares às 24 horas de germinação, enquanto nos feijões branco e caupi verifica-se uma discreta redução.

Tabela 4.23 - Valores médios do teor de açúcares totais dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Açúcares totais (% b.s.) - Feijão sem radícula | | | | | |
|------------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 0 | 2,97 b | 3,58 a | 2,57 b | 3,38 a | 3,67 b |
| 24 | 3,89 a | 3,26 b | 3,56 a | 3,23 b | 3,91 a |
| 48 | 1,90 c | 2,21 c | 2,49 c | 3,19 c | 2,30 c |
| 72 | 1,83 d | 2,17 d | 1,70 d | 1,92 e | 2,22 d |
| 96 | 1,27 e | 1,49 e | 1,71 d | 2,01 d | 1,59 e |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Morad e Rubenthaler (1983) explicam que a germinação de grãos e sementes causa aumento na atividade enzimática, perda na matéria seca total, mudança na composição de aminoácidos, diminuição do amido, aumento de açúcares, leve aumento em lipídeos e em certas vitaminas e minerais.

Na Figura 4.6 tem-se o teor de açúcares totais da cinética de germinação dos feijões sem radículas, nos tempos de 0, 24, 48, 72 e 96 h. Observa-se as variações que contrariam

as tendências de redução nos teores com o tempo, notadamente no tempo de 24 horas; no caso dos feijões carioca e caupi, isso também ocorre às 96 horas em relação 72 horas.

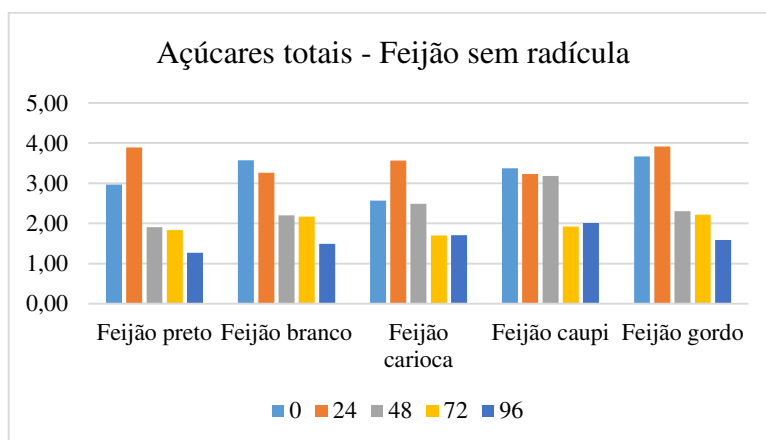


Figura 4.6 - Teor de açúcares totais (% b.s.) na cinética de germinação dos feijões, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

Na Tabela 4.24 e na Figura 4.7 têm-se os valores médios do teor de açúcares totais dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de 24, 48, 72 e 96 h.

Tabela 4.24 - Valores médios do teor de açúcares totais dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Açúcares totais (% b.s.) - Feijão com radícula | | | | | |
|------------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 24 | 3,53 a | 2,62 a | 3,43 a | 2,41 b | 3,99 a |
| 48 | 1,67 c | 1,71 c | 2,12 b | 2,79 a | 1,93 c |
| 72 | 1,76 b | 2,18 b | 1,70 c | 1,87 d | 2,03 b |
| 96 | 1,46 d | 1,42 d | 1,66 c | 1,94 c | 1,59 d |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com exceção do feijão caupi, observa-se a redução dos açúcares totais entre 24 e 48 horas de germinação. Entre 48 e 72 horas constata-se outro aumento, porém mais discreto em três das cinco amostras. No feijão caupi, tem-se o valor mais alto às 48 horas, com pouca variação entre 72 e 96 horas. Aumentos nos teores de açúcares com a germinação são atribuídas a hidrólise do amido (CHAROENTHAIKIJ et al., 2009). Com relação às demais variedades nota-se comportamento não definido, com valores oscilando

entre 2,41% para o feijão ‘caupi’ no tempo de 24 h e 2,79% para o tempo de 48 h. Em sementes de milho (NIRMALA et al., 2000) e de arroz integral (OHTSUBO et al., 2005) o processo germinativo causou o aumento dos açúcares totais.

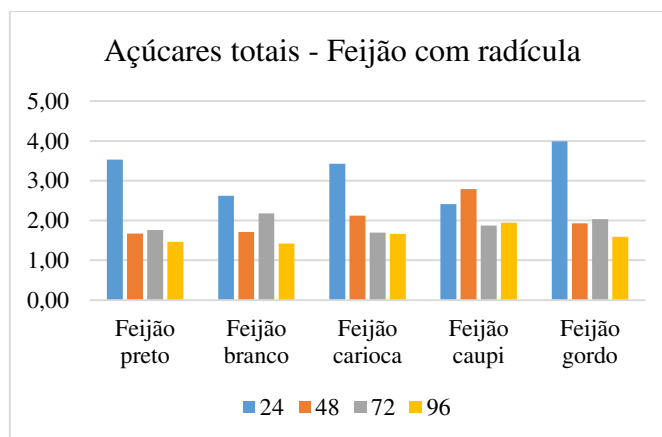


Figura 4.7 - Teor de açúcares totais (% b.s.) na cinética de germinação dos feijões com radículas, nos tempos de germinação de 24, 48, 72 e 96 h

Na Tabela 4.25 e Figura 4.8 têm-se os valores médios do amido dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de 24, 48, 72 e 96 h.

Observa-se aumento em todas as amostras, com variações entre 3 e 6% entre os tempos zero e 96 horas. Tian et al. (2010) verificaram diminuição do teor de amido após a germinação das sementes de aveia, obtendo valores de 59,80% nas sementes *in natura* e de 52,89% nas sementes germinadas (24 h). De acordo com Popinigis (1985), o processo de germinação diminui o teor de amido da semente devido à sua transformação em glicídios, porém esses não se acumulam, mas são utilizados, em grande parte, na respiração, para a produção de energia bem como na síntese de outras moléculas complexas.

Tabela 4.25 - Valores médios do teor de amido dos feijões germinados, sem radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Amido (% b.s.) - Feijão sem radícula | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 0 | 23,23 d | 24,57 d | 22,59 d | 25,25 c | 25,01 e |
| 24 | 25,56 c | 24,59 d | 25,31 c | 25,04 bc | 25,80 d |
| 48 | 26,24 b | 25,23 c | 25,21 c | 25,70 bc | 26,19 c |
| 72 | 26,53 b | 25,87 b | 25,97 b | 26,03 b | 27,04 b |
| 96 | 28,80 a | 28,28 a | 27,88 a | 28,59 a | 29,89 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

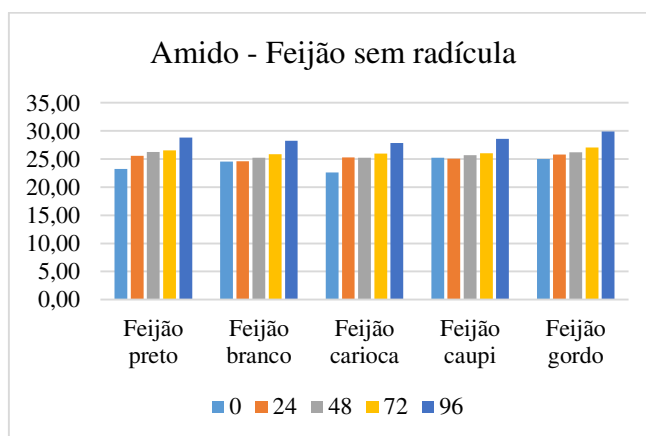


Figura 4.8 - Cinética de germinação dos feijões, sem radículas, em relação ao teor de amido, para os tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

Na Tabela 4.26 e Figura 4.9 têm-se os valores médios do amido dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de 24, 48, 72 e 96 h.

Para os feijões germinados, com radículas, observou-se aumentos significativos com o aumento do tempo de germinação, atingindo teores acima de 40% no tempo de 96 horas, superando os teores observados nos feijões sem radícula.

Tabela 4.26 - Valores médios do teor de amido dos feijões germinados, com radículas, nos tempos de germinação de 0, 24, 48, 72 e 96 h

| Amido (% b.s.) - Feijão com radícula | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Tempo (h) | Feijão preto | Feijão branco | Feijão carioca | Feijão caupi | Feijão gordo |
| 24 | 25,14 c | 24,74 d | 24,68 d | 24,48 d | 25,71 d |
| 48 | 24,32 d | 25,79 c | 26,80 c | 26,03 c | 27,59 c |
| 72 | 28,30 b | 27,46 b | 27,79 b | 28,16 b | 29,45 b |
| 96 | 44,59 a | 46,73 a | 42,51 a | 47,17 a | 44,68 a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Cardoso (2011) explica que durante a germinação o amido, as proteínas e os lipídeos se transformam em moléculas mais simples, sendo transportadas aos centros de crescimento para o desenvolvimento do eixo embrionário.

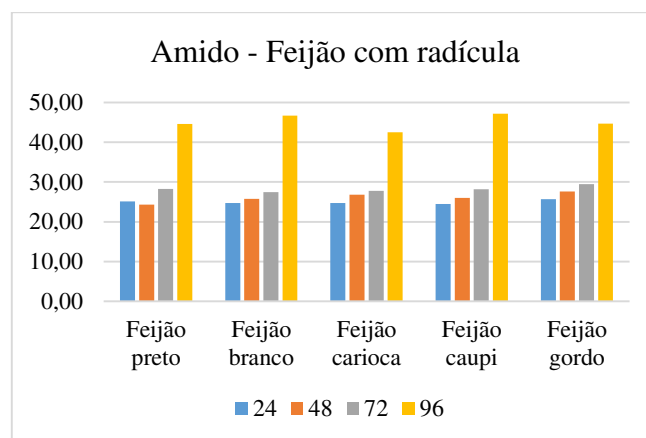


Figura 4.9 - Teor de amido na cinética de germinação dos feijões, com radículas, nos tempos de 24, 48, 72 e 96 h

4.3 - Cinética de secagem dos feijões germinados

Apresenta-se na Tabela 4.27 os valores médios dos teores de água e dos tempos de secagens dos feijões germinados das diferentes variedades (Branco, Carioca, Caupi, Gordo e Preto), desidratados em secador convectivo nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, com velocidade constante de 1,0 m.s⁻¹.

Verificou-se a influência da temperatura nos tempos de secagem dos feijões germinados, sendo inversamente proporcionais, apresentando redução consistente com o

aumento da temperatura do ar. Segundo Furtado et al. (2014) o acréscimo da temperatura do ar de secagem aumenta a transferência de calor do material e, em contrapartida, ocorre diminuição do tempo de desidratação. O feijão Carioca apresentou os maiores tempos de processo em todas as temperaturas, seguido do feijão Branco e Preto.

Tabela 4.27 - Valores médios dos tempos de secagens e teores de água dos feijões germinado desidratado em secador convectivo nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

| Variedade | Temp. (°C) | Tempo de secagem (min) | Teor de água (% b.u.) | Teor de água (% b.s.) |
|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Branco | 60 | 680 | 11,15 | 12,56 |
| | 70 | 560 | 10,76 | 12,05 |
| | 80 | 440 | 9,67 | 10,71 |
| Carioca | 60 | 740 | 8,67 | 9,50 |
| | 70 | 680 | 8,62 | 9,44 |
| | 80 | 620 | 7,64 | 8,27 |
| Caupi | 60 | 620 | 11,99 | 13,62 |
| | 70 | 500 | 10,59 | 11,84 |
| | 80 | 440 | 8,56 | 9,36 |
| Gordo | 60 | 620 | 12,51 | 14,29 |
| | 70 | 500 | 10,68 | 11,96 |
| | 80 | 440 | 8,62 | 9,44 |
| Preto | 60 | 620 | 9,26 | 10,20 |
| | 70 | 560 | 7,18 | 7,74 |
| | 80 | 500 | 7,07 | 7,61 |

O aumento da temperatura de secagem também provocou a redução no teor de água de equilíbrio dos feijões, o que já era esperado, visto que a incidência de maior temperatura provoca uma maior desidratação. Destacando-se o feijão Carioca com o menor teor de água na temperatura de 60 °C e o Preto nas temperaturas de 70 e 80 °C, seguido das variedades Branco e Caupi com valores próximos, e o feijão Gordo com os maiores teores de água de equilíbrio. A temperatura mais elevada produz uma maior força motriz para a transferência de calor e massa, assim há um aumento da pressão de vapor na amostra, acelerando a remoção de água do seu interior para a superfície, o que, por consequência,

reduz os tempos de secagem e o teor de água de equilíbrio (ARAL e BEŞE, 2016). A redução do teor de água com o acréscimo da temperatura de desidratação foi observada na secagem de inúmeras variedades de grãos, como para o feijão da cultivar IPR Tangará (QUEQUETO et al., 2017); feijão carioca, cultivar BRS Estilo e Canadense (MELO et al., 2016); e feijão adzuki (*Vigna angularis*) (RESENDE et al., 2010).

4.3.1 - Feijão Preto

Tem-se na Tabela 4.28 os parâmetros dos modelos matemáticos de Aproximação da difusão, Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Logístico, Newton, Page, Thompson e Verna, ajustados aos dados da cinética de secagem do feijão Preto germinado desidratado a 60, 70 e 80 °C, os coeficientes de determinação (R^2), os desvios quadráticos médios (DQM) e o qui-quadrado (χ^2).

Observou-se que todos os modelos aplicados resultaram em bons ajustes, com coeficientes de determinação superiores a 0,97, desvios quadráticos médios inferiores a 0,040 e qui-quadrado inferior a 0,002, destacando-se de modo geral o modelo Aproximação da Difusão com os maiores R^2 ($> 0,996$), menores DQM ($< 0,016$) e menores χ^2 ($< 0,0004$). Vários autores reportaram o modelo Aproximação da Difusão como um dos melhores para a descrição da secagem de grãos: Corrêa et al. (2007) verificaram excelentes resultados com o modelo Aproximação da Difusão ao ajustarem diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais da secagem do feijão vermelho (*Phaseolus vulgaris* L.) nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C; Camicia et al. (2015) recomendaram na estimativa das cinéticas de secagem do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C; Silva et al. (2018) na descrição das cinéticas de secagem das sementes de melão amarelo (*Cucumis melo* L.) nas temperaturas de 35, 40, 45, e 50 °C.

Tabela 4.28 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Preto germinado

| T (°C) | Aproximação da difusão | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
|--------|------------------------------|--------|--------|--------|----------------|----------|----------|----------|----------------|
| | a | b | k | | | | | | |
| 60 | -6,6068 | 0,9089 | 0,0285 | 0,9980 | 0,0158 | 0,0003 | | | |
| 70 | -0,9938 | 0,8001 | 0,0299 | 0,9987 | 0,0119 | 0,0002 | | | |
| 80 | -15,277 | 0,9692 | 0,0553 | 0,9975 | 0,0152 | 0,0003 | | | |
| T (°C) | Dois termos | | | | R^2 | DQM | χ^2 | | |
| | a | b | k | q | | | | | |
| 60 | 0,5297 | 0,5296 | 0,0162 | 0,1620 | 0,9929 | 0,0301 | 0,0010 | | |
| 70 | 0,5028 | 0,5028 | 0,0197 | 0,0197 | 0,9980 | 0,0146 | 0,0002 | | |
| 80 | 0,5072 | 0,5072 | 0,0354 | 0,0354 | 0,9950 | 0,0214 | 0,0005 | | |
| T (°C) | Exponencial de dois termos | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 0,0062 | 2,3580 | 0,9868 | 0,0380 | 0,0016 | | | | |
| 70 | 0,0043 | 4,5431 | 0,9979 | 0,0150 | 0,0002 | | | | |
| 80 | 0,0036 | 9,5156 | 0,9948 | 0,0220 | 0,0005 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 1,0593 | 0,0162 | 0,9929 | 0,0301 | 0,0010 | | | | |
| 70 | 1,0056 | 0,0197 | 0,9980 | 0,0146 | 0,0002 | | | | |
| 80 | 1,0144 | 0,0354 | 0,9950 | 0,0214 | 0,0005 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis modificado | | | | | R^2 | DQM | χ^2 | |
| | a | b | c | k | k ₀ | | | | k ₁ |
| 60 | 0,3530 | 0,3530 | 0,3530 | 0,0162 | 0,0162 | 0,0162 | 0,9929 | 0,0301 | 0,0010 |
| 70 | 0,3352 | 0,3352 | 0,3352 | 0,0167 | 0,0197 | 0,0197 | 0,9980 | 0,0146 | 0,0002 |
| 80 | 0,3381 | 0,3381 | 0,3381 | 0,0354 | 0,0354 | 0,0354 | 0,9950 | 0,0214 | 0,0005 |
| T (°C) | Logarítmico | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a | c | k | | | | | | |
| 60 | 1,0742 | 0,0210 | 0,0154 | 0,9941 | 0,0274 | 0,0008 | | | |
| 70 | 1,0099 | 0,0067 | 0,0193 | 0,9982 | 0,0141 | 0,0002 | | | |
| 80 | 1,0186 | 0,0061 | 0,0348 | 0,9952 | 0,0210 | 0,0005 | | | |
| T (°C) | Logistic | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a ₀ | a | k | | | | | | |
| 60 | 0,1594 | 0,1505 | 0,0162 | 0,9929 | 0,0301 | 0,0010 | | | |
| 70 | 0,0779 | 0,0774 | 0,0197 | 0,9980 | 0,0146 | 0,0002 | | | |
| 80 | 0,1337 | 0,1312 | 0,0354 | 0,9950 | 0,0214 | 0,0005 | | | |
| T (°C) | Newton | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | k | | | | | | | | |
| 60 | 0,0150 | | 0,9895 | 0,0331 | 0,0014 | | | | |
| 70 | 0,0195 | | 0,9980 | 0,0148 | 0,0002 | | | | |
| 80 | 0,0348 | | 0,9948 | 0,0218 | 0,0005 | | | | |
| T (°C) | Page | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | k | n | | | | | | | |

| 60 | 0,0054 | | 1,2458 | 0,9981 | 0,0158 | 0,0003 |
|-----------------|----------|--------|----------------|--------|----------|--------|
| 70 | 0,0161 | | 1,1495 | 0,9984 | 0,0130 | 0,0002 |
| 80 | 0,0228 | | 1,1259 | 0,9970 | 0,0167 | 0,0003 |
| Thompson | | | | | | |
| T (°C) | | | R ² | DQM | χ^2 | |
| | a | b | | | | |
| 60 | -532,653 | | 1,6015 | 0,9895 | 0,0366 | 0,0014 |
| 70 | -841,450 | | 1,7830 | 0,9980 | 0,0148 | 0,0002 |
| 80 | -681,054 | | 1,8445 | 0,9948 | 0,0218 | 0,0005 |
| Verna | | | | | | |
| T (°C) | | | R ² | DQM | χ^2 | |
| | a | k | | | | |
| 60 | -1,1487 | 0,0223 | 0,0340 | 0,9979 | 0,0166 | 0,0003 |
| 70 | -5,8636 | 0,0262 | 0,0276 | 0,9987 | 0,0118 | 0,0002 |
| 80 | 0,0904 | 0,0348 | 0,0348 | 0,9948 | 0,0218 | 0,0005 |

O parâmetro k que corresponde a constante de secagem aumentou com o acréscimo da temperatura em todos os modelos avaliados. Este fato era esperado uma vez que quanto maior a temperatura maior a taxa de secagem, atingindo o teor de água de equilíbrio mais rápido (CORRÊA et al., 2017). Comportamento semelhante foi reportado na secagem convectiva de grãos de amendoim nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C (GONELI et al., 2014). A constante k pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente (MADAMBA et al., 1996).

Já a constante n do modelo de Page que corresponde a resistência interna do material à secagem (PEREZ et al., 2013), reduziu com o incremento da temperatura no processo. Com a elevação da temperatura do ar de secagem o valor de n tende a reduzir, uma vez que há uma maior diferença entre a pressão do vapor do ar e do produto, promovendo maior remoção de água (RESENDE et al., 2010).

Na Figura 4.10 estão dispostas as curvas das cinéticas de secagem do feijão Preto germinado com ajustes pelo modelo Aproximação da Difusão, selecionado para representar as curvas devido ao melhor conjunto de valores de R², DQM e χ^2 . Verificou-se que os dados experimentais ficaram muito próximos das curvas preditas pelo modelo, fato que confirma os elevados valores de R² e baixos valores de DQM e χ^2 . As curvas foram influenciadas pela temperatura, com redução consistente no tempo de secagem com o aumento da temperatura do ar. Com tempos de secagem de 620 min para 60 °C, 560 min em 70 °C e 500 min na temperatura de 80 °C

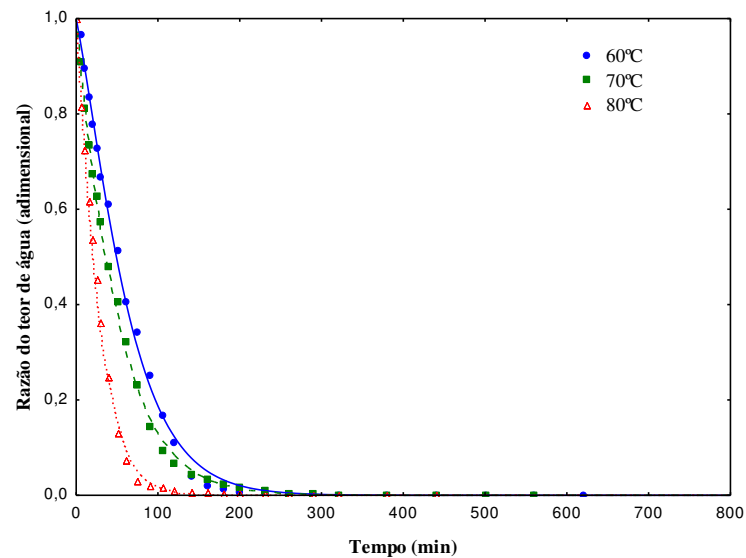


Figura 4.10 - Curvas de cinética de secagem do feijão Preto germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo Aproximação da Difusão

4.3.2 - Feijão Branco

Observa-se na Tabela 4.29 os parâmetros dos modelos matemáticos de Aproximação da difusão, Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Logistic, Newton, Page, Thompson e Verna ajustados aos dados das cinéticas de secagem, a 60, 70 e 80 °C, do feijão Branco germinado, os coeficientes de determinação, os desvios quadráticos médios e os qui-quadrados.

Tabela 4.29 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Branco germinado

| T (°C) | Aproximação da difusão | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
|-----------|------------------------------|--------|--------|--------|----------------|----------|----------|----------|----------------|
| | a | b | k | | | | | | |
| 60 | -0,0620 | 0,0454 | 0,4908 | 0,9990 | 0,0104 | 0,0001 | | | |
| 70 | 0,0878 | 0,3419 | 0,0681 | 0,9963 | 0,0189 | 0,0004 | | | |
| 80 | 0,0768 | 0,0349 | 0,0712 | 0,9978 | 0,0148 | 0,0002 | | | |
| T (°C) | Dois termos | | | | R^2 | DQM | χ^2 | | |
| | a | b | k | q | | | | | |
| 60 | 0,5178 | 0,5178 | 0,0212 | 0,0217 | 0,9983 | 0,0134 | 0,0002 | | |
| 70 | 0,9042 | 0,1216 | 0,0833 | 0,0233 | 0,9967 | 0,0180 | 0,0004 | | |
| 80 | 0,1028 | 0,9141 | 0,0251 | 0,0832 | 0,9979 | 0,0142 | 0,0002 | | |
| T (°C) | Exponencial de dois termos | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 0,0085 | 2,3812 | 0,9966 | 0,0190 | 0,0004 | | | | |
| 70 | 0,0124 | 1,9697 | 0,9958 | 0,0201 | 0,0004 | | | | |
| 80 | 0,0154 | 1,7225 | 0,9974 | 0,0159 | 0,0003 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 1,0357 | 0,0217 | 0,9983 | 0,0134 | 0,0002 | | | | |
| 70 | 1,0035 | 0,0253 | 0,9967 | 0,0196 | 0,0004 | | | | |
| 80 | 1,0003 | 0,0271 | 0,9976 | 0,0155 | 0,0003 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis modificado | | | | | R^2 | DQM | χ^2 | |
| | a | b | c | k | k ₀ | | | | k ₁ |
| 60 | 0,3452 | 0,3452 | 0,3452 | 0,0217 | 0,0217 | 0,0217 | 0,9983 | 0,0134 | 0,0002 |
| 70 | 0,0489 | 0,4154 | 0,1216 | 0,0230 | 0,0231 | 0,0833 | 0,9960 | 0,0180 | 0,0004 |
| 80 | 0,3335 | 0,3335 | 0,3335 | 0,0289 | 0,0295 | 0,0227 | 0,9975 | 0,0154 | 0,0003 |
| T (°C) | Logarítmico | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a | c | k | | | | | | |
| 60 | 1,0360 | 0,0005 | 0,0216 | 0,9983 | 0,0134 | 0,0002 | | | |
| 70 | 1,0010 | 0,0045 | 0,0256 | 0,9961 | 0,0194 | 0,0004 | | | |
| 80 | 0,9982 | 0,0037 | 0,0274 | 0,9976 | 0,0154 | 0,0003 | | | |
| T (°C) | Logistic | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a ₀ | a | k | | | | | | |
| 60 | 0,0976 | 0,0943 | 0,0217 | 0,9983 | 0,0134 | 0,0002 | | | |
| 70 | 0,0600 | 0,0598 | 0,0253 | 0,9960 | 0,0196 | 0,0004 | | | |
| 80 | 0,0880 | 0,0880 | 0,0271 | 0,9975 | 0,0155 | 0,0003 | | | |
| T (°C) | Newton | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | k | | | | | | | | |
| 60 | 0,0207 | | 0,9972 | 0,0172 | 0,0003 | | | | |
| 70 | 0,0252 | | 0,9960 | 0,0197 | 0,0004 | | | | |
| 80 | 0,0270 | | 0,9975 | 0,0155 | 0,0003 | | | | |
| T (°C) | Page | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | k | n | | | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|-----------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 60 | 0,0015 | 1,0808 | 0,9983 | 0,0135 | 0,0002 | |
| 70 | 0,0280 | 0,9729 | 0,9962 | 0,0192 | 0,0004 | |
| 80 | 0,0298 | 0,9707 | 0,9977 | 0,0151 | 0,0002 | |
| T | Thompson | | R² | DQM | χ^2 | |
| (°C) | a | b | | | | |
| 60 | -165,2780 | 1,2642 | 0,9972 | 0,0174 | 0,0003 | |
| 70 | -23,0787 | 0,4640 | 0,9962 | 0,0191 | 0,0004 | |
| 80 | -26,0457 | 0,5334 | 0,9977 | 0,0150 | 0,0002 | |
| T | Verna | | | R² | DQM | χ^2 |
| (°C) | a | k | k₁ | | | |
| 60 | -0,0601 | 0,0224 | 4,4592 | 0,9990 | 0,0102 | 0,0001 |
| 70 | -0,2494 | 0,0252 | 0,0252 | 0,9960 | 0,0197 | 0,0004 |
| 80 | -0,2244 | 0,0270 | 0,0276 | 0,9975 | 0,0155 | 0,0003 |

Verificou-se que todos os modelos aplicados resultaram em bons ajustes, com coeficientes de determinação superiores a 0,994, desvios quadráticos médios inferiores a 0,02 e qui-quadrado inferior a 0,0005, destacando-se o modelo de Verna na temperatura de 60 °C e o de Dois Termos nas temperaturas de 70 e 80 °C apresentando os maiores R^2 ($> 0,995$), menores DQM ($< 0,02$) e menores χ^2 ($< 0,0005$). Ficando evidenciada uma representação satisfatória do processo de secagem (CHAYJAN e SHADIDI, 2014). Quequeto et al. (2017) ao secarem grãos de feijão da cultivar IPR Tangará nas temperaturas de 40, 45, 50, 55 e 60 °C em secador convectivo obtiveram excelentes resultados para o modelo de Dois Termos; Leite et al. (2019) ao ajustarem diferentes modelos matemáticos aos dados da secagem de sementes germinadas da jaca em secador convectivo nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C, com velocidades do ar de 1,0 e 1,3 ms^{-1} , verificaram que o modelo de Dois Termos obteve os melhores ajustes aos dados experimentais.

A constante de secagem k dos modelos testados também apresentou tendência crescente com o aumento da temperatura, com exceção dos modelos Aproximação da Difusão, Dois Termos e Exponencial de dois termos que não apresentaram comportamento definido. Esse parâmetro está relacionado com a difusividade efetiva da água no interior do produto, consequência de maiores taxas de secagem com o acréscimo de temperatura conduzindo ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de exposição do produto ao ar de secagem (ARAÚJO et al., 2017). O aumento da constante k com o acréscimo da temperatura de secagem também foi reportado por Araujo et al. (2017) ao ajustarem modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem de amendoim em camada delgada, submetidos a diferentes temperaturas do ar (40, 50, 60 e 70 °C).

Constatou-se que houve redução do parâmetro n do modelo de Page com o aumento da temperatura de secagem, consequentemente redução na resistência da transferência de água do produto. A constante n do modelo de Page corresponde ao efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (PEREZ et al., 2013). Reis et al. (2015) ao desidratarem pimenta bico em secador convectivo em diferentes condições de temperatura (40, 50 e 60 °C) e velocidade do ar de secagem (1,0; 1,5 e 2,0 m/s), verificaram também a redução do parâmetro n com o acréscimo de temperatura.

Na Figura 4.11 estão dispostas as curvas das cinéticas de secagem do feijão germinado Branco com ajustes pelo modelo Dois Termos, escolhido para representar as curvas devido ao melhor conjunto de valores dos R^2 , DQM e χ^2 . Verificou-se que os dados experimentais ficaram muito próximos das curvas previstas pelo modelo de Dois Termos, fato que confirma os elevados valores de R^2 e baixos valores de DQM e χ^2 . As curvas foram influenciadas pela temperatura, com redução consistente no tempo de secagem com o aumento da temperatura do ar.

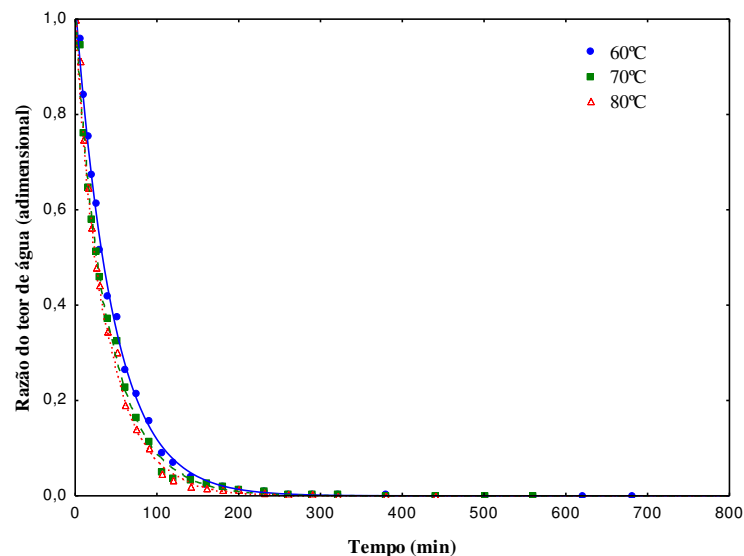


Figura 4.11 - Curvas de cinética de secagem do feijão Branco germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo de Dois Termos

4.3.3 - Feijão Carioca

Apresenta-se na Tabela 4.30 os parâmetros dos modelos matemáticos de Aproximação da difusão, Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Logistic, Newton, Page, Thompson e Verna

ajustados aos dados da cinética de secagem do feijão Carioca germinado desidratado a 60, 70 e 80 °C, os coeficientes de determinação, os desvios quadráticos médios e o qui-quadrado.

Tabela 4.30 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Carioca germinado

| T (°C) | Aproximação da difusão | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
|-----------|------------------------------|---------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|
| | a | b | k | | | | | | |
| 60 | -0,0519 | 0,0379 | 0,4701 | 0,9966 | 0,0194 | 0,0004 | | | |
| 70 | -9,2084 | 0,9382 | 0,0338 | 0,9993 | 0,0093 | 0,0001 | | | |
| 80 | -5,8656 | 0,9011 | 0,0445 | 0,9989 | 0,0111 | 0,0001 | | | |
| T (°C) | Dois termos | | | | R^2 | DQM | χ^2 | | |
| | a | b | k | q | | | | | |
| 60 | 0,9231 | 0,1152 | 0,0092 | 0,0191 | 0,9964 | 0,0203 | 0,0004 | | |
| 70 | 0,5235 | 0,5233 | 0,0200 | 0,0200 | 0,9954 | 0,0231 | 0,0006 | | |
| 80 | 0,5252 | 0,5267 | 0,0251 | 0,0251 | 0,9939 | 0,0257 | 0,0007 | | |
| T (°C) | Exponencial de dois termos | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 0,0046 | 3,5617 | 0,9949 | 0,0241 | 0,0006 | | | | |
| 70 | 0,0052 | 3,5704 | 0,9929 | 0,0286 | 0,0009 | | | | |
| 80 | 0,0069 | 3,3701 | 0,9911 | 0,0311 | 0,0010 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 1,0320 | 0,0174 | 0,9962 | 0,0208 | 0,0005 | | | | |
| 70 | 1,0468 | 0,0200 | 0,9954 | 0,0231 | 0,0006 | | | | |
| 80 | 1,0510 | 0,0209 | 0,9939 | 0,0257 | 0,0007 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis modificado | | | | | | R^2 | DQM | χ^2 |
| | a | b | c | k | k_0 | k_1 | | | |
| 60 | 0,4792 | 0,0854 | 0,4742 | 0,0190 | 0,0076 | 0,0190 | 0,9968 | 0,0202 | 0,0004 |
| 70 | 0,3489 | 0,3489 | 0,3490 | 0,0200 | 0,0200 | 0,0200 | 0,9964 | 0,0231 | 0,0006 |
| 80 | 0,3503 | 0,3503 | 0,3503 | 0,0250 | 0,0251 | 0,0251 | 0,9939 | 0,0257 | 0,0007 |
| T (°C) | Logarítmico | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a | c | k | | | | | | |
| 60 | 1,0292 | 0,0048 | 0,0177 | 0,9962 | 0,0206 | 0,0005 | | | |
| 70 | 1,0558 | -0,0130 | 0,0194 | 0,9960 | 0,0215 | 0,0005 | | | |
| 80 | 1,0593 | -0,0120 | 0,0243 | 0,9946 | 0,0243 | 0,0006 | | | |
| T (°C) | Logistic | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a_0 | a | k | | | | | | |
| 60 | 0,1132 | 0,1097 | 0,0174 | 0,9962 | 0,0208 | 0,0005 | | | |
| 70 | 0,1209 | 0,1155 | 0,0200 | 0,9954 | 0,0231 | 0,0006 | | | |
| 80 | 0,1574 | 0,1497 | 0,0251 | 0,9939 | 0,0257 | 0,0007 | | | |
| T | Newton | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |

| (°C) | k | | | | | |
|------------------|-----------------|----------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|
| 60 | 0,0167 | | | 0,9952 | 0,0232 | 0,0006 |
| 70 | 0,0189 | | | 0,9934 | 0,0275 | 0,0008 |
| 80 | 0,0237 | | | 0,9918 | 0,0299 | 0,0010 |
| T (°C) | Page | | | R² | DQM | χ² |
| | k | n | | | | |
| 60 | 0,0133 | 1,0570 | | 0,9958 | 0,0219 | 0,0005 |
| 70 | 0,0085 | 1,2021 | | 0,9991 | 0,0101 | 0,0001 |
| 80 | 0,0098 | 1,2356 | | 0,9988 | 0,0114 | 0,0001 |
| T (°C) | Thompson | | | R² | DQM | χ² |
| | a | b | | | | |
| 60 | -127,217 | 1,0324 | | 0,9952 | 0,0233 | 0,0006 |
| 70 | -610,543 | 1,7048 | | 0,9934 | 0,0275 | 0,0008 |
| 80 | -349,495 | 1,6192 | | 0,9917 | 0,0300 | 0,0010 |
| T (°C) | Verna | | | R² | DQM | χ² |
| | a | k | k₁ | | | |
| 60 | -0,0494 | 0,0178 | 0,0252 | 0,9967 | 0,0194 | 0,0004 |
| 70 | 0,2367 | 0,0189 | 0,0189 | 0,9934 | 0,0275 | 0,0008 |
| 80 | -2,5991 | 0,0382 | 0,0474 | 0,9989 | 0,0112 | 0,0001 |

Dentre os modelos matemáticos testados observou-se que todos apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação superiores a 0,990, desvios quadráticos médios inferiores a 0,04 e qui-quadrado inferior a 0,002. O modelo de Verna na temperatura de 60 °C e o da Aproximação da difusão nas temperaturas de 70 e 80 °C destacaram-se dentre os demais, nestas temperaturas, apresentando os maiores R² (>0,995), menores DQM (< 0,02) e menores χ² (<0,0005). Melo et al. (2016) ao secarem feijão carioca, cultivar BRS Estilo e Canadense, em estufa com circulação nas temperaturas de 35, 55 e 65 °C verificaram que o modelo Aproximação da Difusão dentre os testados também apresentou os melhores ajustes.

Na maioria dos modelos ajustados às cinéticas de secagem do feijão Carioca germinado verificou-se também aumento do parâmetro k com o acréscimo da temperatura de secagem, exceto para os modelos Aproximação da difusão, exponencial dois termos e Page que não apresentaram comportamento definido. O parâmetro k representa a constante de secagem e o efeito das condições externas do processo, o qual tende a aumentar com a elevação da temperatura do ar de secagem e que inferi a relação entre coeficiente de difusividade efetivo e o processo de difusão (GONELI et al., 2010).

Constatou-se que houve o aumento do parâmetro n do modelo de Page com o acréscimo da temperatura de secagem do feijão Carioca germinado. O parâmetro n do modelo de Page está relacionado à resistência interna do material à secagem (PEREZ et al.,

2013). Santos et al. (2013) verificaram na secagem de farinha de grãos residuais de urucum que o parâmetro n aumentou com o acréscimo da temperatura, corroborando com os dados em estudo.

Estão dispostas na Figura 4.12 as curvas das cinéticas de secagem do feijão Carioca germinado com ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão, que de acordo com o conjunto de dados avaliados (R^2 , DQM e χ^2) foi o que melhor representa as curvas de secagem. Observa-se que os tempos de secagem foram de 740, 680 e 620 min nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C respectivamente, com teores de água finais de 8,67% b.u. na temperatura de 60 °C, 8,62% b.u. a 70 °C e 7,64% b.u. a 80 °C.

Constata-se no início das secagens que a razão do teor de água diminui rapidamente com o tempo e as diferenças entre as temperaturas são mínimas, com o passar do tempo observa-se que para um tempo fixo há influência da temperatura com a razão do teor de água diminuindo com o aumento da temperatura, resultando em tempos menores de secagem.

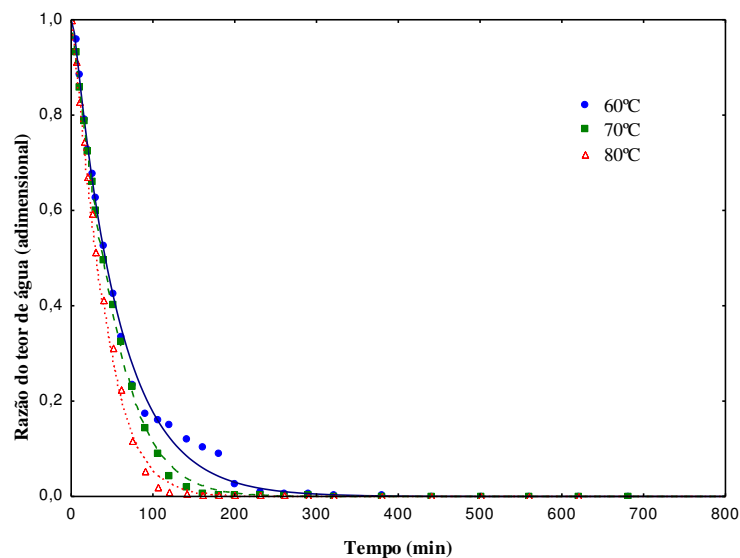


Figura 4.12 - Cinéticas de secagem, nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, do feijão Carioca germinado com ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão

4.3.4 - Feijão Caupi

Observa-se na Tabela 4.31 os parâmetros dos modelos matemáticos de Aproximação da difusão, Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Logistic, Newton, Page, Thompson e Verna ajustados aos dados de cinética de secagem do feijão Caupi germinado desidratado a 60, 70

e 80 °C, os coeficientes de determinação, os desvios quadráticos médios e os qui-quadrados.

Tabela 4.31 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Caupi germinado

| T (°C) | Aproximação da difusão | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
|-----------|------------------------------|---------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | a | b | k | | | | | | |
| 60 | 0,0613 | 0,3581 | 0,0740 | 0,9992 | 0,0088 | 0,0001 | | | |
| 70 | -0,7240 | 0,5389 | 0,0929 | 0,9978 | 0,0143 | 0,0002 | | | |
| 80 | -1,0774 | 0,6629 | 0,0800 | 0,9968 | 0,0172 | 0,0003 | | | |
| T (°C) | Dois termos | | | | R^2 | DQM | χ^2 | | |
| | a | b | k | q | | | | | |
| 60 | 0,9074 | 0,0960 | 0,0633 | 0,0261 | 0,9992 | 0,0087 | 0,0001 | | |
| 70 | 0,5224 | 0,5224 | 0,0369 | 0,0369 | 0,9937 | 0,0243 | 0,0006 | | |
| 80 | 0,5173 | 0,5173 | 0,0381 | 0,0381 | 0,9936 | 0,0244 | 0,0006 | | |
| T (°C) | Exponencial de dois termos | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 0,0111 | 2,4643 | 0,9991 | 0,0092 | 0,0001 | | | | |
| 70 | 0,0051 | 6,6693 | 0,9916 | 0,0280 | 0,0009 | | | | |
| 80 | 0,0107 | 3,3160 | 0,9919 | 0,0275 | 0,0008 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis | | R^2 | DQM | χ^2 | | | | |
| | a | k | | | | | | | |
| 60 | 0,9947 | 0,0277 | 0,9990 | 0,0093 | 0,0001 | | | | |
| 70 | 1,0448 | 0,0369 | 0,9937 | 0,0243 | 0,0006 | | | | |
| 80 | 1,0347 | 0,0381 | 0,9936 | 0,0244 | 0,0006 | | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis modificado | | | | | R^2 | DQM | χ^2 | |
| | a | b | c | k | k_0 | | | | k_1 |
| 60 | 0,4522 | 0,4552 | 0,0959 | 0,0261 | 0,0261 | 0,0633 | 0,9992 | 0,0087 | 0,0001 |
| 70 | 0,3482 | 0,3482 | 0,3482 | 0,0398 | 0,0369 | 0,0369 | 0,9937 | 0,0243 | 0,0006 |
| 80 | 0,3449 | 0,3449 | 0,3449 | 0,0381 | 0,0381 | 0,0381 | 0,9936 | 0,0244 | 0,0006 |
| T (°C) | Logarítmico | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a | c | k | | | | | | |
| 60 | 0,9936 | 0,0018 | 0,0279 | 0,9991 | 0,0092 | 0,0001 | | | |
| 70 | 1,0472 | -0,0034 | 0,0366 | 0,9938 | 0,0241 | 0,0006 | | | |
| 80 | 1,0376 | -0,0043 | 0,0376 | 0,9937 | 0,0242 | 0,0006 | | | |
| T (°C) | Logistic | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a_0 | a | k | | | | | | |
| 60 | 0,0493 | 0,0496 | 0,0277 | 0,9990 | 0,0093 | 0,0001 | | | |
| 70 | 0,1763 | 0,1687 | 0,0369 | 0,9937 | 0,0243 | 0,0006 | | | |
| 80 | 0,1654 | 0,1598 | 0,0381 | 0,9936 | 0,0244 | 0,0006 | | | |
| T (°C) | Newton | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | k | | | | | | | | |

| Page | | | | | | |
|----------|----------|--------|----------------|----------------|----------|----------|
| T (°C) | k | n | R ² | DQM | χ^2 | |
| 60 | 0,0279 | | 0,9990 | 0,0094 | 0,0001 | |
| 70 | 0,0351 | | 0,9921 | 0,0272 | 0,0008 | |
| 80 | 0,0366 | | 0,9926 | 0,0262 | 0,0007 | |
| Thompson | | | | | | |
| T (°C) | a | b | R ² | DQM | χ^2 | |
| 60 | -29,9413 | 0,6020 | 0,9991 | 0,0089 | 0,0001 | |
| 70 | -28,3343 | 1,6656 | 0,9921 | 0,0272 | 0,0008 | |
| 80 | -22,0715 | 1,6039 | 0,9926 | 0,0263 | 0,0008 | |
| Verna | | | | | | |
| T (°C) | a | k | k ₁ | R ² | DQM | χ^2 |
| 60 | 0,2346 | 0,0280 | 0,0280 | 0,9990 | 0,0094 | 0,0001 |
| 70 | 0,0606 | 0,0351 | 0,0351 | 0,9921 | 0,0272 | 0,0008 |
| 80 | 1,0808 | 0,0799 | 0,0531 | 0,9968 | 0,0172 | 0,0003 |

De modo geral verificou-se que o modelo de Aproximação da difusão foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem do feijão Caupi germinado, apresentando os maiores coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,995, desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,018 e qui quadrado (χ^2) inferiores a 0,0004. Os demais modelos aplicados também apresentaram bons ajustes aos dados experimentais da secagem, com $R^2 > 0,990$; $DQM < 0,029$ e $\chi^2 < 0,001$, indicando que podem ser utilizados na predição da cinética de secagem do feijão Caupi germinado. Moscon et al. (2017) secaram grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e ajustaram modelos matemáticos aos dados experimentais, obtendo os melhores resultados para o modelo de Page; GOUVEIA et al. (2011) ao estudarem a cinética de secagem do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) em secador de bandejas a diferentes temperaturas 40, 50, 60, 70 e 80 °C verificaram que o modelo de Page foi o que melhor representou as curvas de secagem.

A constante de secagem k reduziu com o aumento da temperatura para os modelos Henderson e Pabis, Logarítmico, Logistic e Verna. O parâmetro k tende a aumentar com o aquecimento, uma vez que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de exposição do produto (CORRÊA et al., 2011). Nascimento et al. (2015), ao estudarem a secagem convectiva de vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* SW) nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C,

evidenciaram também aumento do parâmetro k com o aumento da temperatura para o modelo de Henderson e Pabis.

O parâmetro n do modelo de Page está relacionado com as condições de secagem durante o processo (Perez et al., 2013). O parâmetro n apresentou redução entre as temperaturas de 70 e 80 °C.

Tem-se na Figura 4.13 as curvas das cinéticas de secagem do feijão Caupi germinado ajustadas pelo modelo de Aproximação da difusão, que de acordo com os parâmetros R^2 , DQM e χ^2 avaliados foi o que melhor representou as curvas de secagem. Observa-se que os dados experimentais estão próximos das curvas estabelecidas, com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorreu maior taxa de remoção de água do produto, conseqüentemente com redução do tempo de secagem. Este comportamento corrobora com diversos pesquisadores para vários produtos agrícolas: Coradi et al. (2015) para grãos de milho; e Melo et al. (2016) para grãos de feijão-carioca.

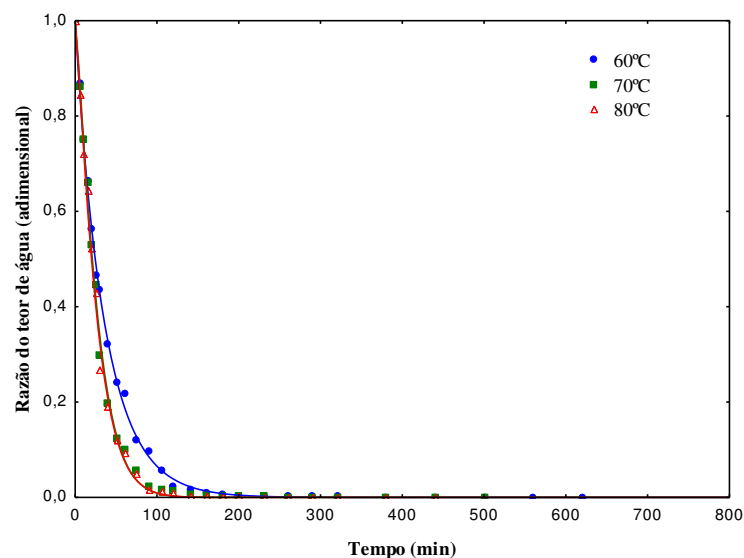


Figura 4.13 - Curvas de cinética de secagem do feijão Caupi germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo de Page

4.3.5 - Feijão Gordo

Na Tabela 4.32 tem-se os parâmetros dos modelos matemáticos de Aproximação da difusão, Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Logarítmico, Logistic, Newton, Page, Thompson e Verna ajustados aos dados de secagem do feijão Gordo germinado desidratado a 60, 70 e 80 °C, os coeficientes de determinação, os desvios quadráticos médios e os qui-quadrados.

Tabela 4.32 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado (χ^2) dos modelos ajustados às curvas de cinética de secagem do feijão Gordo germinado

| T (°C) | Aproximação da difusão | | | | | R^2 | DQM | χ^2 | |
|-----------|------------------------------|---------|--------|--------|----------------|----------------|----------|----------|----------|
| | a | b | k | | | | | | |
| 60 | -5,8639 | 0,9021 | 0,0318 | | 0,9986 | 0,0132 | 0,0002 | | |
| 70 | -1,7978 | 0,7844 | 0,0365 | | 0,9990 | 0,0107 | 0,0001 | | |
| 80 | -1,3937 | 0,7423 | 0,0398 | | 0,9998 | 0,0054 | 0,0001 | | |
| T (°C) | Dois termos | | | | R^2 | DQM | χ^2 | | |
| | a | b | k | q | | | | | |
| 60 | 0,5256 | 0,5256 | 0,0181 | 0,0181 | 0,9937 | 0,0276 | 0,0008 | | |
| 70 | 0,5199 | 0,5199 | 0,0205 | 0,0205 | 0,9966 | 0,0200 | 0,0004 | | |
| 80 | 0,5991 | 0,5991 | 0,0245 | 0,0245 | 0,9894 | 0,0401 | 0,0018 | | |
| T (°C) | Exponencial de dois termos | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | A | k | | | | | | | |
| 60 | 0,0035 | 4,7367 | | 0,9908 | 0,0334 | 0,0012 | | | |
| 70 | 0,0075 | 2,5184 | | 0,9944 | 0,0256 | 0,0007 | | | |
| 80 | 0,0051 | 3,7953 | | 0,9597 | 0,0780 | 0,0066 | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | A | k | | | | | | | |
| 60 | 1,0514 | 1,0181 | | 0,9937 | 0,0276 | 0,0008 | | | |
| 70 | 1,0398 | 0,0204 | | 0,9966 | 0,0200 | 0,0004 | | | |
| 80 | 1,1981 | 0,0245 | | 0,9894 | 0,0401 | 0,0018 | | | |
| T (°C) | Henderson e Pabis modificado | | | | | | R^2 | DQM | χ^2 |
| | a | B | c | k | k ₀ | k ₁ | | | |
| 60 | 0,3595 | 0,3436 | 0,3483 | 0,0181 | 0,0181 | 0,0181 | 0,9937 | 0,0276 | 0,0008 |
| 70 | 0,3465 | 0,3465 | 0,3465 | 0,0205 | 0,0205 | 0,0205 | 0,9966 | 0,0200 | 0,0004 |
| 80 | 0,3994 | 0,3994 | 0,0399 | 0,0245 | 0,0245 | 0,0245 | 0,9894 | 0,0401 | 0,0018 |
| T (°C) | Logarítmico | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | A | c | k | | | | | | |
| 60 | 1,0620 | -0,0152 | 0,0174 | 0,9944 | 0,0260 | 0,0007 | | | |
| 70 | 1,0474 | -0,0115 | 0,0199 | 0,9970 | 0,0187 | 0,0004 | | | |
| 80 | 1,2133 | -0,0214 | 0,0234 | 0,9906 | 0,0377 | 0,0016 | | | |
| T (°C) | Logistic | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | a ₀ | a | k | | | | | | |
| 60 | 0,1356 | 0,1289 | 0,0181 | 0,9937 | 0,0276 | 0,0008 | | | |
| 70 | 0,1091 | 0,1049 | 0,0205 | 0,9966 | 0,0200 | 0,0004 | | | |
| 80 | 0,0746 | 0,0623 | 0,0245 | 0,9894 | 0,0401 | 0,0018 | | | |
| T (°C) | Newton | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | k | | | | | | | | |
| 60 | 0,0170 | | | 0,9913 | 0,0326 | 0,0011 | | | |
| 70 | 0,0195 | | | 0,9951 | 0,0239 | 0,0006 | | | |
| 80 | 0,0199 | | | 0,9611 | 0,0767 | 0,0064 | | | |
| T (°C) | Page | | | R^2 | DQM | χ^2 | | | |
| | k | n | | | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|-----------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 60 | 0,0068 | 1,2285 | 0,9984 | 0,0138 | 0,0002 | |
| 70 | 0,0106 | 1,1573 | 0,9989 | 0,0111 | 0,0001 | |
| 80 | 0,0016 | 1,6588 | 0,9945 | 0,0290 | 0,0009 | |
| T | Thompson | | R² | DQM | χ^2 | |
| (°C) | a | b | | | | |
| 60 | -568,188 | 1,6579 | 0,9912 | 0,0326 | 0,0011 | |
| 70 | -224,973 | 1,3749 | 0,9950 | 0,0241 | 0,0006 | |
| 80 | -540,983 | 1,6863 | 0,9611 | 0,0767 | 0,0064 | |
| T | Verna | | | R² | DQM | χ^2 |
| (°C) | A | k | k₁ | | | |
| 60 | -2,0900 | 0,0348 | 0,0269 | 0,9985 | 0,0134 | 0,0002 |
| 70 | 0,0916 | 0,0195 | 0,0195 | 0,9951 | 0,0239 | 0,0006 |
| 80 | -2,9902 | 0,0577 | 0,0415 | 0,9946 | 0,0163 | 0,0003 |

Observou-se que todos os modelos utilizados apresentaram coeficientes de determinação maiores que 0,94, desvios quadráticos médios e qui-quadrado inferiores a 0,08 e 0,007, respectivamente. Destacou-se como o melhor modelo o da Aproximação da Difusão, onde apresentou os maiores valores de $R^2 > 0,997$, e menores valores de $DQM < 0,02$ e $\chi^2 < 0,0003$. Estudos relacionados com a secagem convectiva de grãos e sementes também verificaram excelentes valores para o modelo da Aproximação da Difusão, como para grãos inteiros de abóbora, grãos de abóbora sem tegumento e farinha de grãos de abóbora nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C (DIÓGENES et al., 2013); para o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a 25, 35, 45 e 55 °C (MORAIS et al., 2013); e para grãos de girassol (*Helianthus annuus*) nas temperaturas de 40, 60, 80 e 100 °C (CARVALHO et al., 2018).

A constante de secagem k na maioria dos modelos tenderam a aumentar com o acréscimo da temperatura de secagem, exceto para os modelos Exponencial de Dois Termos, Henderson e Pabis, Page e Verna. Esse aumento é justificado uma vez que em temperaturas mais elevadas geralmente se tem maiores taxas de secagem. O parâmetro k representa o efeito das condições de secagem relacionado à resistência interna do material ao processo, que tende a aumentar à medida que ocorre a elevação da temperatura do ar (SANTOS et al., 2017).

A constante n do modelo de Page que está relacionada com a resistência interna do material à secagem (FEITOSA et al., 2017), apresentou redução entre as temperaturas de 60 a 70 °C e aumento com a elevação da temperatura de 70 para 80 °C, sugerindo nesta última faixa que as condições externas tiveram maior influência na secagem do feijão Gordo germinado. Quequeto et al. (2017) ao estudarem a modelagem matemática de grãos

de feijão da cultivar IPR Tangará nas temperaturas de 40 a 60 °C em secador convectivo também verificaram comportamento semelhantes apresentando redução e aumento de n com a temperatura dependendo da faixa da temperatura analisada.

Na Figura 4.14 tem-se as curvas de cinética de secagem do feijão Gordo germinado com ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão, que de acordo com os parâmetros avaliados (R^2 , DQM e χ^2) que foi considerado como o que melhor descreveu as curvas de secagem dentro os avaliados. Verifica-se que os dados experimentais estão próximos as curvas ajustadas, comprovando os excelentes ajustes deste modelo. Observa-se também que com o aumento da temperatura os tempos de secagem foram reduzidos.

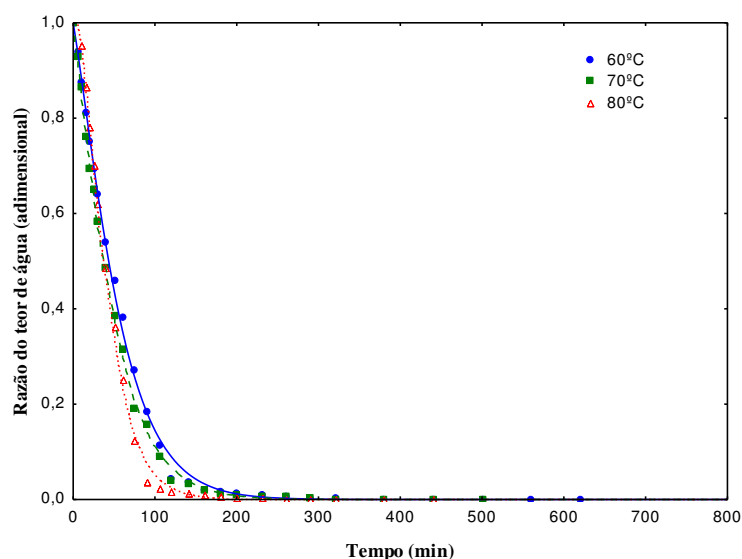


Figura 4.14 - Curvas de cinética de secagem do feijão Gordo germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C ajustadas pelo modelo Aproximação da Difusão

4.4- Caracterização química, física e físico-química das farinhas de feijão germinado

Os resultados das análises químicas e físicas das farinhas dos feijões germinados preto, branco, carioca, caupi e gordo são apresentados nas Tabelas 5.32 a 5.36, respectivamente.

Na Tabela 4.33 tem-se os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da farinha de feijão preto germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80° C.

A umidade, atividade de água, lipídeos, açúcares redutores e acidez apresentaram redução com o aumento da temperatura, enquanto os açúcares totais, não-redutores, compostos fenólicos e taninos aumentaram com a elevação da temperatura.

Observa-se que os teores de proteína não apresentaram diferença significativa entre as temperaturas de secagem, apesar de alguma tendência de redução à medida que foram empregadas temperaturas mais altas.

A massa específica aparente variou de 0,78 g.cm⁻³ a 0,83 g.cm⁻³, decrescendo à medida que a temperatura aumentou, com todas as amostras estatisticamente diferentes entre si, o mesmo ocorrendo com a massa específica compactada.

Tabela 4.33 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão preto germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

| Parâmetro | 60 °C | 70 °C | 80 °C |
|---------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A _w | 0,346±0,003 ^a | 0,237±0,001 ^b | 0,197±0,007 ^c |
| Umidade (g/100 g) | 11,34±0,55 ^a | 6,98±0,38 ^b | 4,38±0,14 ^c |
| Cinzas (g/100 g) | 6,86±0,22 ^b | 7,25±0,12 ^b | 9,75±0,34 ^a |
| pH | 5,90 | 5,97 | 6,02 |
| Lipídeos | 1,77±0,07 ^b | 2,01±0,04 ^a | 1,58±0,05 ^c |
| Acidez alcoólica (g/100 g) | 2,20±0,00 ^a | 2,11±0,00 ^b | 2,06±0,00 ^c |
| Proteínas (g/100 g) | 26,98±0,70 ^a | 26,11±0,22 ^a | 26,00±0,18 ^a |
| Aç. Totais (g/100 g) | 4,55±0,02 ^c | 5,00±0,01 ^b | 5,39±0,01 ^a |
| Aç. Redutores (g/100 g) | 0,04±0,00 ^a | 0,03±0,00 ^b | 0,03±0,00 ^b |
| Aç. Não Redutores (g/100 g) | 4,28±0,00 ^c | 4,72±0,01 ^b | 5,09±0,00 ^a |
| Comp. Fenólicos (mg/100 g) | 473,48±0,53 ^c | 543,53±1,03 ^b | 592,62±0,70 ^a |
| Taninos (mg/100 g) | 528,63±0,58 ^c | 630,53±1,16 ^b | 701,01±0,57 ^a |
| Molhabilidade (g/s) | 5,65±0,06 ^b | 5,76±0,06 ^{ab} | 5,81±0,04 ^a |
| Solubilidade (%) | 33,35±0,48 ^a | 27,49±0,19 ^b | 33,27±0,96 ^a |
| Ângulo de repouso (°) | 12,49±0,13 ^a | 12,48±0,15 ^a | 12,17±0,11 ^a |
| Massa específica aparente (g.cm ⁻³) | 0,83±0,01 ^a | 0,80±0,01 ^b | 0,78±0,01 ^c |
| Massa específica compactada (g.cm ⁻³) | 0,88±0,01 ^a | 0,85±0,01 ^b | 0,82±0,01 ^c |
| Massa específica absoluta | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a | 0,05±0,01 ^a |

| (g.cm ⁻³) | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Fator de Hausner | 1,18±1,18 ^a | 1,14±1,14 ^b | 1,11±1,11 ^b |
| Índice de Carr | 6,43±1,49 ^a | 6,24±1,54 ^a | 6,02±1,40 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O fator de Hausner sofreu uma variação, apresentando valor de 1,14 para a farinha de feijão preto germinado a 70 °C diferente significativamente das farinhas a 60 e 80 °C. O índice de compressibilidade, ou índice de Carr, se relaciona diretamente com a capacidade de compactação do material. Segundo Prista et al. (2003), valores inferiores a 15% de índice de Carr revelam que a amostra possui boas características de compressibilidade. O índice de Carr das farinhas de feijão preto germinado variaram de 6,02 a 6,43% e não variaram estatisticamente entre si.

Na Tabela 4.34 tem-se os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da farinha de feijão branco germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Tabela 4.34 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão branco germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

| Parâmetro | 60 °C | 70 °C | 80 °C |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A _w | 0,288±0,002 ^a | 0,217±0,001 ^b | 0,165±0,001 ^c |
| Umidade (g/100 g) | 6,05±0,11 ^a | 3,76±0,10 ^b | 3,57±0,07 ^b |
| Cinzas (g/100 g) | 5,76±0,10 ^a | 6,25±0,43 ^a | 6,55±0,42 ^a |
| pH | 6,26 | 6,32 | 6,44 |
| Lipídeos | 1,93±0,05 ^b | 2,14±0,07 ^a | 1,52±0,01 ^c |
| Acidez alcoólica (g/100 g) | 1,68±0,00 ^a | 1,64±0,00 ^b | 1,63±0,00 ^c |
| Proteínas (g/100 g) | 25,88±0,39 ^a | 26,67±0,54 ^a | 26,45±0,60 ^a |
| Aç. Totais (g/100 g) | 4,97±0,01 ^c | 5,07±0,02 ^b | 5,42±0,02 ^a |
| Aç. Redutores (g/100 g) | 0,01±0,00 ^a | 0,01±0,00 ^a | 0,01±0,00 ^a |
| Aç. Não Redutores (g/100 g) | 4,71±0,00 ^c | 4,81±0,01 ^b | 5,14±0,02 ^a |
| Comp. Fenólicos (mg/100 g) | 323,35±0,09 ^c | 361,13±0,19 ^b | 443,02±0,61 ^a |
| Taninos (mg/100 g) | 363,50±0,27 ^c | 405,37±0,26 ^b | 496,53±0,35 ^a |
| Molhabilidade (g/s) | 5,82±0,10 ^a | 5,83±0,06 ^a | 5,90±0,02 ^a |
| Solubilidade (%) | 30,66±0,27 ^b | 29,47±0,25 ^c | 38,49±0,18 ^a |

| | | | |
|---------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ângulo de repouso (°) | 11,74±0,06 ^a | 11,67±0,15 ^a | 11,66±0,15 ^a |
| Massa específica aparente (g.cm ⁻³) | 0,84±0,01 ^a | 0,83±0,01 ^a | 0,79±0,01 ^b |
| Massa específica compactada (g.cm ⁻³) | 0,86±0,01 ^b | 0,84±0,02 ^b | 0,91±0,02 ^a |
| Massa específica absoluta (g.cm ⁻³) | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a |
| Fator de Hausner | 1,09±0,00 ^b | 1,06±0,02 ^c | 1,19±0,01 ^a |
| Índice de Carr (%) | 2,79±0,01 ^b | 2,77±0,04 ^b | 13,17±0,19 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nas farinhas de feijão branco germinado observa-se, com o aumento da temperatura de secagem, reduções na atividade de água, teor de umidade, lipídios e acidez, enquanto açúcares totais e não redutores, compostos fenólicos e taninos foram aumentados. Teores de proteínas e cinzas não apresentaram diferença significativa entre as temperaturas de secagem.

A solubilidade e a massa específica compactada aumentaram com a temperatura, a massa específica aparente foi reduzida, enquanto a molhabilidade e o ângulo de repouso não apresentaram alterações estatísticas.

Na Tabela 4.35 tem-se os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da farinha de feijão carioca germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Tabela 4.35 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão carioca germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

| Parâmetro | 60 °C | 70 °C | 80 °C |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A _w | 0,310±0,002 ^a | 0,269±0,002 ^b | 0,176±0,001 ^c |
| Umidade (g/100 g) | 8,42±0,18 ^a | 5,02±0,22 ^b | 3,13±0,26 ^c |
| Cinzas (g/100 g) | 11,59±0,53 ^b | 13,10±0,74 ^a | 14,02±0,29 ^a |
| pH | 5,76 | 5,85 | 5,91 |
| Lipídeos | 1,84±0,09 ^a | 1,85±0,04 ^a | 1,52±0,02 ^b |
| Acidez alcoólica (g/100 g) | 2,28±0,25 ^a | 2,22±0,24 ^a | 2,17±0,24 ^a |
| Proteínas (g/100 g) | 27,64±0,36 ^a | 27,38±0,76 ^a | 27,65±0,31 ^a |

| | | | |
|---------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Aç. Totais (g/100 g) | 6,01±0,01 ^b | 6,16±0,02 ^a | 6,17±0,03 ^a |
| Aç. Redutores (g/100 g) | 0,04±0,00 ^a | 0,04±0,00 ^a | 0,04±0,00 ^a |
| Aç. Não Redutores (g/100 g) | 5,67±0,00 ^b | 5,81±0,00 ^a | 5,82±0,01 ^a |
| Comp. Fenólicos (mg/100 g) | 549,77±0,43 ^c | 555,51±0,42 ^b | 600,58±0,52 ^a |
| Taninos (mg/100 g) | 615,56±0,48 ^c | 621,57±0,46 ^b | 661,08±0,67 ^a |
| Molhabilidade (g/s) | 5,69±0,05 ^b | 5,72±0,03 ^b | 5,83±0,04 ^a |
| Solubilidade (%) | 25,52±0,42 ^c | 28,66±0,44 ^b | 30,15±0,03 ^a |
| Ângulo de repouso (°) | 12,05±0,16 ^a | 12,05±0,14 ^a | 11,87±0,29 ^a |
| Massa específica aparente (g.cm ⁻³) | 0,80±0,01 ^a | 0,78±0,01 ^{ab} | 0,76±0,02 ^b |
| Massa específica compactada (g.cm ⁻³) | 0,82±0,01 ^a | 0,86±0,01 ^a | 0,84±0,01 ^a |
| Massa específica absoluta (g.cm ⁻³) | 0,04±0,02 ^a | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a |
| Fator de Hausner | 1,11±0,01 ^b | 1,18±0,03 ^a | 1,11±0,01 ^b |
| Índice de Carr | 1,67±0,04 ^b | 12,81±4,36 ^a | 10,02±0,01 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nas farinhas de feijão carioca germinado observa-se reduções, com o aumento da temperatura de secagem, na atividade de água, teor de umidade e lipídios, com aumento no teor de cinzas, açúcares totais, açúcares não redutores, composto fenólicos e taninos. Não variaram a acidez, proteínas e açúcares redutores.

A molhabilidade e a solubilidade aumentaram com a temperatura, a massa específica aparente foi reduzida, enquanto o ângulo de repouso e a massa específica compactada não foram afetadas.

Na Tabela 4.36 tem-se os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da farinha de feijão caupi germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Tabela 4.36 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão caupi germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

| Parâmetro | 60 °C | 70 °C | 80 °C |
|---------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A _w | 0,302±0,002 ^a | 0,244±0,003 ^b | 0,150±0,004 ^c |
| Umidade (g/100 g) | 7,16±0,22 ^a | 6,23±0,36 ^b | 4,38±0,31 ^c |
| Cinzas (g/100 g) | 5,83±0,09 ^c | 7,55±0,18 ^b | 8,36±0,12 ^a |
| pH | 5,21 | 5,63 | 5,68 |
| Lipídeos | 1,58±0,02 ^a | 1,58±0,01 ^a | 1,52±0,01 ^b |
| Acidez alcoólica (g/100 g) | 2,97±0,00 ^a | 2,94±0,00 ^b | 2,89±0,00 ^c |
| Proteínas (g/100 g) | 32,65±0,56 ^a | 31,36±0,71 ^a | 31,79±0,16 ^a |
| Aç. Totais (g/100 g) | 5,71±0,01 ^b | 5,68±0,01 ^c | 6,23±0,00 ^a |
| Aç. Redutores (g/100 g) | 0,06±0,00 ^a | 0,05±0,00 ^a | 0,05±0,00 ^a |
| Aç. Não Redutores (g/100 g) | 5,37±0,01 ^b | 5,35±0,00 ^b | 5,87±0,01 ^a |
| Comp. Fenólicos (mg/100 g) | 521,64±0,64 ^c | 543,52±1,06 ^b | 567,31±1,46 ^a |
| Taninos (mg/100 g) | 583,64±0,70 ^c | 608,47±1,17 ^b | 634,41±1,60 ^a |
| Molhabilidade (g/s) | 5,86±0,02 ^a | 5,88±0,12 ^a | 5,92±0,05 ^a |
| Solubilidade (%) | 25,92±0,05 ^a | 21,76±0,34 ^c | 25,38±0,10 ^b |
| Ângulo de repouso (°) | 12,09±0,14 ^a | 11,71±0,18 ^{ab} | 11,69±0,12 ^b |
| Massa específica aparente (g.cm ⁻³) | 0,78±0,02 ^a | 0,77±0,01 ^a | 0,75±0,01 ^a |
| Massa específica compactada (g.cm ⁻³) | 0,81±0,01 ^b | 0,85±0,01 ^{ab} | 0,84±0,01 ^a |
| Massa específica absoluta (g.cm ⁻³) | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a |
| Fator de Hausner | 1,12±0,00 ^a | 1,15±0,00 ^a | 1,13±0,00 ^a |
| Índice de Carr | 7,74±0,00 ^a | 7,77±0,00 ^a | 7,64±0,00 ^a |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nas farinhas de feijão caupi germinado ocorreram reduções, com o aumento da temperatura de secagem, na atividade de água, teor de umidade, lipídios e acidez, com aumento no teor de cinzas, açúcares totais, açúcares não redutores, composto fenólicos e taninos. Não variaram proteínas e açúcares redutores.

A massa específica compactada aumentou com a temperatura, a solubilidade e o ângulo de repouso foram reduzidos, enquanto a molhabilidade e a massa específica aparente não foram afetadas.

Na Tabela 4.37 tem-se os parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da farinha de feijão gordo germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C.

Tabela 4.37 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de feijão gordo germinado nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C

| Parâmetro | 60 °C | 70 °C | 80 °C |
|---------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| AW | 0,321±0,001 ^a | 0,236±0,001 ^b | 0,172±0,002 ^c |
| Umidade (g/100 g) | 6,43±0,33 ^a | 5,86±0,18 ^b | 4,73±0,09 ^c |
| Cinzas (g/100 g) | 7,29±0,21 ^b | 7,80±0,25 ^b | 9,18±0,64 ^a |
| pH | 5,97 | 5,97 | 6,10 |
| Acidez alcoólica (g/100 g) | 2,38±0,24 ^a | 2,37±0,24 ^a | 2,34±0,24 ^a |
| Lipídeos | 1,21±0,09 ^b | 1,50±0,02 ^a | 0,96±0,03 ^c |
| Proteínas (g/100 g) | 29,01±0,71 ^a | 29,26±0,24 ^a | 29,87±0,63 ^a |
| Aç. Totais (g/100 g) | 5,21±0,01 ^c | 5,41±0,02 ^b | 6,07±0,01 ^a |
| Aç. Redutores (g/100 g) | 0,05±0,00 ^a | 0,04±0,00 ^a | 0,04±0,00 ^a |
| Aç. Não Redutores (g/100 g) | 4,90±0,00 ^c | 5,10±0,01 ^b | 5,73±0,01 ^a |
| Comp. Fenólicos (mg/100 g) | 608,83±0,42 ^c | 614,05±0,42 ^b | 652,12±0,42 ^a |
| Taninos (mg/100 g) | 679,51±0,47 ^c | 686,03±0,47 ^b | 727,73±0,46 ^a |
| Molhabilidade (g/s) | 5,93±0,05 ^b | 5,94±0,05 ^b | 6,07±0,03 ^a |
| Solubilidade (%) | 31,49±0,37 ^a | 28,57±0,25 ^b | 25,18±0,08 ^c |
| Ângulo de repouso (°) | 11,93±0,04 ^a | 11,86±0,04 ^a | 11,83±0,16 ^a |
| Massa específica aparente (g.cm ⁻³) | 0,77±0,01 ^a | 0,76±0,01 ^{ab} | 0,74±0,01 ^b |
| Massa específica compactada (g.cm ⁻³) | 0,84±0,01 ^a | 0,84±0,01 ^a | 0,84±0,01 ^a |
| Massa específica absoluta (g.cm ⁻³) | 0,04±0,01 ^a | 0,04±0,01 ^a | 0,05±0,01 ^a |
| Fator de Hausner | 1,18±0,00 ^a | 1,05±0,01 ^b | 1,08±0,01 ^b |
| Índice de Carr | 10,14±0,00 ^a | 10,08±0,00 ^a | 9,97±0,00 ^b |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nas farinhas de feijão gordo germinado ocorreram reduções, com o aumento da temperatura de secagem, na atividade de água, teor de umidade e lipídios, com aumento no teor de cinzas, açúcares totais, açúcares não redutores, composto fenólicos e taninos. Não variaram acidez, proteínas e açúcares redutores.

A molhabilidade aumentou com a temperatura e a massa específica aparente foi reduzida, enquanto o ângulo de repouso e a massa específica compactada não foram afetadas, e a solubilidade apresentou efeitos diferentes conforme o tipo de feijão.

De maneira geral, o teor de água entre as 5 variedades de feijões estudadas apresentou valor máximo de 11,34% para a farinha de feijão preto germinado a 60 °C e mínimo de 3,13% para a farinha de feijão carioca germinado a 80 °C.

A atividade de água das farinhas variou de 0,15 (farinha de feijão caupi germinado a 80°C) a 0,35 (farinha de feijão preto germinado a 60 °C).

O conteúdo lipídico das farinhas elaboradas variou de 0,96% (farinha de feijão gordo germinado a 80 °C) a 2,14% (farinha de feijão branco germinado a 70 °C).

Silva et al. (2019) estudando a composição centesimal da farinha de broto de alfafa seco a 50 °C obteve resultados para umidades de 10,50%, atividade de água de 0,52 e lipídeos de 3,46.

Quando comparadas pode-se observar que as farinhas de feijão caupi germinado apresentou maior valor de proteínas (32,6%) a 60 °C e menor valor para a farinha de feijão branco germinado (25,9%) a 60 °C. Silva et al. (2019) estudando a produção e avaliação nutricional de farinha de broto de feijão mungo-verde relataram valores proteicos de 25,82%.

Os valores de açúcares totais observados nas farinhas dos feijões germinados, entre 4,55 mg.100 g⁻¹ no feijão preto a 6,23 mg.100 g⁻¹ no feijão caupi são cerca de 100% superiores aos determinados nas amostras in natura, mas não se aproximam de matérias-primas consideradas fontes. Oliveira (2019) estudando as características químicas da farinha de babaçu obteve concentração para açúcares totais de 50,85 g.100g⁻¹.

As farinhas estudadas apresentaram elevados teores de compostos fenólicos e taninos, com valores mínimo e máximo de fenólicos de 323 e 652 mg.100g⁻¹ (nos feijões branco e gordo, respectivamente) e de 363 a 727 mg.100g⁻¹, igualmente nos feijões branco e gordo.

Landim et al. (2016) estudando o conteúdo de fenólicos totais, antocianinas, taninos e atividade antioxidante de três cultivares de feijão-caupi, obtiveram resultados para os

compostos fenólicos de 108,00 mg/100g (BRS Novaera), 108,00 mg/100g (BRS Tumucumaque) e 151,35 mg/100g (BRS Marataoã), e para os taninos resultados de 114,80 mg/100g (BRS Novaera), 114,80 mg/100g (BRS Tumucumaque) e 272,00 mg/100g (BRS Marataoã). A elevada quantidade de compostos fenólicos com atividade antioxidante encontrados nos cotilédones nos tegumentos são relacionados à redução do risco de desenvolvimento de câncer, além de apresentar atividade anti-inflamatória (OOMAH; CORBE; BALASUBRAMANIAN, 2010).

A taxa de molhabilidade foi maior para a farinha de feijão gordo germinado, com 6,07, e a que apresentou menor valor foi a farinha de feijão preto germinado, com 5,65. Segundo Silva (2018), a molhabilidade é função das interações intermoleculares da farinha com a água, afetadas pelo teor de lipídeos, sendo necessária uma menor quantidade de água para molhar completamente a farinha na presença de menores teores. Silva et al. (2018) determinaram uma taxa de $0,362 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ para a farinha de baru integral.

O ângulo de repouso mais alto foi de $12,49^\circ$ para a farinha de feijão preto germinado e mais baixo para a farinha de feijão branco germinado com $11,66^\circ$. O ângulo de repouso é o máximo ângulo formado em relação a horizontal sendo influenciado pela forma, constituição e umidade do produto (SILVA, 2008). Silva et al. (2018) em seu estudo sobre a caracterização das farinhas de baru integral e parcialmente desengordurada obteve ângulos de repouso de $28,0^\circ$.

4.4.1 - Higroscopicidade

Nas Figuras 4.15 a 4.19 encontram-se as curvas representando o comportamento higroscópico das farinhas dos feijões Preto, Branco, Carioca, Caupi e Gordo germinados, obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, em função do tempo.

Considerando os níveis de ganho de água das farinhas ao longo do período de observação, que atingiu valores de 16,15 a 20,72 g/100 g de água absorvida. De acordo com os padrões de higroscopicidade de pós conforme Gea Niro Research Laboratory (2010), a maioria das amostras analisadas é considerada higroscópica (padrão: entre 15,1 e 20,0%), exceto a farinha de feijão Caupi, obtida a 60°C, que se mostrou muito higroscópica (padrão: entre 20,1 e 25%). Ainda assim, se observa valores muito superiores em outros produtos, como identificado por Medeiros (2015), ao analisar a farinha de batata yacon, a qual apresentou 97,37% de higroscopicidade, sendo classificada como um alimento extremamente higroscópico. O autor sugere que este resultado esteja relacionado com o

elevado teor de açúcares da batata yacon, que são os principais responsáveis pela absorção de água.

A farinha com o maior higroscopicidade foi a obtida do feijão Caupi (Figura 4.18), sob temperatura de 60 °C; já a farinha que apresentou o menor nível de higroscopicidade foi o obtido a partir do feijão Branco, a 80 °C (Figura 4.16), mostrando-se de mais fácil armazenamento, visto que quanto menor a capacidade de absorção de água maior é a segurança e a durabilidade da farinha, com menor propensão a deterioração química e microbiológica. A higroscopicidade define a afinidade dos componentes da matéria-prima com a água (Teixeira Neto e Quast, 1993), de modo que é desejável que o produto final apresente baixos níveis de higroscopicidade, visto a necessidade de se evitar ao mínimo a absorção de água durante o período de armazenamento.

As farinhas dos feijões Preto, Carioca e Gordo (Figuras 4.15, 4.17 e 4.19) apresentaram seus menores níveis de higroscopicidade quando obtidas a 80 °C, e seus maiores níveis quando obtidas a 70 °C. Já as farinhas dos feijões Branco e Caupi (Figura 4.16 e 4.18) apresentaram decréscimo nos níveis de higroscopicidade com o aumento de suas temperaturas de secagem.

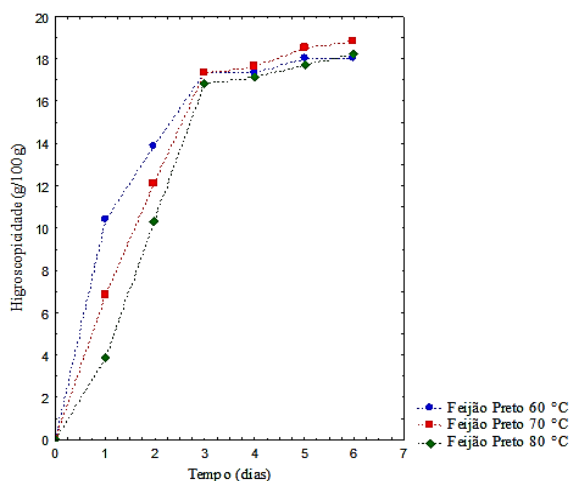


Figura 4.15 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Preto germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo

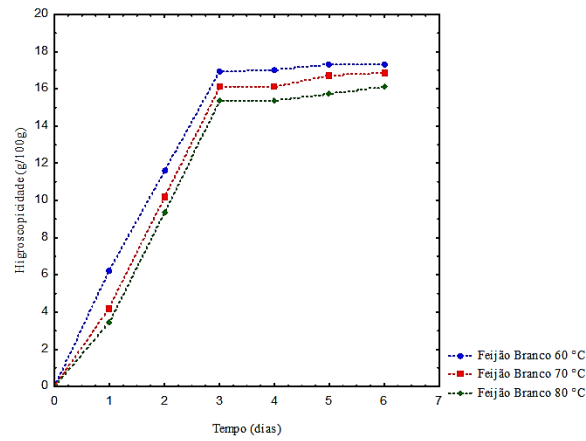


Figura 4.16 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Branco germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo

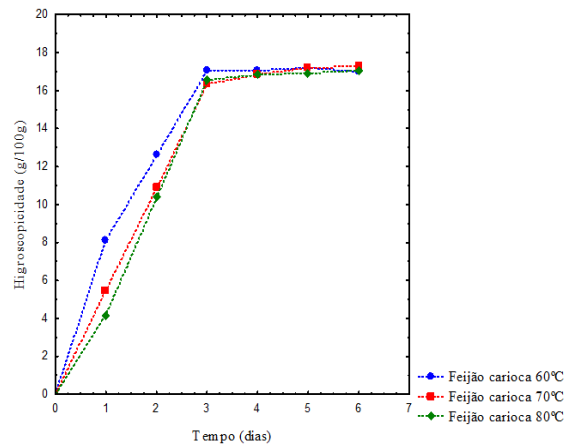


Figura 4.17 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Carioca germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo

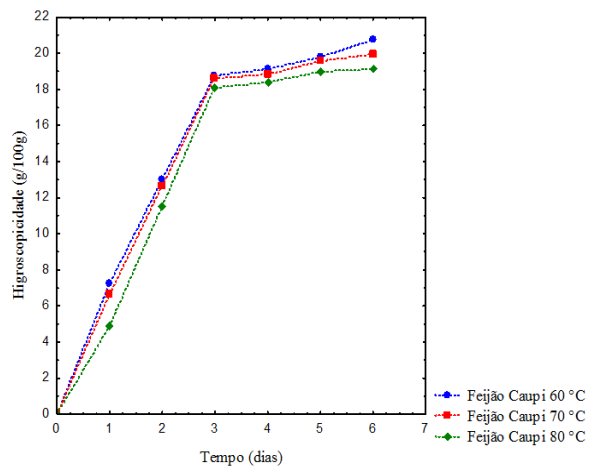


Figura 4.18 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Caupi germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo

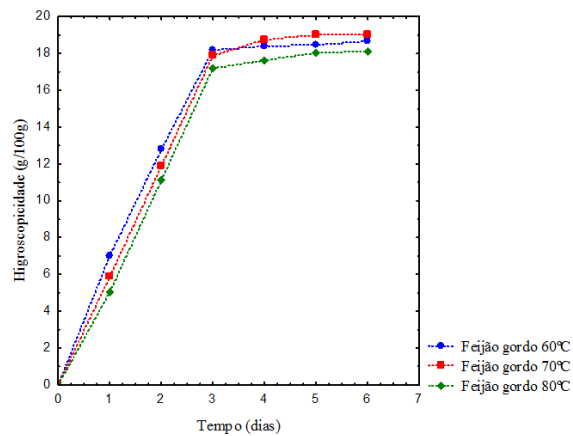


Figura 4.19 - Comportamento higroscópico das farinhas de feijão Gordo germinado obtidas nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, ao longo do tempo

4.5 - Perfil de minerais

O perfil de minerais das farinhas dos feijões obtidas nas secagens a 80° C é apresentado na Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Perfil de minerais das farinhas de feijão germinado obtidas nas secagens a 80 °C

| Minerais (mg/100g) | Preto | Branco | Carioca | Caupi | Gordo |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sódio (Na) | 216,36 b | 258,56 b | 460,48 a | 442,00 a | 321,66 ab |
| Magnésio (Mg) | 1177,75 b | 1135,38 c | 1304,59 a | 1098,48 d | 1126,34 c |
| Fósforo (P) | 1962,28 b | 1530,59 d | 2092,68 a | 1545,91 d | 1741,94 c |
| Potássio (K) | 5363,88 a | 2877,22 d | 4561,47 c | 4620,86 c | 5132,76 b |
| Calcio (Ca) | 868,90 a | 741,55 b | 750,28 b | 573,33 c | 721,47 b |
| Manganês (Mn) | 10,42 b | 6,78 e | 11,63 a | 7,90 d | 8,68 c |
| Ferro (Fe) | 121,37 b | 29,02 e | 280,25 a | 64,27 d | 83,66 c |
| Cobre (Cu) | 2,83 b | 1,59 d | 3,13 a | 2,11 c | 1,54 d |
| Zinco (Zn) | 26,21 a | 19,31 d | 25,49 ab | 25,13 b | 21,96 c |

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que não houve diferenças estatisticamente significativas no teor de sódio entre as farinhas da variedade carioca, caupi e gordo, mas com diferenças significativas entre estas e as amostras de feijão preto e branco.

A amostra da farinha germinada de feijão carioca apresentou as maiores concentrações de magnésio, fósforo, manganês, ferro e cobre, superando todos os demais tipos. Para os minerais potássio e cálcio os maiores valores quantificados foram nas amostras da farinha de feijão preto, que igualou o teor de zinco da variedade carioca, superior aos demais.

Owuamanam et al. (2014) avaliaram a composição mineral em farinhas de leguminosas germinadas e na farinha de feijão Caupi, obtendo o valor de 13,8 mg/100g de cálcio, 44,2 mg/100g de fósforo e 82,2 mg/100 g de potássio.

De acordo com Miah et al. (2020) baixas quantidades de manganês nos alimentos são suficientes para a manutenção e sustentação de vários processos fisiológicos no corpo humano, como na absorção de cálcio e no auxílio no desenvolvimento dos ossos, regulação da glicose no sangue e cicatrização.

O ferro é um mineral essencial para produção dos glóbulos vermelhos, um cofator essencial para produção de energia, mielinização e metabolismo de neurotransmissores (HARE et al., 2013), além de ser muito importante nas células, o transporte de ferro para mitocôndrias e enzimas dependentes de ferro ativo deve ser fortemente regulado e na cadeia respiratória mitocondrial dependendo da atividade redox de ferro (LILL et al., 2012; MCALLUM et al., 2019).

Chinma et al. (2015) reportaram que o processo de germinação aumentou significativamente o teor de magnésio, fósforo e potássio da farinha de arroz enquanto o cálcio, ferro, sódio e zinco, não foram significativamente afetados. O arroz, da variedade Kwandala, foi o que apresentou maior teor de cálcio, ferro, magnésio, fósforo e potássio. De acordo com Laurence (2002), as fitases, liberadas durante a germinação degradam os fitatos, resultando em aumento da biodisponibilidade desses minerais.

4.6 - Cinética de degradação de compostos fenólicos totais

Na Tabela 4.39, tem-se os parâmetros dos modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem usados para avaliar a degradação dos compostos fenólicos, nas temperaturas de 15, 25 e 35°C nas farinhas dos cinco tipos de feijão germinados, obtidas por secagem na temperatura de 80°C.

Verificou-se que o modelo que apresentou os melhores ajustes com os maiores coeficientes de determinação (R^2) foi o de ordem zero. Segundo Zhou et al. (2016) a constante de velocidade de reação (k) aumenta conforme se eleva a temperatura, indicando a influência desta na degradação dos compostos fenólicos.

Tabela 4.39 - Parâmetros da cinética de degradação dos compostos fenólicos totais das farinhas dos feijões germinados

| Farinha de feijão germinado | Temp. (°C) | Fenólicos totais (mg/100 g b.s.) | Ordem zero | | Primeira ordem | |
|-----------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------|----------------|--------|
| | | | k | R^2 | k | R^2 |
| F1 | 15 | 586,43 | 7,57 | 0,9474 | 0,01571 | 0,9448 |
| F1 | 25 | 578,05 | 8,88 | 0,9677 | 0,01993 | 0,9501 |
| F1 | 35 | 575,07 | 11,77 | 0,9596 | 0,02684 | 0,9566 |
| F2 | 15 | 446,11 | 5,24 | 0,9410 | 0,01223 | 0,9173 |
| F2 | 25 | 429,38 | 5,28 | 0,9145 | 0,01440 | 0,8934 |
| F2 | 35 | 435,86 | 6,41 | 0,9356 | 0,01833 | 0,9146 |
| F3 | 15 | 581,56 | 10,70 | 0,9733 | 0,02385 | 0,9675 |
| F3 | 25 | 576,45 | 10,82 | 0,9687 | 0,02488 | 0,9581 |
| F3 | 35 | 564,94 | 12,30 | 0,8976 | 0,03043 | 0,8750 |
| F4 | 15 | 532,76 | 5,63 | 0,9651 | 0,01330 | 0,9396 |
| F4 | 25 | 529,6 | 5,95 | 0,9535 | 0,01471 | 0,9120 |
| F4 | 35 | 525,82 | 6,43 | 0,9421 | 0,01645 | 0,8895 |
| F5 | 15 | 552,64 | 3,45 | 0,9739 | 0,00610 | 0,9610 |
| F5 | 25 | 551,32 | 4,44 | 0,9896 | 0,0080 | 0,9781 |
| F5 | 35 | 540,98 | 5,75 | 0,948 | 0,01270 | 0,9410 |

F1-Feijão preto a 80°C; F2-Feijão branco a 80°C; F3-Feijão carioca a 80°C; F4-Feijão caupi a 80°C; F5-Feijão gordo a 80°C

Na Tabela 4.40, encontra-se os parâmetros da equação de Arrhenius e o coeficiente de reação (Q_{10}) da cinética de degradação dos compostos fenólicos nas farinhas de feijão germinado. O Q_{10} é um parâmetro que caracteriza o efeito da temperatura na reação representando a taxa de degradação à medida que a temperatura é aumentada em 10 °C (KECHINSKI et al., 2010). Observa-se que na faixa de temperatura de 25-35°C os valores de Q_{10} aumentaram em relação aos valores obtidos entre 15-25°C em todas as farinhas

avaliadas, demonstrando o efeito de temperaturas mais altas no processo de degradação dos compostos fenólicos.

A energia de ativação, energia necessária para que a reação ocorra, indica a sensibilidade da reação à temperatura. De acordo com Mercali et al. (2015), valores altos de energia de ativação podem indicar uma maior dependência da temperatura, onde a reação pode ocorrer de forma mais lenta em baixas temperaturas e relativamente rápida em temperaturas altas. Tal comportamento pode ser observado ao relacionar os valores de energia de ativação e o coeficiente de reação (Q10), em que nas amostras de feijão preto e feijão gordo verificou-se os maiores valores de energia de ativação 19,22 e 22,66 KJ.mol⁻¹ respectivamente, correspondendo, ao mesmo tempo, aos maiores coeficientes de reação. O Q10 está relacionado ao número de colisões e associações moleculares, em que estas fornecem um excedente de energia, levando as moléculas ao estado de ativação e, conseqüentemente, aumentando a taxa de degradação (AL-ZUBAIDY; KHALIL, 2007; LAGO; NOREÑA, 2017).

Tabela 4.40 - Parâmetros de Arrhenius e coeficiente de reação (Q10) para degradação de compostos fenólicos em farinhas de feijão germinado

| Farinha de Feijão germinado | Parâmetros de Arrhenius | | | Coeficiente de temperatura (Q10) | |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|----------------|----------------------------------|------------|
| | Intervalo (°C) | Energia de ativação (kJ.mol ⁻¹) | R ² | (15-25 °C) | (25-35 °C) |
| Feijão preto | 15-35 | 19,2191 | 0,98423 | 1,1730515 | 1,3254505 |
| Feijão branco | 15-35 | 7,72683 | 0,87291 | 1,0076336 | 1,2140152 |
| Feijão carioca | 15-35 | 5,45978 | 0,89117 | 1,011215 | 1,1367837 |
| Feijão caupi | 15-35 | 5,845949 | 0,99328 | 1,0568384 | 1,0806723 |
| Feijão Gordo | 15-35 | 22,65947 | 0,99965 | 1,2869565 | 1,2950450 |

Lien (2017), estudando a degradação de compostos fenólicos em farinhas de soja germinadas, observou que o processo de degradação ocorre em função do tempo e, de forma mais acelerada com o aumento de temperatura. Segundo Mba, Kwofie e Ngadi (2019) o processo de degradação desses compostos além de ser influenciado pelo efeito da temperatura também depende das condições de processamento nas quais o produto foi obtido, bem como da variedade do feijão.

Observa-se nas Figuras 4.20 a 4.24 o decréscimo no teor dos compostos fenólicos durante o armazenamento, ocasionado pela degradação. Verifica-se em todas as farinhas o efeito da temperatura sobre tais compostos, havendo maior redução na maior temperatura.

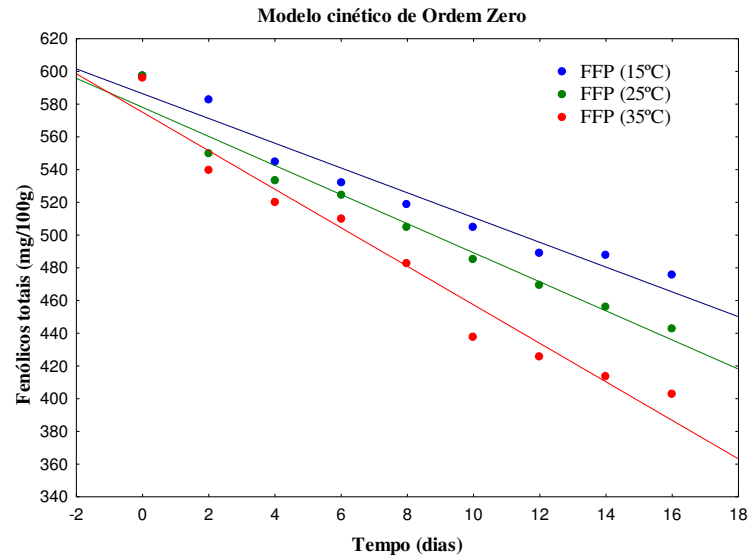


Figura 4.20 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão preto (FFP) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C

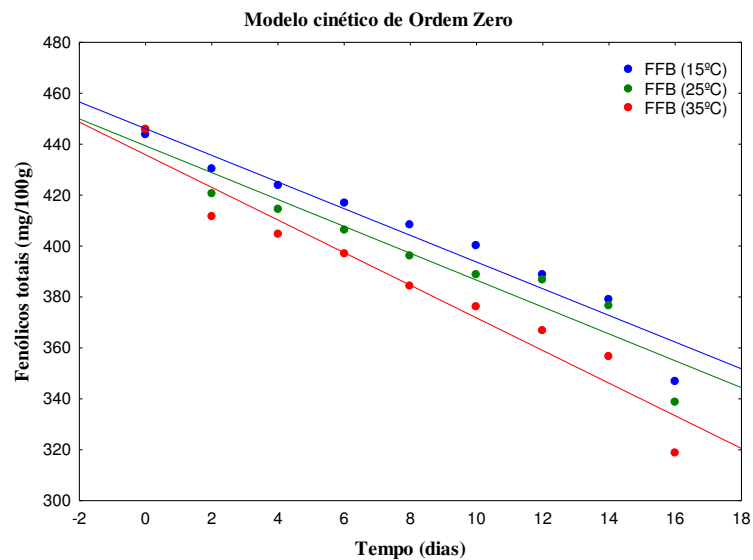


Figura 4.21 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão branco (FFB) germinado ajustados ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C

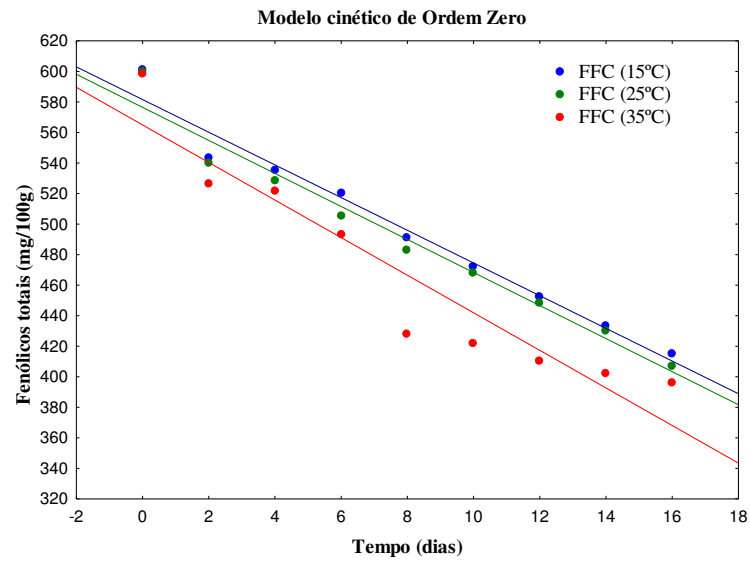


Figura 4.22 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão carioca (FFC) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C

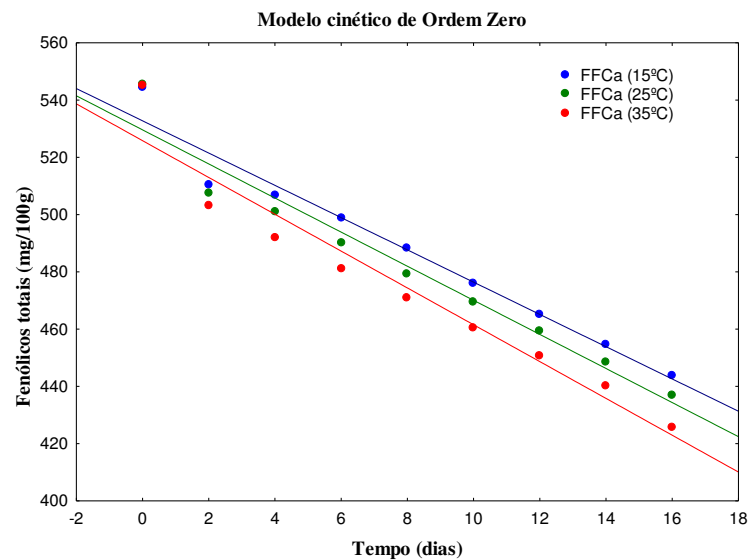


Figura 4.23 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão caupi (FFCa) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C

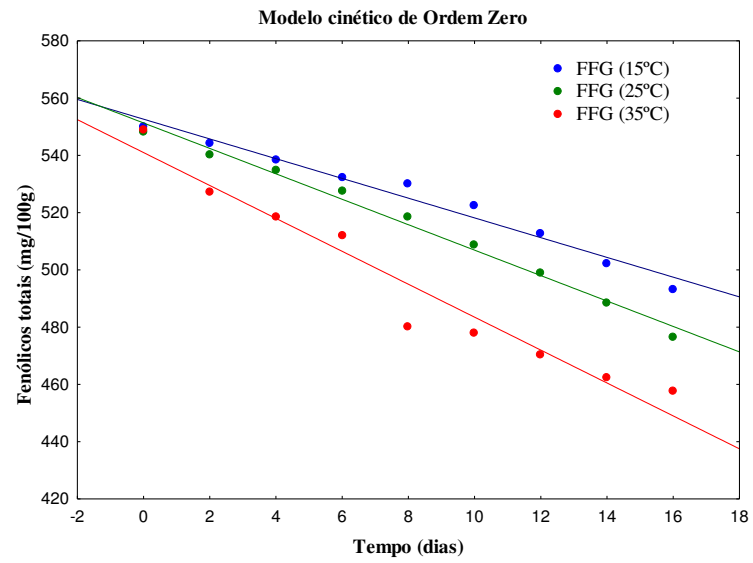


Figura 4.24 - Cinética de degradação de compostos fenólicos de farinha de feijão gordo (FFG) germinado ajustada ao modelo de Ordem Zero, nas temperaturas de 15, 25 e 35 °C

5- CONCLUSÕES

A germinação dos feijões provocou o aumento no teor de umidade, teor das proteínas, ácido ascórbico, atividade de água, compostos fenólicos, teor de amido; ocorreu a redução do teor de lipídeos, açúcares totais e redutores.

Com a cinética de germinação foi possível determinar o melhor tempo de germinação, de 96 horas, onde a quantidade de proteínas e o teor de compostos fenólicos aumentou.

Os tempos de secagem diminuíram com a elevação da temperatura de desidratação em todos os feijões germinados estudados. O feijão Carioca foi o que apresentou maior tempo de secagem, seguido do feijão germinado Branco e preto e em menores tempos de secagem foram semelhantes para os feijões Caupi e Gordo.

Todos os modelos matemáticos testados nos feijões germinados proporcionaram bons ajustes aos dados experimentais, destacando-se o modelo de Dois Termos para o feijão Branco; Page para o feijão Caupi e o modelo Aproximação da Difusão para os feijões germinados Carioca, Gordo e Preto, apresentando os maiores R^2 , menores DQM e χ^2 .

A farinha dos feijões germinados mostrou alto teor de compostos fenólicos, bom teor de proteínas, baixo teor de lipídeos, boa fluidez e baixa compactabilidade. Foi possível determinar as farinhas de 80°C como sendo as melhores farinhas com base nas características químicas, físicas e físico-químicas.

As farinhas submetidas a maior temperatura de armazenamento apresentaram maior degradação de compostos fenólicos. Verificou-se ainda que o modelo que apresentou os melhores ajustes para a cinética de degradação, com os maiores coeficientes de determinação (R^2), foi o de ordem zero.

A farinha de feijões germinados pode ser utilizada na produção de produtos de panificação, sendo na constituição parcial ou total das formulações dos produtos, a qual apresentou valores significativos de proteínas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M. A. Thin Layer Drying of Amaranth Seeds. **Biosystems Engineering**, v. 93, n. 2, p. 179-188, 2006.

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais. **Embrapa: Sistemas de Produção**, v. 5, n. 1, p. 1-5, 2005.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 349-353, 1999

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. **Científica – Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 130-137, 2013.

AL-ZUBAIDY, M. M. I.; KHALIL, R. A. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 254-259, 2007.

AMAGLIANI, L., O'REGAN, J., KELLY, A. L., O'MAHONY, J. A. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 64, p. 1-12, 2017.

AMPOFO, J. O.; NGADI, M. Ultrasonic assisted phenolic elicitation and antioxidante potential of common bean (*Phaseolus vulgaris*) sprouts. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 61, 2020.

ANDRADE, E. T. Qualidade até o final: Secagem certa. **Cultivar Máquinas**. v. 3, n. 25, p. 1-15, 2003.

ANDRADE, E. T.; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.

ANTON, A. A.; ROSS, K. A.; LUKOW, O. M.; FULCHER, R. G.; ARNTFIELD, S. D. Influence of added bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas. **Food Chemistry**, v. 109, n. 1, p. 33-41, 2008.

ANTUNES, P. L.; BILHALVA, A. B.; ELIAS, M. C.; SOARES, G. J. D. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivares rico 23, carioca, piratã-1 e rosinha-G2. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 1, n. 1, p. 12-18, 1995.

ARAL, S.; BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food Chemistry**, v. 210, n. 1, p. 577-584, 2016.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P. C.; FILHO, C. P. H.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista de Ciências Agronômicas**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

ARMELIN, J. M.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; PIEDADE, S. M. S.; MACHADO, F. M. V. F.; SPOTO, M. H. F. Avaliação física de feijão carioca irradiado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 498-502, 2007.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; FILHO, C. P. H.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista de Ciências Agronômicas**, Lourenço Marques, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Maryland: AOAC, 2009. 1141p.

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M.; RODRIGUES, G. C.; GOMES, A. C. Produtividade do feijão de inverno influenciada por irrigação, densidade de plantio e adubação em solo de Cerrado. **Embrapa Cerrados. Comunicado técnico**, v. 145, p. 1-3, 2008.

BALARDIN, R. S.; COSTA, E. C. C.; RIBEIRO, N. D. **Feijão, recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul**. Comissão Estadual de Pesquisa do Feijão. Santa Maria: Pallotti, 2000. 80 p.

BARCELOS, M. F. P.; VILAS BOAS, E. V. B.; LIMA, M. A. C. Aspectos nutricionais de brotos de soja e de milho combinados. **Ciências Agrotécnicas**, v. 26, n. 4, p. 817-825, 2002.

BARROS, L. F. T.; BRAGA, H. M.; MARTINI, N. O.; ESCOBAR, T. D.; KAMINSKI, T. A. Propriedades físicas de muffins adicionados de farinha de feijão de diferentes classes. In: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 7., 2015 Bagé. **Anais...** Bagé: Universidade Federal do Pampa, 2015.

BASSINELLO, P. Z.; CARVALHO, R. N.; ALMEIDA, R. P.; ARAÚJO, M. R.; COBUCCI, R. M. A. **Desenvolvimento de mistura para bolo com farinhas de quirera de arroz bandinha de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 8 p.

BATISTA, K. A.; PRUDENCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Wheat bread enrichment with hard-to-cook bean extruded flours: nutritional and acceptance evaluation. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. 108-113, 2011.

BENASSI, M.T.; ANTUNES, A.J. A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.

BENEVIDES, C. M. J.; COSTA, A. S. G.; PINTO, D.; ALVES, R. C.; NUNES, A. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Germinação e desidratação de leguminosas: efeito na composição nutricional, compostos bioativos e atividade antioxidante de feijão andu e mangalô do Peru. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, p. 1-16, 2019

BEVILACQUA, C.; ORILIO, C.; VAZ, C.; VERRE, C. **Brasileiro consome cada vez menos feijão, mostra pesquisa**. Universidade Metodista de São Paulo – Rudge Ramos online. Disponível em: <http://www.metodista.br/rronline/noticias/economia/2010/06/brasileiro-consome-cada-vez-menos-feijao-diz-pesquisa>. Acesso: 12 dez. 2019.

BHUSARI, S.N.; MUZAFFAT, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354-364, 2014.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BOTELHO, F. M.; GARCIA T. R. B.; VIANA, J. L.; BOTELHO, S. C. C.; SOUSA, A. M. B. Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 260-272, 2015.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Embrapa Arroz e Feijão, Goiás, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 set. 2005.

BRAY, C. F. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In: KIGEL, J.; GALILI, G. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. 789 p.

BRIGIDE, P.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação dos efeitos da cocção e irradiação na composição do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n. 1, p. 97-102, 2011.

BRILHANTE, J. C. A.; OLIVEIRA, A. B.; SILVA, J. W. L.; ENÉAS FILHO, J. Ação do ácido ascórbico exógeno na qualidade fisiológica de sementes de feijão de corda envelhecidas artificialmente. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 985-994, 2013.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Scienci**, v. 65, n. 7, p. 1248-1252, 2000.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo de fibras: efeitos de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CAMICIA, R. G. M.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M.; CAMICIA, R. F. M. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 206-214, 2015.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Emerging Technologies**, v. 6, p. 420-428, 2005.

CAPARINO, O.; TANG, J.; NINDO, C.; SABLANI, S.; POWERS, J.; FELLMAN, J. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao'* var.) powder. **Journal of Food Engineering**. v. 111, p. 135-148, 2012.

CARDOSO, S. M. **Fontes e doses de nitrogênio na nutrição, produção e qualidade do feijoeiro**. Botucatu – SP, UNESP, 2011, 102 p.

CARDADOR-MARTINEZ, A.; LOARCA-PINA, G.; OOMAH, B. D. Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 24, p. 6975-6980, 2002.

CARNEIRO, J. C. S. **Processamento industrial de feijão, avaliação sensorial descritiva e mapa de preferência**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CARNEIRO, H. S. Comida e sociedade: significados sociais na história da alimentação. **História: Questões & Debates**, v. 42, n. 1, p. 71-80, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO, J. M. G.; BUENO, S. G. S.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas da secagem do grão de girassol. **Global Science Technology**, v. 11, n. 2, p. 136-149, 2018.

CASTILHO, F.; FONTANARI, G. G.; BATISTUTI, J. P. Avaliação de algumas propriedades funcionais das farinhas de tremçoço doce (*Lupinus albus*) e feijão guandu

(*Cajanus cajan* (L) Millsp) e sua utilização na produção de fiambre. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 68-75, 2010.

CHAROENTHAIKIJ, P.; JANGCHUD, K.; JANGCHUD, A.; PIYACHOMKWAN, K.; TUNGTRAKUL, P. PRINYAWIWATKUL, W. Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 9, p. 658-665, 2009.

CHAYJAN, R. A.; SHADIDI, B. Modeling highmoisture faba bean drying in fixed and semi-fluidized bed condition. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, p. 200-211, 2014.

CHINMA, C. E.; ADEWUYI, A. O.; ABU, J. O. Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut. **Food Research International**, v. 42, n. 8, p. 1004-1009, 2009

CHINMA, C. E.; ANUONYE, J. C.; SIMON, O. C.; OHIARE, R. O.; DANBABA, N. Effect of germination on the physicochemical and antioxidant characteristics of rice flour from three rice varieties from Nigeria. **Food Chemistry**, v. 185, n. 15, p. 454-458, 2015.

COLAÇO, P. C.; DEGÁSPARI, C. H. Benefícios da faseolamina (*Phaseolus vulgaris* L.) - uma revisão. **Visão Acadêmica**, v. 15, n. 1, p. 107-118, 2014.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a Agropecuária** – Brasília, 2018. (v. 6, p. 1-112, 2018). Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>>. Acesso em: 17 out. 2018.

CORADI, P. C.; MILANE, L. V.; DIAS, C. F.; BAILO F. H. R. Mathematical modeling of drying maize grains in different temperatures. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 14, n. 2, p. 247-259, 2015.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

- CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; CAMPOS, S. C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 575-581, 2011.
- COUGO, C. M. S.; LUNARDI, H.; ROSA, G. S. Cinética de degradação dos compostos bioativos da amora-preta durante o processo de secagem convectiva. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis, 2014.
- CROCHET, P.; BEAUXIS-LAGRAVATE, T.; NOEL, T. R.; PARKER, R.; RING, S. G. Starch crystal solubility and starch granule gelatinisation. **Carbohydrate Research**, v. 340, n. 1, p. 107-113, 2005.
- CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO NETO, N. B.; ITO, H. M.; VIVAN, M. R. Efeito da submersão em água de sementes de feijão na germinação e no vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 49-54, 2002.
- DELFINO, R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Interação de polifenóis e proteínas e o efeito na digestibilidade da cultivar Pérola (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 2, p. 308-312, 2010.
- DEUNER, C.; MAIA, M. S.; DEUNER, S.; ALMEDIDA, S.; MENEGHELLO, G. E. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 711-720, 2011.
- DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. In: DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 9-37.
- DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIQUEIREDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grão de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.
- DOYMAZ, I.; PALA, M. The thin-layer drying characteristics of corn. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 2, p. 125-130, 2003.
- DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 359-364, 2004.

DOYMAZ, I. Air drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1291-1297, 2007.

DUEÑAS, M.; HERNÁNDEZ, T.; ESTRELLA, I.; FERNÁNDEZ, D. Germination as a Process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.). **Food Chemistry**. v. 117, p. 599-607, 2009.

DUARTE, M. S. L. **Digestibilidade in vivo e in vitro de proteínas de feijão preto**. 1999. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S n. 1984. p.446-702.

FAO. **Food and Agriculture Organization. Statistical Databases**. 2004. Disponível em: <[https:// www.fao.org.br](https://www.fao.org.br)>. Acesso em: 19 nov. 2019.

FEITOSA, R. M.; SILVA, R. C.; AMADEU, L. T. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Modelos matemáticos na predição do comportamento higroscópico para pó do mix de batata yacon e suco de lima. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 319-324, 2017.

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

FERNANDES, A. C.; DUTRA, B. E.; PROENÇA, R. P. C. Critérios de qualidade nutricional e sensorial de preparações de feijão preto e vermelho. **Nutrição em Pauta**, v. 85, n. 1, p. 68-72, 2007.

FERREIRA NETO, J. R. C.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, S. M. S.; LOPES, A. C. A.; FRANCO, L. J. D. Composição química dos grãos secos em genótipos de feijão-caupi. In: Congresso nacional de feijão-caupi, 1.; Reunião nacional de feijão-caupi, 6., 2006, Tecnologias para o agronegócio: Embrapa Meio-Norte, 2006, **Anais...** Teresina, 2006.

FERREIRA, M. M. P. **Desenvolvimento caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial**. 2004. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Carlos 2004.

FIORI, L.; FAVERI, D.; CASAZZA, A. A.; PEREGO, P. Grape by-products: extraction of polyphenolic compounds using supercritical CO₂ and liquid organic solvent– a preliminary investigation. **Cyta-Journal of Food**, v. 7, p. 163– 171, 2009.

FIORENTIN, S. D.; TEIXEIRA, F. R.; SILVA, S. Z.; BERNARDI, D. M.; SANTOS, S. M. V.; LOVATO, F. R. O desenvolvimento de formulações biscoitos tipo cookies com adição de farinha de feijão caupi brs xiquexique. **FAG Journal of Health**, v. 1, n. 2, p. 36-47, 2019.

FORDHAM, J. R.; WELLS, C. E.; CHEN, L. H. Sprouting of seeds and nutrient composition of seeds and sprouts. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 3, p. 552-556, 1975.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

FREIRE FILHO, F. R.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO, A. G. Caupi: nomenclatura científica e nomes vulgares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 12, p. 1369-1372, 1983.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. **O caupi no Brasil**. Brasília: Embrapa, 1988. p. 26-46.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, A. A. Cultivares de caupi para a região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 67-88.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 29-92.

FROTA, K. M. G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H. N.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Cholesterol-lowering properties of whole cow pea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 9, p. 235-240, 2008.

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 44-50, 2010.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill), variedade pérola utilizando a técnica de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 4, p. 387-394, 2014.

GEA. Niro Research Laboratory. **Wettab Método Niro**, GEA Niro analytical methods. Soeborg, Dinamarca: GEA Niro, 2006.

GIUSTINA, D.; ELÁUDIO, J. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2003-2004/Tomate**. Santa Catarina: Instituto Cepa, 2005. p. 121-128.

GOLDSTEIN, JL; SWAIN, T. Alterações de taninos em frutos maduros. **Fitoquímica**, v. 2, n. 4, p. 371-382, 1963.

GOMES, G. M. S.; REIS, C. R.; SILVA, C. A. D. T. Obtenção de farinha de feijão caupi. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 31-36, 2012.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASAE**, v. 53, n. 1, p. 191-197, 2010.

GONELI, A. L. D.; SARATH, K. L. L.; ARAÚJO, W. D.; GANCEDO, R.; NASU, A. K. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014.

GOUVEIA, D. S.; UGULINO, S. M. P.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. C. Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja. **Holos**, v. 27, n.1, p. 38- 48, 2011.

HARE, D.; AYTON, S.; BUSH, A.; LEI, P. A delicate balance: Iron metabolism and diseases of the brain. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 5, p. 1-19, 2013.

HASSIMOTTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F.M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruits pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 8, p. 2928-2935, 2005.

HAUSNER, H. H. **Condições de atrito em uma massa de pós metálicos**. Int. J. Powder Metall. 3. 1967, p. 7 – 13.

HOLSE, M.; HUSTED, S.; HANSEN, A. Chemical composition of marama bean (*Tylosema esculentum*) – A wild African bean with unexploited potencial. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 1, p. 648-657, 2010.

HORNETZ, B.; SHISANYA, C. A.; GITONGA, N. M. Crop water relationships and thermal adaptation of kathika beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and green grams (*Vignaradiata* L. Wilczek) with special reference to temporal patterns of potential growth in the dry lands of SE Kenya. **Journal of Arid Environments**, v. 48, p. 591-601, 2001.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Prevê safra de grãos 6,8% menor em 2018** – Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/19474-ibge-preve-safra-de-graos-6-8-menor-em-2018>>. Acesso em: 28 out. 2018.

IGNAT, I.; VOLFF, I.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, v. 126, n. 4, p. 1821-1835, 2011.

JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G; MUIR, W. E. **Stored-Grain Ecosystems**. New York: Marcel Dekker, INC, 1995. 757 p.

KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, R. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 531-537, 2006.

KARA, S.; ERÇELEBI, E. A. Thermal degradation kinetics of anthocyanins and visual colour of Urmumul berry (*Morus nigra* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 541-547, 2013.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KECHINSKI, C. P.; GUIMARÃES, P. V. R.; NOREÑA, C. P. Z.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Degradation kinetics of anthocyanin in blueberry juice during thermal treatment. **Journal Food Science**, v. 75, n. 2, p. 173-176, 2010.

KTENIOUDAKI, A.; ALVAREZ-JUBETE, L.; SMYTH, T.S.; KILCAWLEY, K.; RAI, D. K.; GALLAGHER, E. Application of bioprocessing techniques (sourdough fermentation and technological aids) for brewer's spent grain breads. **Food Research International**, v. 73, p. 107-116, 2015.

LANDIM, A. P. M.; BARBOSA, M. I. M. J.; BARBOSA JÚNIOR, J. L. Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. **Ciência Rural**, v. 46, n. 10, p. 1714-1722, 2016.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003.

LEAL, A. S.; GONÇALVES, C. G.; VIEIRA, I. F. R.; CUNHA, M. R. R.; Gomes, T. C. B.; MARQUES, F. R. Avaliação da concentração de minerais e dos fatores antinutricionais fitato e oxalato em multimisturas da Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG. **Nutrire**, v. 35, n. 2, p. 39-52, 2010.

LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, D. P. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 45, n. 2, p. 155-162, 2015.

LEITE, D. D. F.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, A. S.; GONÇALVES, M. C.; ALMEIDA, M. C. B. M. Propriedades funcionais da semente do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in natura e germinado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 07-11, 2016.

- LEITE, D. D. F. **Obtenção da farinha da semente de jaca germinada**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
- LEITE, D. D. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; LIMA, L. S. L. Mathematical drying kinetics modeling of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 3, p. 361-369, 2019.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L., DOUCE, R. **Methods in enzymology**, 1987. v. 148, p. 350-382.
- LIEN, D. T. P. Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and vitamin C in full fat germinated soy flours. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 10-14, 2017.
- LILL, R.; HOFFMANN, B.; MOLIK, S.; PIERIK, A. J.; RIETZSCHEL, N.; STEHLING, O.; UZARSKA, M. A.; WEBERT, H.; WILBRECHT, C. MÜHLENHOFF, U. The role of mitochondria in cellular iron-sulfur protein biogenesis and iron metabolism. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research**, v. 1823, n. 9, p. 1491-1508, 2012.
- LIMA, A. L. **Produção de brotos de Fabaceae para o consumo humano**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- LIMA, V. C. O.; SILVA, P. F. S.; ALVES, N. R. M.; PEREIRA, D. A. O.; FIGUEIREDO, J. B. S.; COSTA, I. S.; CARVALHO, F. M. C.; SANTOS, E. A.; MORAIS, A. H. A.; CARVALHO, C F. M.; ANTUNES S. E.; MORAIS, A. H. A. Atividade hemaglutinante em sementes exóticas germinadas e comestíveis. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde**, v. 7, n. 3, p. 16-26, 2017.
- LIN, P. Y.; LAI, H. S. Bioactive compounds in legumes and their germinated products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 11, p. 3807-3814, 2006.
- LONDERO, P. M. G. Análise de frações de fibra alimentar em cultivares de feijão cultivadas em dois ambientes. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2033-2036, 2008.

- LOPES, C. O.; DESSIMONI, G. V.; COSTA, M. S.; VIEIRA, G.; PINTO, N. A. V. Aproveitamento, composição nutricional e antinutricional da farinha de quinoa (*Chenopodiumquinoa*). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 4, p. 669-675, 2009.
- LOVATO, F.; KOWALESKI, J.; SILVA, S. Z.; HELDT, L. F. S. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal Food Technology**, v. 21, p. 1-6, 2018.
- LOS, F. G. B.; ZIELINSKI, A. A. F.; WOJEICCHOWSKI, J. P.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I. M. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seedswith complex chemical composition. **Current Opinion in Food Science**, v. 19, n. 1, p. 63-71, 2018.
- LOURES, N. T. P. **Caracterização Físico-Química, Microbiológica e Sensorial de Brotos de Lentilha da Variedade Precoz**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.
- LUJÁN, D. L. B.; LEONEL, A. J.; BASSINELLO, P. Z.; COSTA, N. M. B. Variedades de feijão e seus efeitos na qualidade proteica, na glicemia e nos lipídios sanguíneos em ratos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 142-149, 2008.
- MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C.; COSTA, P. R.; DONÁ, F. L. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 142-148, 2006.
- MACHADO, A. L. L.; BARCELOS, M. F. P.; TEIXEIRA, A. H. R.; NOGUEIRA, D. A. Avaliação de componentes químicos em brotos de Fabaceae para o consumo humano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1071-1078, 2009.
- MADAMBA, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. **Drying technology**, v. 21, n. 9, p. 1759-1780, 2003.
- MAMILLA, R. K.; MISHRA, V. K. Effect of germination on antioxidant and ACE inhibitory activities of legumes. **LWT – Food Science and Technology**, v. 75, p. 51-58, 2017.

MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C. RÉMÉSY, C., JIMENEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, n. 5, p. 727-747, 2004.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2005. 495 p.

MARTINS, L. S.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; NORRANO, M. A.; ARAÚJO, M. A. M.; MENESES, N. A.; FROTA, K. M. Utilizações de formulações adicionadas de farinha de feijão caupi em pré-escolares com anemia ferroprina. In: Congresso nacional de feijão-caupi, 1.; Reunião nacional de feijão-caupi, 6., 2006, Tecnologias para o agronegócio: Embrapa Meio-Norte, 2006, **Anais...** Teresina, 2006.

MARQUEZI, M.; GERVIN, V. M.; WATANABE, L. B.; BASSINELLO, P. Z.; AMANTE, E. R. Propriedades físicas e químicas do amido e farinha de diferentes cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, p. 1-8, 2016.

MARQUEZI, M. **Caracterização de brotos de feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.) obtidos após diferentes condições de germinação e secagem**. 2016. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MASISI, K.; MOHAMMED, B. C.; MOGHADASIAN, H. Propriedades antioxidantes de diversos grãos de cereais: uma revisão em estudos in vitro e in vivo. **Química dos Alimentos**, v. 196, p. 90-971, 2016.

MARTINEZ, P. C. C. **Efeito da radiação gama e do processo de germinação sobre as características nutricionais do feijão**. 2011. 220 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MARTINEZ, A. P. C.; MARTINEZ, P. C. C.; SOUZA, M. C.; BRAZACA, S. G. C. Alterações químicas em grãos de soja com a germinação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 23-30, 2011.

- MAZUR, C. A. Efeitos do feijão branco (*Phaseolus vulgaris* L.) na perda de peso. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 8, n. 48, p. 404-411, 2014.
- MBA, O. I.; KWOFIE, E. M.; NGADI, M. Kinetic modelling of polyphenol degradation during common beans soaking and cooking. **Heliyon**, v. 1, p. 1-7, 2019.
- MCALLUM, E. J.; HARE, D. J.; VOLITAKIS, I.; MCLEAN, C. A.; BUSH, A. I.; FINKELSTEIN, D. I.; ROBERTS, B. R. Regional iron distribution and soluble ferroprotein profiles in the healthy human brain. **Progress in Neurobiology**, 2019. doi:10.1016/j.pneurobio.2019.101744
- MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, S. G.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores antinutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 109-114, 2005.
- MEDEIROS, J. S. **Elaboração e caracterização físico-química da farinha de batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2015. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Currais Novos, 2015.
- MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; CAETANO, J. M.; REIS, V. B. S. X.; ANTUNES, A. M.; SANTOS, M. M. Modelagem matemática das curvas de secagem de grãos de feijão carioca. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p. 247-252, 2016.
- MERCALI, G. D.; GURAK, P. D.; SCHMITZ, F.; MARCZAK, L. D. F. Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice. **Food Chemistry**, v. 171, p. 200-205, 2015.
- MIAH, M. R.; IJOMONE, O. M.; OKOH, C. O. A.; IJOMONE, O. K.; AKINGBADE, G. T.; KE, T.; KRUM, B.; MARTINS JR., A. C.; AKINYEMI, A.; ARANOFF, N.; SOARES, F. A. A.; BOWMAN, A. B.; ASCHNER, M. The effects of manganese overexposure on brain health., **Neurochemistry International**, v. 135, 2020.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503-1513, 2002.

- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 1, p. 426-428, 1959.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- MOKTAN, K.; PRAVIN, O. Quality evaluation of physical properties, antinutritional factors, and antioxidant activity of bread fortified with germinated horsegram (*Dolichus uniflorus*) flour. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 5, p. 766-771, 2016.
- MORAD, M. M., RUBENTHALER, G. L. Germination of soft white wheat and its effect in flour fractions, breadbaking, and crumb firmness. **Cereal Chemistry**, v. 60, n. 6, p. 413-417, 1983.
- MORAIS, S. J. S. **Cinética de secagem de grãos de feijão-caupi**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Goiás, Anápolis, 2010.
- MORAIS, S. J. S.; FERREIRA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 455-463, 2013.
- MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; FROTA, K. M.; MENESES, N. A.; MARTINS, L. S.; ARAÚJO, M. A. M. Aceitação de formulações desenvolvidas à base de farinha de feijão-caupi. In: In: Congresso nacional de feijão-caupi, 1.; Reunião nacional de feijão-caupi, 6., 2006, Tecnologias para o agronegócio: Embrapa Meio-Norte, 2006, **Anais...** Teresina, 2006.
- MOREIRA, S. S. **Aspectos do desenvolvimento em feijão comum (*Phaseolus Vulgaris* L.) inoculados com *Trichoderma* spp.** 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal do Instituto de Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Goiânia, 2014.
- MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; RODOLFO JUNIOR, F. Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 4, p. 318-328, 2017.

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

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, p. 95-111, 2004.

NAPPI, G. U.; RIBEIRO-CUNHA, M. R.; COELHO, J. V.; JOKL, L. Validação de métodos para determinação dos ácidos fítico e oxálico em multimistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 811-820, 2006.

NASCIMENTO, A. P. S.; LIMA, A. K. S.; CAVALCANTI, C. F.; GUSMÃO, R. P. Cinética de secagem de vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* SW). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5 (especial), p. 115-119, 2015.

NIRMALA, M.; SUBBA, R. M. V. S. S. T.; MURALIKRISHNA, G. Carbohydrates and their degrading enzymes from native and malted finger millet (Ragi, *Eleusine coracana*, Indaf-15). **Food Chem**, v. 69, p. 175–80, 2000.

NUTTI, M. R.; ROCHA, M. M.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. Biofortificação de feijão-caupi no Brasil. In: II Congresso Nacional de Feijão-Caupi, Embrapa Amazônia Oriental - Belém, 2009, **Anais...** Belém 2009. p. 26-38.

OLIVEIRA, F. E. M. **Feijão: curvas de absorção de água e elaboração de farinhas**. 1996. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

OLIVEIRA, A. C.; QUEIROZ, K. Z.; HELBIG, E.; REIS, S. M. P. M.; CARRARO, F. The domestic processing of the common bean resulted in a reduction in the phytates and tannins antinutritional factors, in the starch content and in the raffinose, stachiose and verbacose flatulence factors. **Archivos Latino americanos de Nutrición**, v. 51, p. 276-283, 2001.

OLIVEIRA, L. P.; CESCINETTO, G.; SCHVEITZER, B.; FOPPA, T. Avaliação e composição nutricional da farinha de beterraba e sua utilização no preparo de sobremesas. **RIES**, v. 2, n. 1, p. 13-19, 2013

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; CAMPOS, R. C.; DONADO J. R. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecamento e do calor isostérico para sementes de arroz em casca. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 203-210, 2014.

OLIVEIRA, G. R. F.; SILVA, M. S.; MARCIANO, T. Y. F.; PROENÇA, S. L.; SÁ, M. E. Crescimento inicial do feijoeiro em função do vigor de sementes e inoculação com *Bacillus subtilis*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 4, p. 439-448, 2016.

OOMAH, B. D.; PATRAS, A.; RAWSON, A.; SINGH, N.; COMPOS-VEGA, R. Chemistry of pulses. In: **Pulse foods: processing, quality and technological applications**. London: Academic Press, 2011, p. 9-56.

OHTSUBO, K.; SUZUKI, K.; YASUI, Y.; KASUMI, T. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. **Journal Food Comp Anal**, v. 18, p. 303–316, 2005.

OWUAMANAM, C. I.; IHEDIOHANMA, N. C.; NWANEKEZI, E. C. Sorption isotherm, particle size, **chemical and physical properties of cocoyam corm flours**. v. 2, n. 8, p. 11–19, 2014.

PAJAK, P.; SOCHA, R.; GALKOWSKA, D.; ROZNOWSKI, J.; FORTUNA, T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. **Food Chemistry**, v. 143, n. 1, p. 300-306, 2014.

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

PELLEGRINI, N.; SERAFINI, M.; SALVATORE, S.; DEL RIO, D.; BIANCHI, M.; BRIGHENTI, F. Total antioxidant capacity of spices, dried fruits, nuts, pulses, cereals and sweets consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 50, n. 11, p. 1030-1038, 2006.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N. DE; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PEREIRA, L. L. S. **Estudo comparativo entre faseolamina comercial e farinha de feijão como perspectiva ao tratamento da obesidade e do diabetes mellitus tipo 2**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

PEREIRA, L. L. S.; SANTOS, C. D.; PEREIRA, C. A.; MARQUES, T. R.; SÁTIRO, L. C.; Precipitação do inibidor de α -amilase de feijão branco: avaliação dos métodos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 1, p. 15-20, 2010.

PIMENTEL, C. V. M. B; FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais**: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: Varela, 2005, 95 p.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2.ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

PRISTA, L. V. N.; ALVES, A. C.; MORGADO, R. **Técnica Farmacêutica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2003. 290p.

QUEQUETO, W. D.; SIQUEIRA, V. C.; FERRANTI, L. F.; SCHOENINGER, V.; LEITE, R. A. Cinética de secagem dos grãos de feijão cultivar ipr Tangará. **Energia na Agricultura**, v. 32, n.4, p.408-415, 2017.

REIS, D. R.; SANTOS, P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G. Influência das características do ar na cinética de secagem de pimenta variedade bico. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 146-154, 2015.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; LÊDA, R. D.; CECON, P. R. Avaliação da qualidade tecnológica do feijão durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 517-524, 2008.

RESENDE, O.; FERREIRA, L.U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

RANDHIR, R.; LIN, Y.; HETTY, K. Stimulation of phenolics, antioxidant and antimicrobial activities in dark germinated mung bean sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 637-646, 2004.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. B. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Agrotécnica**, v. 26, n. 3, p. 550-558, 2002.

ROCKENBACH, R.; ÁVILA, B.; MONKS, J.; PERES, W., GULARTE, M. A.; ELIAS, M. C. Efeitos da germinação na composição nutricional de feijão azuki. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2016, Gramado, **Anais...** Gramado, 2016.

RODRIGUES, M. L.; SOUZA, A. R. M.; LIMA, J. C. R.; MOURA, C. J.; GERALDINE, R. M. Cinética da degradação de carotenoides e da alteração de cor do azeite de pequi submetido ao aquecimento em temperatura de fritura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1509-1515, 2013.

SACILIK, K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 23-30, 2007.

SALES, M. G.; RODRIGUES, M. A. C. Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do caupi. In. **O Caupi no Brasil**. Brasília: EMBRAPAICNPAF, 1988. p. 697-722.

SANGRONIS, E.; MACHADO, C. J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 116-120, 2007.

SANT'ANNA, V.; BRANDELLI, A.; MARCZAKA, L. D. F.; TESSARO, I. C. Kinetic modeling of total polyphenol extraction from grape marc and characterization of the extracts. **Separation and Purification Technology**, v. 100, n. 1, p. 82-87, 2012.

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

SANTOS, A. P.; GOMES, P. T.T.; ANTUNES, L. B. B.; RAMILO, V. M. P.; ALMEIDA, J. M.; RIGO, M.; DALLA SANTA, O. R. Farinha de feijão – caracterização química e a

aplicação em torta de legumes. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 11, n. 2, p. 227-236, 2009.

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

SCHARDONG, E.; CALABRESI, E.; ZWICK, P.; COLOMBO, T.; GONÇALVES, V. L. C. A resposta ao potencial de desenvolvimento do broto de alfafa (*Medicago sativa* L.) com o uso de luz durante o ciclo de crescimento. **Revista Mirante**, v. 3, n. 1, p. 68-74, 2013.

SIDDIQ, M.; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D. Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. **LWT – Food Science and Technology**, v. 43, n. 2, p. 232-237, 2010.

SILVA, C. O.; GOMES, J. C.; COSTA, N. M. B.; ANDRADE, N. J.; MINIM, V. P. R. Caracterização nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) após processamento térmico. **Revista Ceres**, v. 3, n. 309, p. 528-532, 2006.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; BRAZACCA, S. G. C. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.

SILVA, R. G. V. **Caracterização físico-química de farinha de Batata-doce para produtos de panificação**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – UESB, Vitória da Conquista, Bahia, 2010.

SILVA, F. L. **Avaliação físico-química em grãos de diferentes variedades de *Phaseolus vulgaris* L. in natura germinados**. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Nutrição) – Núcleo de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2011.

SILVA, T. C. F. S.; SILVA, R. C. B.; SILVA, J. E. S. B.; SANTOS, R. S.; ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F. Germinação de sementes de melancia sob diferentes métodos de tratamento com reguladores vegetais. **Scientia Plena**, v. 10, n. 3, p. 1-15, 2014.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of ‘Cabacinha’ pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p.174-180, 2016.

SILVA, I. L.; HELLISMAR, W. S.; CARMARGO, F. R. T.; FARIAS, H. F. L.; FREITAS, E. F. M. Druing and diffusivityof melon seeds. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 309-315, 2018.

SILVA, M. L. T.; BRINQUES, G. B.; GURAK, P. D. Utilização de farinha de subproduto de brotos para elaboração de massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 22, p. 1-10, 2019.

SINGH, B. B. Recent progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulturae**, v. 752, n. 752, p. 69-75, 2007.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Difusividade efetiva de grãos e frutos de pinhão-manso. **Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2919- 2930, 2012.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOUSA, L. F.; ARAÚJO, M. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA. P. S.; MEDEIROS, A. S.; MAGALHÃES, I. D. Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico. **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 33-40, 2019.

SOUZA, E. L.; PINTO, I. C. S.; OLIVEIRA, M. E. G.; LIMA, M. A.; DONATO, N. R.; CAMBUIM, R. B. Fatores antinutricionais: elementos de interferência sobre a biodisponibilidade de nutrientes. **Higiene alimentar**, v. 19, n. 131, p. 19-23, 2005.

TAKIKAWA, A. Y. **Cinética de degradação térmica de antocianinas e seu impacto na cor e na capacidade antioxidante in vitro em frutas vermelhas**. 2014. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4 ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

- TEIXEIRA, S. M.; FRASSON, S. F.; PINHEIRO, R. A.; VIZZOTTO, M.; BEVILAQUA, G. Variabilidade dos compostos bioativos e da atividade antioxidante em genótipos de leguminosas. In: XXV Congresso de iniciação científica, Universidade Federal de Pelotas, 2016, **Anais...** Pelotas, 2016.
- TIAN, B.; XIE, B.; SHI, J.; WU, J.; CAI, Y.; XU, T.; XUE, S.; DENG, Q. Physicochemical changes of oat seeds during germination. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1195-1200, 2010.
- TOLEDO, N. M. V.; ROCHA, L. C.; SILVA, A. G.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Interaction and digestibility of phase olin/polyphenol in the common bean. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 776-780, 2013.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.
- TORREZAN, R.; FRAZIER, R. A.; CRISTIANINI, M. Efeito do tratamento sob alta pressão isostática sobre os teores de fitato e inibidor de tripsina de soja. **B CEPPA**, v. 28, n. 2, p. 179-86, 2010
- UDAETA, J. E. M.; LAJOLO, F. M. Compostos fenólicos e sua relação com o endurecimento de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes condições de armazenamento. In: Simpósio Latino Americano de Ciência De Alimentos, 2., 1997, Campinas. **Anais...** Campinas: FEA/Unicamp, 1997.
- VIEIRA, R. F.; LOPES, J. D. S. **Produção de Brotos Comestíveis**: Feijão Moyashi, Alfafa, Trevo, Rabanete e Brócolis. Viçosa: CPT, 2001. 108 p.
- VIEIRA, R. F; VIEIRA, C. **Leguminosas graníferas**. Viçosa: UFV, 2001. 140 p.
- VILLELA, F. A.; NOVEMBRE, A. D. L. C.; FILHO, J. M. Estado energético da água na germinação de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 27-34, 2007.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 53, n. 4, p. 3-5, 2006.

WU, W. True protein digestibility and digestibility-corrected amino acid score of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 5, p. 1295-1298, 1995.

XAVIER, D. **Desenvolvimento de produtos alimentícios à base de farinha de trigo integral e ingredientes funcionais**. 2013. 185 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2013.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**. v. 57, p. 1-5, 1954.

ZÍLIO, M.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M.; MIQUELLUTI, D. J.; MICHELS, A. F. Cycle, canopy architecture and yield of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris*) in Santa Catarina State. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p. 21-30, 2013.

ZHANG, G.; ZHICUN, X.; YUANYUAN, G., XIANXIAO, H.; YANPING, Z.; TIANKUI, Y. Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 5, p. 1-9, 2015.

ZHOU, L.; CAO, Z.; BI, J.; YI, J.; CHEN, Q.; WU, X.; ZHOU, M. Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 842-853, 2016.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; WERNER, F.; JÚNIOR, E. U. R. NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 803-809, 2015.

