

Milene Marquezi

CARACTERIZAÇÃO DE BRODOS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) OBTIDOS APÓS DIFERENTES CONDIÇÕES DE GERMINAÇÃO E SECAGEM

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final à obtenção do grau de Doutora em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Edna Regina Amante

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Marquezi, Milene

Caracterização de brotos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) obtidos após diferentes condições de germinação e secagem / Milene Marquezi ; orientadora, Edna Regina Amante - Florianópolis, SC, 2016.
137 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos.

Inclui referências

1. Ciência dos Alimentos. 2. Feijão comum. 3. Germinação. 4. Secagem. 5. Modelagem matemática. I. Amante, Edna Regina. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Milene Marquezi

CARACTERIZAÇÃO DE BRODOS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) OBTIDOS APÓS DIFERENTES CONDIÇÕES DE GERMINAÇÃO E SECAGEM

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 01 de dezembro de 2016.

Ana Carolina de Oliveira Costa, Dra.
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos

Banca Examinadora:

Edna Regina Amante, Dra.
PGCAL/CCA/UFSC - Presidente

Carmen Maria Olivera Müller, Dra.
PGCAL/CCA/UFSC

Cristiane Vieira Helm, Dra.
EMBRAPA Florestas

Luís Carlos Vieira, Dr.
IFSC – Câmpus Canoinhas

Manoela Alano Vieira, Dra.
IFSC – Câmpus Xanxerê

Ao meu marido Cesar Augusto, pelo apoio e incentivo,
e à minha filha Larissa, que me acompanhou
dentro da barriga durante a reta final.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por todas as graças alcançadas na minha vida até o presente momento e por todas aquelas que ainda alcançarei.

Aos meus pais, **Amauri** e **Cristina**, e à minha irmã **Bianca** e meu cunhado **Nelson**, por todo o apoio e carinho. Mesmo com a distância, sempre estiveram presentes e torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu marido, amigo e companheiro **Cesar Augusto**, por acreditar em mim, sempre me dando força e me incentivando quando o cansaço e o desânimo me consumiam. Por ser mais que um marido, ser um companheiro para todas as horas! Te amo!

À minha filha **Larissa**, que me acompanhou durante a reta final dentro da minha barriga. Foi ela quem me deu o gás necessário para finalizar esse trabalho. Estamos ansiosos pra te conhecer!

À minha orientadora **Edna Regina Amante**, pelo apoio, confiança, dedicação e ensinamentos durante esses seis anos de laboratório, e por ser um exemplo de profissional no qual eu me espelho.

Aos demais professores do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, em especial aos professores **Carmen Müller**, **Deise Baggio** e **Pedro Barreto**, pela amizade, pelos ensinamentos, pelas conversas e risadas.

Aos professores e pesquisadores **Carmen Maria Olivera Müller**, **Luís Carlos Vieira**, **Cristiane Vieira Helm**, **Manoela Alano Vieira** e **Carlise Beddin Fritzen Freire** por terem aceitado de imediato a participação como banca da defesa de tese e pelas importantes contribuições a esse trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia de Frutas e Hortaliças, professora **Edna Regina Amante**, professora **Carmen Muller**, **Ana Carolina Aquino**, **Juliane Mascarenhas**, **Vanessa Gervin**, **Lucas Watanabe**, **Evellin Balbinot**, **Luís Carlos Oliveira**, **Daiana Cardoso**, **Mariana Correia**, **Isabela da Silveira**, **Catarina Braga**, **Suliana Andrade**, **Igor Medeiros**, **José Francisco**, **Karoline Panato**, **Fabiani**

Santana e demais pesquisadores que passaram pelo laboratório, pela ajuda, risadas, desabafos, cafés e principalmente, pela amizade. Durante esses seis anos de LFH, vocês foram a minha segunda família em Florianópolis e nunca esquecerei os momentos que compartilhamos durante esse período. Muito obrigada por tudo!

Aos colegas do Laboratório de Leites e Derivados, em especial a minha amiga **Nathalia Aceval**, por estarmos juntas desde 2005, quando éramos calouras do curso de Farmácia, passando pela habilitação em Tecnologia de Alimentos, mestrado em Ciência dos Alimentos e, agora, o doutorado.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos**, pela oportunidade, e também ao secretário **Sérgio de Souza**, ao **Sr. Bento** e ao **Sr. Carlos**, pela disposição em me atender todas as vezes que precisei, e também pelas conversas e risadas.

Ao **Sr. Silmar Hemp**, pesquisador da Epagri, por ser sempre gentil e prestativo, fornecendo as amostras para esse trabalho, além de todas as informações necessárias sobre o cultivo delas.

Aos meus colegas de trabalho do IFSC Câmpus Xanxerê, **Manoela Viera**, **Graciele Kuhn**, **Camila Gasparin**, **Luciana Senter**, **Antonio Gubert**, **Ieda Rottava**, **Franciele Pivetta** e demais servidores, pelas conversas, risadas e ajuda durante esse momento de transição, visto que tudo aconteceu ao mesmo tempo: doutorado, mudança de cidade, me tornar professora e agora, mãe. Graças a eles essas mudanças foram mais fáceis de serem assimiladas.

À **Capex** e ao **CNPq**, pelo financiamento e pela bolsa concedida para a realização desse trabalho.

A todas as pessoas citadas e àquelas que posso ter esquecido de mencionar.

A todos que torceram por mim, MUITO OBRIGADA!!!

RESUMO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão, liderando o consumo desta leguminosa. No entanto, apesar de possuir características nutricionais atrativas ao consumo e ao desenvolvimento de novos produtos a partir deles, é na forma tradicional cozido que o feijão ainda é consumido, estando presente, juntamente com o arroz, nos pratos dos brasileiros. No entanto, a prática de consumir alimentos crus tem aumentado, sendo os grãos germinados de leguminosas uma opção para alimentação. A germinação dos grãos apresenta a vantagem de reduzir seus fatores antinutricionais, além de aumentar sólidos e proteínas solúveis. No entanto, o grão na forma germinada é mais susceptível à contaminação por micro-organismos, com redução da sua vida útil. Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de germinação e secagem dos grãos de feijão, caracterizando-os físico-quimicamente e com relação a sua atividade antioxidante. A germinação a 25 °C, embora não tendo diferenças significativas em alguns parâmetros quando comparada com a germinação a 30 °C, foi a melhor temperatura para a germinação dos feijões para o estudo da secagem. Já para a secagem dos brotos, o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para as três temperaturas testadas (45, 55 e 65 °C), e as três temperaturas de secagem influenciaram nas características físico-químicas e atividade antioxidante dos feijões germinados. A germinação e secagem dos brotos não contribuíram para aumentar a atividade antioxidante, porém houve aumento do teor de proteínas e sólidos solúveis quando os grãos foram germinados, sendo que os sólidos solúveis continuaram com valores altos mesmo após a secagem dos brotos. O pH dos feijões germinados e secos se assemelharam ao do grão não germinado e, com a umidade reduzida, pode contribuir pelo aumento da vida útil dos brotos.

Palavras-chave: Feijão, germinação, secagem, modelagem matemática, atividade antioxidante.

ABSTRACT

Brazil is the world's third largest producer of beans, leading the consumption of this legume. However, despite having attractive nutritional characteristics consumption and development of new products from them, is the traditional cooked way that the bean is still consumed, being present, along with rice, the dishes of Brazilians. However, the practice of consuming raw food has increased, being the germinated grains of legumes an option for feeding. The germination of the grain has the advantage of reducing its anti-nutritional factors, as well as increasing solids and soluble proteins. However, the grain in germinated form is more susceptible to contamination by microorganisms, reducing their shelf life. Thus, the main objective of this study was to evaluate the conditions of germination and drying of beans, characterized physico-chemically and with respect to its antioxidant activity. Germination at 25 °C, while having no significant differences in some parameters when compared to the germination at 30 °C, was the best temperature for the germination of the beans to the drying study. As for the drying of the sprouts, the model of Midilli was the best fit to the experimental data for the three temperatures tested (45, 55 and 65 °C), and the three drying temperatures influenced the physicochemical characteristics and antioxidant activity of the germinated beans. The germination and drying of the sprouts did not contribute to increase antioxidant activity, but there was an increase of soluble protein and solids content when the grains were germinated, and the soluble solids continued high values even after drying of the sprouts. The pH of the germinated and dried beans were similar to the grain not germinated and with reduced humidity, could contribute by increasing the shelf life of the shoots.

Keywords: Bean, germination, drying, mathematical modeling, antioxidant activity.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1** - Estrutura do ácido fítico. 31
- Figura 2** - Inibidores de protease tipo A) Kunitz e B) Bowman-Birk. 32
- Figura 3** - Relação estrutural dos oligossacarídeos da família da rafinose. 34
- Figura 4** - Estruturas externas da semente do feijão. 35
- Figura 5** - Estruturas internas da semente do feijão. 36
- Figura 6** - Germinação de *Phaseolus vulgaris* L. 1-Radícula; 2-Cotilédone; 3-Hipocótilo; 4-Raiz lateral; 5-Raíz primária. 37
- Figura 7** - Estruturas das antocianidinas mais frequentemente encontradas em frutas e leguminosas. 41
- Figura 8** - Curvas de secagem características. 43

Capítulo 2

- Figura 1** - A) Colocação dos feijões nas bandejas adaptadas para a germinação e B) disposição das bandejas na incubadora BOD. 63
- Figura 2** - Danos causados nos feijões. A) Fungo em feijão procedente de Guatambu germinado a 20 °C; B) fungo em grão de feijão procedente de Guatambu germinado a 30 °C. 67
- Figura 3** - Comprimento das plântulas (hipocótilo e raiz primária) de feijão de acordo com a temperatura de germinação. A) Chapecó e B) Guatambu. 68

Capítulo 3

- Figura 1** - Curvas de secagem dos feijões germinados procedentes de A) Chapecó e B) Guatambu, nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C. 87
- Figura 2** - Curvas de taxa de secagem dos feijões germinados procedentes de A) Chapecó e B) Guatambu, nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C. 88
- Figura 3** - Gráficos dos dados experimentais de secagem e dos dados preditos pelo modelo matemático de Midilli nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C para

os feijões germinados procedentes de A) Chapecó
e B) Guatambu. 93

Capítulo 4

Figura 1 Viscoamilogramas dos feijões não-germinados e
- dos feijões germinados e secos nas temperaturas
de 45, 55 e 65 °C procedentes de A) Chapecó e
B) Guatambu. 111

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

- Tabela 1** - Produção mundial de feijão nos anos de 2010 a 2014. 27
- Tabela 2** - Composição centesimal média (g.100g⁻¹) do feijão comum in natura (*Phaseolus vulgaris* L.) segundo diferentes autores. 29
- Tabela 3** - Vitaminas e minerais encontrados em feijão preto. 30
- Tabela 4** - Germinação de feijão: preparo prévio, germinação e secagem segundo diferentes autores. 38

Capítulo 2

- Tabela 1** - Eficiência da germinação e comprimento das plântulas para os feijões procedentes de diferentes locais nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C. 66
- Tabela 2** - Características físico-químicas avaliadas nos feijões não germinados e germinados a diferentes temperaturas. 69
- Tabela 3** - Valores da atividade antioxidante para os feijões germinados a temperatura de 20, 25 e 30 °C. 72

Capítulo 3

- Tabela 1** - Modelos matemáticos teóricos considerados durante a cinética de secagem dos grãos de feijão germinados. 85
- Tabela 2** - Valores de umidade final dos feijões germinados secos nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C. 89
- Tabela 3** - Tempo necessário de secagem para que os brotos atingissem umidade inferior a 14%. 90
- Tabela 4** - Coeficientes dos modelos matemáticos ajustados das curvas de secagem dos feijões germinados para as temperaturas de 45, 55 e 65 °C. 91
- Tabela 5** - Equações de cinética de secagem de feijões germinados ajustados pelo modelo de Midilli. 93
- Tabela 6** - Parâmetros médios gerados pelo ajuste do modelo de Midilli para a secagem dos feijões germinados a 45, 55 e 65 °C. 94

Capítulo 4

- Tabela 1** Características físico-químicas avaliadas nos
- feijões não-germinados, germinados a 25 °C e nos
grãos germinados e secos a diferentes
temperaturas. 107
- Tabela 2** Atividade antioxidante para os feijões não-
- germinados, germinados a 25 °C e para os grãos
germinados e secos nas temperaturas de 45, 55 e
65 °C. 109
- Tabela 3** Propriedades viscoamilográficas dos feijões não-
- germinados e dos feijões germinados e secos a 45,
55 e 65 °C, obtidos através de amilogramas
construídos no RVA. 112

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de variância
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
BOD	Demanda bioquímica de oxigênio (em inglês <i>biochemical oxygen demand</i>)
B.S.	Base seca
B.U.	Base úmida
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DNA	Ácido desoxirribonucleico (em inglês <i>deoxyribonucleic acid</i>)
DP	Desvio padrão da média
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (em inglês <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>)
FRAP	Potencial antioxidante redutor férrico (em inglês <i>ferric reducing antioxidant potential</i>)
HP	Henderson e Pabis
IAL	Instituto Adolfo Lutz
NaOCl	Hipoclorito de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
<i>p</i>	Nível de significância
<i>r</i>	Coefficiente de correlação de Pearson
<i>R</i> ²	Coefficiente de determinação
RQME	Raiz quadrada média do erro
RU	Razão de umidade
RVA	Rápido Viscoanalisador (em inglês <i>Rapid Visco Analyser</i>)
SST	Sólidos solúveis totais
TROLOX	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico
U	Umidade absoluta
UBS	Umidade em base seca
<i>U_e</i>	Umidade de equilíbrio
<i>U_o</i>	Umidade inicial
<i>v</i>	Número de coeficientes e constantes

$Y_{\text{exp},i}$	Adimensional de umidade observado experimentalmente
$Y_{\text{pre},i}$	Adimensional de umidade predito pelo modelo
χ^2	Qui-quadrado reduzido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
Capítulo 1 – Revisão Bibliográfica	
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
1.1 FEIJÃO	27
1.2 ASPECTOS NUTRICIONAIS DO FEIJÃO	28
1.3 MORFOLOGIA DAS SEMENTES E GERMINAÇÃO	35
1.4 EFEITO DA GERMINAÇÃO SOBRE OS FATORES ANTINUTRICIONAIS	39
1.5 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO FEIJÃO	40
1.6 SECAGEM	42
REFERÊNCIAS	43
Capítulo 2 – Efeito da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	
RESUMO	59
ABSTRACT	60
1 INTRODUÇÃO	61
2 MATERIAL E MÉTODOS	62
2.1 MATERIAL	62
2.1.1 Informações gerais sobre a cultivar	62
2.2 GERMINAÇÃO	62
2.3 PREPARO DO MATERIAL DE ANÁLISE	63
2.4 COMPRIMENTO DAS PLÂNTULAS	63
2.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	64
2.5.1 Umidade a 105 °C e acidez total titulável	64
2.5.2 Determinação de sólidos solúveis totais (SST) por refratometria	64
2.5.3 Proteínas solúveis	64
2.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	65
2.6.1 Atividade antioxidante pelo método DPPH* (2,2-difenil-1-picrilhidrazila)	65
2.6.2 Potencial antioxidante redutor férrico (FRAP)	65
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	66
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66

3.1 EFICIÊNCIA DA GERMINAÇÃO E COMPRIMENTO DAS PLÂNTULAS	66
3.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	69
3.3 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	71
4 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS	74

Capítulo 3 – Avaliação das características de secagem de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) germinado a 25 °C

RESUMO	81
ABSTRACT	82
1 INTRODUÇÃO	83
2 MATERIAL E MÉTODOS	83
2.1 MATERIAL	83
2.2 GERMINAÇÃO	84
2.3 TEMPERATURA E TEMPO DE SECAGEM DOS FEIJÕES GERMINADOS	84
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	86
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4 CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS	95

Capítulo 4 – Caracterização físico-química e atividade antioxidante de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) germinados a 25 °C e secos em estufa de circulação de ar

RESUMO	101
ABSTRACT	102
1 INTRODUÇÃO	103
2 MATERIAL E MÉTODOS	104
2.1 MATERIAL	104
2.2 GERMINAÇÃO E SECAGEM DOS FEIJÕES	104
2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	105
2.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	105
2.5 PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DAS FARINHAS DE FEIJÃO GERMINADO	106
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	106
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
3.1 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	106
3.2 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	109

3.3 PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DAS FARINHAS DE FEIJÃO GERMINADO	110
4 CONCLUSÃO	113
REFERÊNCIAS	114
CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
APÊNDICE	
APÊNDICE A - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Sigh para as secagens dos feijões procedentes de Chapecó germinados na temperatura de 45 °C.	123
APÊNDICE B - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Sigh para as secagens dos feijões procedentes de Guatambu germinados na temperatura de 45 °C.	124
APÊNDICE C - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Sigh para as secagens dos feijões procedentes de Chapecó germinados na temperatura de 55 °C.	125
APÊNDICE D - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Sigh para as secagens dos feijões procedentes de Guatambu germinados na temperatura de 55 °C.	126
APÊNDICE E - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Sigh para as secagens dos feijões procedentes de Chapecó germinados na temperatura de 65 °C.	127
APÊNDICE F - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Sigh para as secagens dos feijões procedentes de Guatambu germinados na temperatura de 65 °C.	128

APÊNDICE G - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 45 °C dos feijões procedentes de Chapecó.	129
APÊNDICE H - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 45 °C dos feijões procedentes de Guatambu.	130
APÊNDICE I - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 55 °C dos feijões procedentes de Chapecó.	131
APÊNDICE J - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 55 °C dos feijões procedentes de Guatambu.	132
APÊNDICE K - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 65 °C dos feijões procedentes de Chapecó.	133
APÊNDICE L - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 65 °C dos feijões procedentes de Guatambu.	134

ANEXO

ANEXO A - Artigo “Efeito da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum” publicado na revista “Scientia Rural” (ISSN: 2178 – 3608)	137
---	-----

INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa cultivada e consumida em todos os continentes e o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor e o maior consumidor mundial desse grão. A importância nutricional e econômica do feijão, apesar de expressiva, não tem levado ao desenvolvimento de novos produtos, diferentemente do que ocorreu com a soja. Portanto, o consumo do feijão está associado ao grão inteiro e, no mercado, o consumidor não encontra alternativas para beneficiar-se dos importantes componentes deste grão de modo condizente ao seu moderno estilo de vida, na forma de produtos prontos para consumo. A FAO dedicou o ano de 2016 como o ano internacional da leguminosa e o feijão é a mais importante leguminosa consumida no Brasil, apesar do seu consumo comum, o que significa mais uma justificativa para os estudos sobre valorização e novas oportunidades para o feijão como matéria prima.

São inúmeros os estudos sobre proteínas, fibras, minerais e compostos funcionais de leguminosas (THANH; SHIBASAKI, 1976; FERREIRA et al., 2010; AGUILERA et al., 2011). No entanto, é ainda no consumo convencional na forma de grãos que estes compostos são ingeridos, preparados em cardápios convencionais de mesa.

O crudivorismo, ou seja, a prática de se alimentar somente de alimentos crus, tem crescido nos últimos anos. Nesse tipo de dieta, a alimentação é baseada em frutas frescas, vegetais, sementes, grãos germinados e carnes de animais crus. No caso dos grãos germinados, neste processo as substâncias de armazenamento são convertidas em formas de melhor utilização pelo organismo. Embora o consumo de brotos de leguminosas ainda não seja comum no Brasil, vários trabalhos indicam que existe aumento da atividade antioxidante e proteínas solúveis, e redução de compostos antinutricionais quando as sementes são germinadas (LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006; KATTAK et al., 2007; VERNAZA et al., 2012).

Apesar dos referidos benefícios que a germinação proporciona aos grãos, o curto período de conservação dos grãos germinados constitui uma desvantagem. Além disso, a alta umidade somada a uma faixa de pH ideal para o crescimento de micro-organismos patogênicos reúnem fatores de risco para o consumo dessas leguminosas. Considerando a confiança adquirida pelos consumidores, proveniente de informações de fácil acesso, porém sem comprovação científica, este fato pode representar risco à saúde pública.

Não foram encontrados na literatura, estudos definindo as melhores condições de germinação e secagem para os brotos de feijão. Desse modo, essa proposta tem como objetivo geral a seleção de melhores temperaturas de germinação e secagem dos brotos de feijão, viabilizando um produto com as características de um grão germinado fresco, caracterizando-os físico-quimicamente e com relação a sua atividade antioxidante.

Este trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Revisão Bibliográfica, abordando os principais temas envolvidos no trabalho, ou seja, produção do feijão no Brasil e no mundo, morfologia das sementes e características da germinação, aspectos nutricionais dos grãos, influência da germinação sobre os compostos antinutricionais, atividade antioxidante e processo de secagem.

Capítulo 2: Estudo da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante do feijão, cujo objetivo foi avaliar o efeito das temperaturas de 20, 25 e 30 °C sobre a germinação dos grãos, no que diz respeito à eficiência da germinação, comprimento das plântulas, características físico-químicas e atividade antioxidante utilizando os métodos DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) e FRAP (potencial antioxidante redutor férrico).

Capítulo 3: Avaliação das características de secagem do feijão germinado a 25 °C, que objetivou o levantamento experimental das curvas de secagem e o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais obtidos com a secagem dos grãos germinados a 45, 55 e 65 °C.

Capítulo 4: Caracterização físico-química e da atividade antioxidante de feijões germinados a 25 °C e secos em estufa de circulação de ar em diferentes temperaturas, cujo objetivo foi avaliar o efeito da secagem nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijões germinados, bem como avaliar as propriedades de pasta das farinhas resultantes desses brotos.

O artigo publicado em revista indexada (Anexo A) está apresentado em anexo.

CAPÍTULO 1
Revisão Bibliográfica

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 FEIJÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família Fabaceae, compreendendo as leguminosas, sendo uma cultura originária do Novo Mundo. No entanto, é cultivada extensivamente em todos os continentes (GRAHAM; RANALLI, 1997). É ainda a espécie mais cultivada entre as demais do gênero (*P. coccineus*, *P. acutifolius*, *P. lunatus*), contribuindo com cerca de 95% da produção mundial de *Phaseolus* (YOKOYAMA; BANNO; KLUTHCOUSKI, 1996).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2016), no ano de 2014, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de feijão, com mais de 3 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Índia e Myanmar. Mais da metade (50,93%) da produção anual origina-se apenas de quatro países (Tabela 1).

Tabela 1 – Produção mundial de feijão nos anos de 2010 a 2014.

País	Produção (Mt)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Índia	4.890.000	4.610.000	4.310.000	4.140.000	4.134.000
Myanmar	3.530.000	3.640.000	3.643.333	3.657.500	3.673.464
Brasil	3.158.905	3.297.135	3.129.708	3.070.431	3.115.262
Estados Unidos	1.442.470	1.172.333	1.264.252	1.226.876	1.246.453
China	1.330.000	1.266.900	1.224.366	1.175.255	1.147.180
México	1.156.251	862.015	934.962	1.024.880	1.074.695
Tanzânia	867.530	771.739	914.248	964.071	976.443
Quênia	390.598	484.136	530.343	576.380	584.303
Etíópia	340.280	364.041	397.030	412.125	432.445
Ruanda	327.497	329.331	363.840	382.439	390.469
Outros	6.587.593	6.707.397	6.916.917	7.023.836	7.119.957
Mundo	24.021.124	23.505.027	22.3628.999	23.653.796	23.894.671

Fonte: FAO (2016).

Em nível mundial, o produto tem pouca importância comercial e, além disso, a falta de conhecimento do seu mercado e o pequeno consumo entre os países do primeiro mundo limitam a expansão do comércio internacional, pois a maioria dos países produtores também é formada por grandes consumidores, sendo, dessa forma, mínimo o excedente exportável (VARASCHIN, 2010).

O Brasil lidera o consumo mundial do produto, sendo que o consumo médio, no período 2009/10 a 2013/14, está em torno de 3,5

milhões de toneladas, além de ser o segundo maior importador mundial, importando feijão principalmente da Argentina e China (CONAB, 2014).

Sendo cultivado por pequenos e grandes produtores, com três safras anuais, em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras, o feijão possui grande importância econômica e social. A primeira safra é cultivada principalmente nas regiões Sul e Sudeste, cuja colheita está concentrada nos meses de dezembro a março. A colheita da segunda safra ocorre entre os meses de abril e julho e a terceira safra está concentrada nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás/Distrito Federal e oeste da Bahia, sendo ofertada no mercado entre julho e outubro. Embora estes períodos possam apresentar variações de ano para ano, pode-se identificar que há colheita praticamente o ano todo, e que existe sobreposição de épocas em algumas regiões (FERREIRA; DEL PELOSO; FARIA, 2002; AIDAR, 2003).

No Brasil, 63% do volume produzido são de feijão-cores, enquanto 18% são de feijão preto e 19% de caupi. O feijão carioca está distribuído de forma uniforme nas três safras anuais, o feijão preto concentra-se no Sul do País e 70% de sua produção origina-se da primeira safra. A variedade caupi, cultivada na Região Nordeste, concentra-se na segunda safra, à exceção da produção do Estado da Bahia (VARASCHIN, 2013).

1.2 ASPECTOS NUTRICIONAIS DO FEIJÃO

O feijão apresenta características nutricionais que o tornam vantajoso para o consumo. Dentre elas, pode-se citar o conteúdo proteico relativamente alto, o teor elevado de lisina, que exerce efeito complementar às proteínas dos cereais, a fibra alimentar, o alto teor de carboidratos complexos e a presença de vitaminas do complexo B (LAJOLO; GENOVESE; MENEZES, 1996).

O teor de carboidratos no feijão varia de 60 a 65%. Esses carboidratos incluem mono e oligossacarídeos, amido e outros polissacarídeos. O amido é o carboidrato mais abundante encontrado em diversas cultivares de feijão, variando seu teor entre 45 a 60% (SATHE et al., 1984).

A quantidade de proteínas do feijão varia entre 20 e 35%, dependendo da cultivar, porém o valor nutricional dessas proteínas não é satisfatório, já que não possuem todos os aminoácidos essenciais em quantidades significativas – metionina e cisteína (JOURDAN; NOREÑA; BRANDELLI, 2007). Por esta razão, a combinação de cereais e leguminosas resulta em misturas proteicas de alto valor biológico, porque

seus aminoácidos essenciais se complementam (OLIVEIRA; VANNUCCHI, 1983 apud PIRES et al., 2006). A faseolina (vicilina ou globulina G1) e a fitohemaglutinina (lectina ou globulina G2) são as principais proteínas de reserva do feijão e correspondem a cerca de 50 e 10%, respectivamente, da proteína total presente no grão (SATHE et al., 1984).

A composição centesimal do grão de feijão pode variar de acordo com o local de plantio, fatores ambientais e com a cultivar (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição centesimal média ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) do feijão comum in natura (*Phaseolus vulgaris* L.) segundo diferentes autores.

Carboidratos	Proteínas	Umidade	Fibra Alimentar	Cinzas	Lipídeos	Referências
76,33	17,75	9,35	-	4,79	1,13	Barampama e Simard (1993)
56,97	22,07	9,44	5,95	2,86	2,71	Shimelis e Rakshit (2004)
54,30	20,90	9,93	8,55	3,80	2,49	Costa et al. (2006)
69,54	24,33	10,69	-	4,22	1,91	Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008)
-	22,37	-	-	4,29	-	Saha et al. (2009)
70,83	23,06	-	-	4,47	1,64	Reyes-Bastidas et al. (2010)
-	23,24	-	3,38	5,00	3,62	Siddiq et al. (2010)
-	23,93	-	-	4,20	1,93	Ovando-Martínez et al. (2011)

Fonte: Organizado pela autora.

O feijão possui uma quantidade significativa de vitaminas hidrossolúveis (tiamina, niacina e folamina), mas apresenta um conteúdo baixo de vitamina A. Em relação aos minerais, o feijão é rico em potássio, fósforo, ferro, cálcio, cobre, zinco e magnésio, e pobre em sódio, acarretando em vantagens nutricionais (Tabela 3) (SATHE et al., 1984).

Tabela 3 – Vitaminas e minerais encontrados em feijão preto.

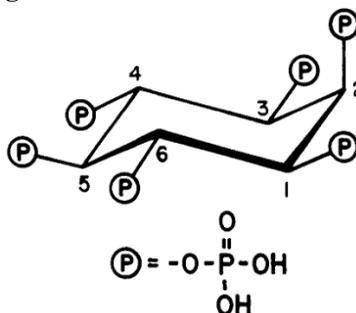
Componente	mg.100 g⁻¹
<i>Vitaminas</i>	
Niacina	0,85
Piridoxina	0,30 – 0,66
Tiamina	0,81
Riboflavina	0,11 – 0,41
<i>Minerais</i>	
Potássio	1320,00 - 1780,00
Fósforo	380,00 - 570,00
Magnésio	160,00 - 230,00
Cálcio	70,00 - 210,00
Ferro	3,34 - 8,00
Zinco	1,90 - 6,50
Manganês	1,00 - 2,00
Cobre	0,50 - 1,40

Fonte: Sathe et al. (1984).

Em feijões germinados, o conteúdo de carboidratos e proteínas tende a diminuir, pois durante a germinação diferentes enzimas hidrolisam parte destes, facilitando a digestão pelo organismo humano, aumentando o conteúdo de aminoácidos livres (LÓPEZ et al., 2013). No entanto, o conteúdo de ácido ascórbico e algumas vitaminas do complexo B, incluindo B12, aumentam (BRESSANI, 1993).

Apesar de tais benefícios nutricionais, os feijões, assim como outras leguminosas, possuem fatores antinutricionais. O termo “fator antinutricional” tem sido utilizado para descrever compostos ou classes de compostos presentes em uma extensa variedade de alimentos de origem vegetal que, quando consumidos, reduzem o valor nutritivo desses alimentos. Eles interferem na digestibilidade, absorção e utilização de nutrientes e, se ingeridos em altas concentrações, podem acarretar efeitos danosos à saúde (GRIFFITHS; BIRCH; HILLMAN, 1998). Dentre os fatores antinutricionais, destacam-se o ácido fítico, inibidores de proteases, lectinas e inibidor da α -amilase, taninos e oligossacarídeos.

O ácido fítico (fitato ou mio-inositol hexafosfato) é um composto cíclico (inositol) contendo seis grupos fosfato (Figura 1); constitui de 1 a 5% do peso da maioria dos cereais, leguminosas, sementes oleaginosas, esporos e pólen. E é, ainda, a principal fonte de inositol e de armazenamento de fósforo em sementes, contendo aproximadamente de 60 a 90% do total de fósforo do grão (GRAF; EATON, 1990).

Figura 1 – Estrutura do ácido fítico.

Fonte: Graf (1983).

A sua importância nutricional deve-se à capacidade de interação com minerais e proteínas, podendo levar a uma diminuição da sua biodisponibilidade. O ácido fítico pode complexar com metais di e trivalentes, como o cálcio, magnésio, zinco e ferro, formando compostos pouco solúveis que não são facilmente absorvidos pelo intestino (LIENER, 1994). Além disso, os fitatos em si, ou seu conteúdo de fósforo, não são biologicamente disponíveis para o homem devido à ausência da fitase para hidrolisá-los (LAJOLO; GENOVESE, MENEZES, 1996).

Embora a capacidade do ácido fítico em afetar a disponibilidade de minerais seja o seu principal efeito antinutricional, o fitato também pode interferir com resíduos de proteínas. Como consequência dessa ligação não seletiva, ele é capaz de inibir a ação de uma série de enzimas importantes para a digestão, incluindo a pepsina, tripsina e α -amilase (LIENER, 1994).

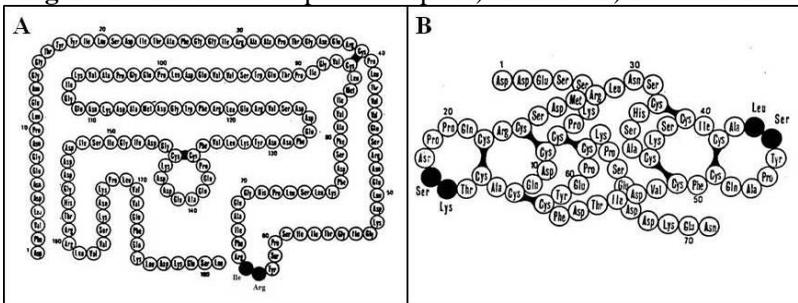
O ácido fítico pode complexar com proteínas em meio ácido, através da interação com grupos básicos, tais como os de lisina. Em meio alcalino, as proteínas podem, ainda, interagir com o ácido fítico através de ligações formadas entre os grupos carboxila carregados negativamente e cátions divalentes (CHERYAN; RACKIS, 1980).

O feijão, assim como as leguminosas em geral, possuem inibidores proteicos das enzimas digestivas, principalmente a tripsina (SILVA; SILVA, 2000). Sabe-se que a especificidade desses inibidores não se restringe necessariamente à tripsina, mas alguns deles podem inibir a quimotripsina, elastase e um número de outras serina proteases (LIENER, 1994).

Os inibidores de protease são classificados em duas principais categorias: os que apresentam massa molecular acima de 20.000, com duas ligações dissulfeto, 181 resíduos de aminoácidos e possuem

especificidade para tripsina; e os de massa molecular entre 6.000 e 10.000, com alta proporção de ligações dissulfeto, 71 resíduos de aminoácidos e capacidade para inibir a tripsina e quimotripsina em sítios de ligação independentes. Esses inibidores são referidos como tipo Kunitz e Bowman-Birk, respectivamente (Figura 2) (LIENER, 1994).

Figura 2 – Inibidores de protease tipo A) Kunitz e B) Bowman-Birk.



Fonte: (A) Koide e Ikenaka (1973) e (B) Odani e Ikenaka (1973) apud Liener (1994).

O inibidor tipo Kunitz possui o sítio ativo localizado nos resíduos de arginina (posição 63) e isoleucina (posição 64) (KOIDE; IKENAKA, 1973). Já o tipo Bowman-Birk possui seus sítios ativos nos resíduos de lisina (posição 16) e serina (posição 17) para a tripsina, e nos resíduos de leucina (posição 43) e serina (posição 44) para a quimotripsina (LIENER, 1994).

Os inibidores de protease tipo Kunitz são mais sensíveis à temperatura, enquanto os do tipo Bowman-Birk são termoestáveis. Dessa forma, as proteínas dos grãos de feijão tratadas pelo calor são, em geral, mais digeríveis do que os isolados proteicos naturais (DAMODARAN, 2010).

Outro fator antinutricional importante no feijão são as lectinas. Essas, são glicoproteínas de origem não-imune que se ligam reversivelmente a carboidratos de glicoproteínas, glicolípídeos ou polissacarídeos, com alta afinidade (NASI; PICARIELLO; FERRANTI, 2009). As lectinas causam aglutinação em células vermelhas (hemácias e eritrócitos) e por esta razão foram inicialmente denominadas de hemaglutininas. Algumas lectinas de feijão aglutinam também leucócitos, podendo ainda estimular a divisão de alguns tipos de células (SGARBIERI, 1996).

As lectinas possuem diversas funções biológicas, desde a regulação da adesão celular, a síntese de glicoproteínas e o controle dos níveis de proteína no sangue. Outras funções estão relacionadas à sua capacidade de se ligar à superfície da parede intestinal. Também têm sido associadas ao aparecimento de lesões, rupturas e crescimento anormal das microvilosidades, bem como a má absorção de nutrientes através das membranas (SHI et al., 2007). Toda a ação tóxica da lectina é eliminada pela sua desnaturação, o que ocorre pela ação do calor no preparo doméstico ou industrial do alimento contendo essa glicoproteína (SGARBIERI, 1996).

As lectinas podem representar de 2,0 a 10,0% das proteínas do feijão, sugerindo que elas podem desempenhar funções importantes na planta, como servir de proteção contra fungos e bactérias, atuar no transporte e armazenamento de açúcar, desempenhar função importante na diferenciação de células embriogênicas, entre outras (SGARBIERI, 1996).

Assim como as lectinas, os inibidores da α -amilase também são glicoproteínas, capazes de inibir a atividade da enzima α -amilase salivar e pancreática de certos mamíferos e insetos, mas não a enzima da própria planta (SANTIMONE et al., 2004).

Três diferentes isoformas do inibidor da α -amilase já foram descritas – α -AI1, α -AI2 e α -AI3 (SANTIMONE et al., 2004), sendo que há relatos de que a isoforma α -AI1 possui um grande potencial para a produção de medicamentos para o controle da obesidade e diabetes (CARAI et al., 2009).

Já os taninos são flavonoides poliméricos e compreendem uma parte do grupo dos compostos fenólicos, produzidos pelas plantas como metabólitos secundários (WINKEL-SHIRLEY, 2001). Recebem essa denominação em virtude de sua capacidade de combinação com proteínas e outros polímeros, como os polissacarídeos, não sendo denominados por sua natureza química exata (SCHWARTZ; VON ELBE; GIUSTI, 2010).

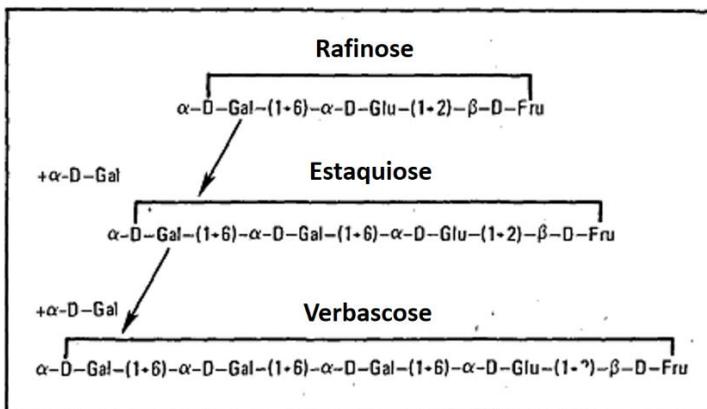
A habilidade dos taninos vegetais em complexar com proteínas através de ligações de hidrogênio, ligações covalentes e interações hidrofóbicas faz com que eles sejam considerados produtos metabólicos únicos (SALUNKHE; CHAVAN; KADAN, 1990). Os complexos formados entre proteínas e taninos podem ser reversíveis ou irreversíveis. Os reversíveis ocorrem por ligações de hidrogênio, provavelmente formadas entre as hidroxilas fenólicas dos taninos e os grupamentos amino das proteínas. Os irreversíveis ocorrem por ligações hidrofóbicas entre os núcleos aromáticos dos taninos e as cadeias laterais alifáticas dos aminoácidos proteicos (SANTOS; MELLO, 2004). Os taninos reagem

ainda covalentemente com os grupos ϵ -amino dos resíduos de lisina, inibindo, dessa forma, a clivagem catalisada pela tripsina dos polipeptídeos nos sítios de lisina (DAMODARAN, 2010).

Quanto às suas características químicas, os taninos podem ser classificados como taninos condensados e taninos hidrolisáveis. Os taninos condensados são mais corretamente chamados de taninos derivados de flan-3,4-diol ou proantocianidinas, e os taninos hidrolisáveis, de galotaninos ou elagitaninos (BRECHT et al., 2010). Os taninos condensados são mencionados, com frequência, como sendo os maiores limitantes do valor nutritivo dos grãos de leguminosas, onde estudos com dietas ricas em taninos em animais indicam um baixo quociente de eficiência proteica (DESHPANDE, 1992).

Finalizando os principais antinutricionais encontrados no feijão, tem-se os oligossacarídeos da família da rafinose (rafinose, estaquiase e verbascose) (Figura 3), que representam 30 a 80% dos açúcares solúveis totais do feijão, e são os principais responsáveis por causar flatulência e sensação de desconforto após a ingestão de feijão (BRESSANI, 1993).

Figura 3 – Relação estrutural dos oligossacarídeos da família da rafinose.



Fonte: Reddy e Salunkhe (1980) apud Sathe et al. (1984).

A importância desses heteroglicosídeos não redutores reside no fato de que eles não são digeridos nem absorvidos intactos pelo homem, gerando a formação de gases intestinais. Devido à ausência da enzima α -1,6-galactosidase na mucosa intestinal e ao fato de que a invertase dos mamíferos é uma α -glicosidase, isto é, não hidrolisa as ligações β entre a glicose e a frutose presentes nesses açúcares, estes não atravessam a

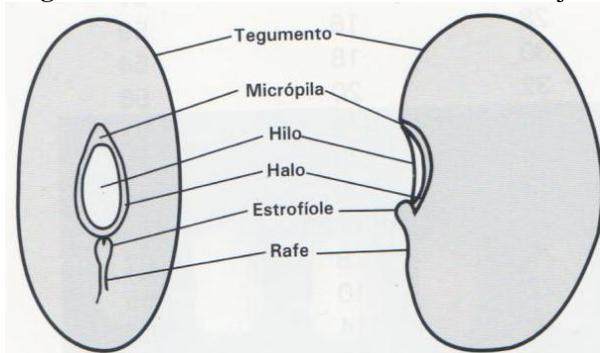
parede intestinal. Dessa forma, a microbiota intestinal é que acaba sendo a responsável por sua metabolização, levando à produção de hidrogênio, gás carbônico e pequenas quantidades de gás metano (SATHE et al., 1984)

1.3 MORFOLOGIA DAS SEMENTES E GERMINAÇÃO

A semente de feijão possui característica das dicotiledôneas e é composta, externamente, das seguintes estruturas (Figura 4):

- a) Tegumento: é a capa que envolve e protege a semente, onde se localizam os pigmentos que são responsáveis pela cor do grão.
- b) Hilo: corresponde à cicatriz deixada pelo funículo, na conexão da semente com a placenta.
- c) Rafe: é proveniente da soldadura do funículo com os tegumentos externos do óvulo.
- d) Micrópila: abertura próxima ao hilo através do qual se realiza a absorção de água.
- e) Estrofióle: é uma pequena saliência junto ao hilo (VILHORDO et al., 1996; VIEIRA; RAVA, 2000).

Figura 4 - Estruturas externas da semente do feijão.

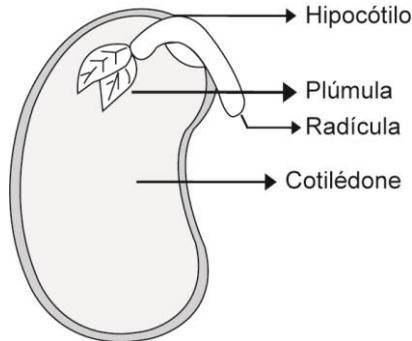


Fonte: Vieira e Rava (2000).

Internamente, a semente é formada pelo eixo embrionário, que corresponde à plúmula, hipocótilo e a radícula, e pelos cotilédones (Figura 5). A plúmula é a gema apical, da qual origina o caule e as folhas da planta. O hipocótilo é a região de transição entre a plúmula e a radícula. A radícula, por sua vez, corresponde à raiz do embrião que origina o sistema radicular. Já os cotilédones contêm as reservas necessárias à

germinação e ao desenvolvimento inicial da plântula (VILHORDO et al., 1996; VIEIRA; RAVA, 2000).

Figura 5 - Estruturas internas da semente do feijão.



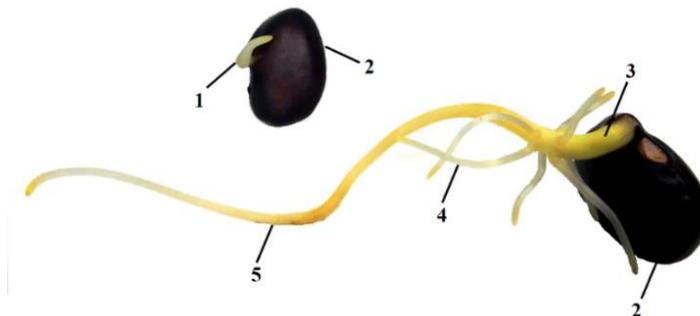
Fonte: Silveira (s.d)¹.

Após a colheita, até encontrar condições propícias para a germinação, as estruturas estão em estado de repouso, com atividade metabólica mínima. Em condições ideais de temperatura e adequado suprimento de água, há uma reativação do metabolismo, culminando com o crescimento do eixo embrionário (CARDOSO, 2008). Quando inicia seu processo germinativo, a semente absorve água pela micrópila e, após romper o tegumento, também pela superfície dos cotilédones. Em seguida, ocorre a hidratação dos tecidos e a hidrólise das substâncias de reserva. Amido, proteínas e lipídeos se transformam em moléculas mais simples, sendo transportadas aos centros de crescimento para o desenvolvimento do eixo embrionário. O crescimento da radícula através das estruturas envoltórias da semente marca o final da germinação propriamente dita e o início do crescimento da plântula (Figura 6) (VIEIRA; RAVA, 2000; CARDOSO, 2008).

¹ Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_9_1311200215101.html>. Acesso em 12 jun 2013.

Figura 6 - Germinação de *Phaseolus vulgaris* L. 1-Radicula; 2-Cotilédone; 3-Hipocótilo; 4-Raiz lateral; 5-Raiz primária.



Fonte: Autoria própria (2015).

A germinação é um processo que envolve tanto reações catabólicas, com a degradação de substâncias de reserva, quanto reações anabólicas na produção de novas células do embrião (METIVIER, 1979). Para que uma semente possa germinar deve haver condições favoráveis, tais como: fornecimento adequado de água, temperatura desejável, composição de gases na atmosfera, presença ou ausência de luz e ausência de inibidores da germinação. As duas primeiras condições são os fatores mais importantes (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988).

O efeito da germinação no valor nutritivo dos grãos de leguminosas tem sido reportado por vários autores, onde muitos trabalhos mostram que há aumento da atividade antioxidante (LÓPEZ-AMORÓS; HERNANDEZ; ESTRELLA, 2006; VERNAZA et al., 2012), proteínas solúveis (KHATTAK; ZEB; BIBI, 2008; VERNAZA et al., 2012) e redução de compostos antinutricionais (MOSTAFA; RAHMA, 1987; KHATTAK et al., 2007), quando as sementes germinam por até 72 horas.

Na Tabela 4 são ilustradas algumas condições de germinação de feijão usadas em laboratório segundo diferentes autores.

Segundo as “Regras para Análise de Sementes”, desenvolvidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), a temperatura ideal para germinação de sementes de *Phaseolus vulgaris* L. é de 20 a 30 °C, alternando as temperaturas, ou com temperaturas constantes de 20, 25 ou 30 °C. Ainda, o substrato utilizado pode ser tanto rolo de papel ou entre areia.

Tabela 4 – Germinação de feijão: preparo prévio, germinação e secagem segundo diferentes autores.

Pré-tratamento	Maceração (grão:água)/tempo	Temperatura de germinação (°C)	Umidade relativa (%)	Luminosidade	Duração da germinação (dias)	Secagem (T°C/duração)	Observações	Referências
-	(1:2, m/v)/8h	30	-	Escuro	2	37 °C/48 h	Germinação em papel filtro recoberto por papel alumínio	Mofithi-Mwikya et al. (2000)
NaOCl 0,07% (1:5, m/v) por 30 min	5h30min	20	99	Luz contínua Escuro	2, 4 e 6	Liofilização	Germinação sobre papel filtro	Kuo et al. (2004)
NaOCl 0,7% (1:5, m/v) por 30 min	5h30min	20	99	Luz contínua Escuro	2, 4 e 6	Liofilização	-	López-Amorós; Hernández; Estrella (2006)
NaOCl 1% por 20 min	(1:3, m/v)/5 h	25 ± 2	-	Escuro	5	60 °C/10 h	Germinação em bandeja de alumínio perfurada	Sangronis; Machado (2007)
-	(1:5, m/v)/12 h	25	-	Escuro	4	Liofilização	Germinação sobre papel filtro	Shimelis; Rakshit (2007)
-	(1:5, m/v)/6 h	22	-	Escuro	4	60 °C	Germinação sobre pano de linho	Yasmin et al. (2008)
-	-	28	60	Luz/Escuro (ciclo de 12h/12h)	3	-	Germinação em algodão	Ribeiro et al. (2011)
Limpeza com pano úmido para remover a poeira	(1:3, m/v)/24 h	20	92	Escuro	5	60°C/4 h	Bandejas de germinação	Guajardo-Flores et al. (2012)
NaOCl por 30 min	(1:5, m/v)/5h30min	20	-	Escuro	7	Liofilização	Germinação entre papéis	López et al. (2013)
NaOCl 0,07% (1:6, m/v) por 30 min	(1:6, m/v)/5h30min	20	-	Escuro	2, 4 e 6	Liofilização	Germinação entre papéis	Limón et al. (2014)

Fonte: Organizado pela autora.

1.4 EFEITO DA GERMINAÇÃO SOBRE OS FATORES ANTINUTRICIONAIS

A utilização de leguminosas na alimentação é limitada pela presença de substâncias antimetabólicas/antifisiológicas como os fatores antinutricionais. Nesse sentido, a germinação tem sido apontada como uma tecnologia barata e efetiva, aumentando a qualidade nutricional dos grãos pelo aumento da sua digestibilidade, devido à redução daqueles fatores (BENÍTEZ et al., 2013).

Os mecanismos que acarretam na diminuição dos fatores antinutricionais durante a germinação ainda não estão totalmente elucidados. Sabe-se que durante a germinação dos grãos, as substâncias de armazenamento são convertidas em formas de melhor utilização tanto para a planta em formação quanto para os seres humanos que os consumirão. A formação de enzimas, incluindo a α -galactosidase – responsável por eliminar ou reduzir os fatores antinutricionais, acaba por melhorar o valor nutritivo das leguminosas (WANG et al., 1997). Ocorre a hidrólise de oligossacarídeos e a redução do teor de ácido fítico pelo aumento da enzima fitase, acarretando no aumento da biodisponibilidade de minerais e vitaminas (MARTINEZ et al., 2011).

Vidal-Valverde et al. (1998), avaliando os fatores antinutricionais em feijões fava (*Vicia faba* L.), observaram que houve uma redução de 12% no conteúdo de rafinose e de 45% no teor de ácido fítico quando essa leguminosa foi germinada durante seis dias a 20 °C, porém o teor de cálcio aumentou em 6%, o que poderia estar relacionada com a diminuição do ácido fítico. Já a estaquiase e a verbascose não foram mais detectadas após a germinação. Em trabalho de Mubarak (2005), a germinação de feijão mungo (*Vigna radiata* L., também conhecido como *Phaseolus aureus* L.) por três dias a 25 °C reduziu os conteúdos do inibidor de tripsina em 22,4%, lectina em 79%, taninos em 66,7% e ácido fítico em 30,5%.

Shimelis e Rakshit (2007) acompanharam a germinação de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a 25 °C, diariamente, durante quatro dias. Observaram que em 48 horas houve uma máxima redução dos teores de oligossacarídeos, podendo concluir que a enzima α -galactosidase hidrolisa primeiramente a estaquiase e depois a rafinose. Os autores ainda observaram uma redução dos teores de ácido fítico, lectinas, saponinas, inibidores da enzima tripsina e taninos. A redução deste último pode estar ligada à associação hidrofóbica com proteínas e enzimas do grão e também pela lixiviação na água usada na maceração.

A germinação também foi eficiente para a redução de fatores antinutricionais em outras leguminosas, tais como no grão de bico (KHATTAK et al., 2007), soja (MOSTAFA; RAHMA, 2987), lentilha e ervilha (LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006).

1.5 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO FEIJÃO

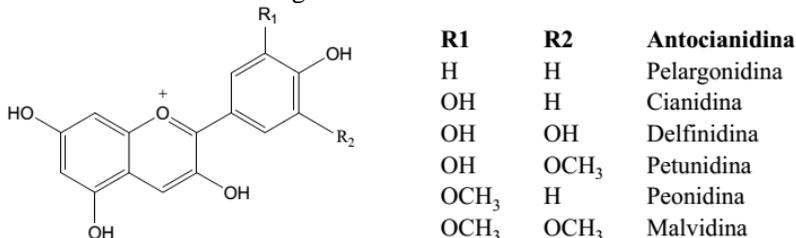
Os compostos fenólicos são metabólitos secundários amplamente distribuídos em tecidos de plantas e são reconhecidos como componentes bioativos de alimentos. A maioria dos estudos sobre compostos fenólicos em grãos são conduzidos nas cascas das sementes, onde estão concentrados os polifenóis (APARICIO-FERNÁNDEZ et al., 2005).

Os compostos fenólicos compreendem um grande grupo de substâncias orgânicas, sendo os flavonoides um importante subgrupo. O subgrupo flavonoide contém as antocianinas, um dos grupos de pigmentos de maior distribuição no reino vegetal. Elas são responsáveis por diversas cores nas plantas, como azul, roxo, violeta, magenta, vermelho e alaranjado (SCHWARTZ; VON ELBE; GIUSTI, 2010). As antocianinas concentram-se nas cascas dos grãos de feijão e, juntamente com os taninos, determinam a cor, tonalidade e intensidade da cor das sementes (BENINGER; HOSFIELD, 2003).

As antocianinas e antocianidinas, agliconas das antocianinas, têm despertado o interesse de pesquisadores, pois mostram, principalmente em estudos *in vitro*, efeitos benéficos à saúde (MACZ-POP et al., 2006). De fato, as antocianinas têm sido relatadas como compostos anti-inflamatórios, vasotônicos, e antioxidantes (WANG et al., 1999), tendo um papel importante na prevenção de doenças degenerativas, tais como o câncer (OLSSON et al., 2004), doença de Alzheimer (SHIH et al., 2010) ou doenças cardiovasculares (PASCUAL-TERESA; MORENO; GARCÍA-VIGUERA, 2010).

As antocianinas estão presentes na natureza principalmente na forma de heterosídeos. A forma de aglicona das antocianinas está estruturalmente baseada no cátion flavilium ou 2-fenilbenzopirílio, com grupos hidroxila e metoxila presentes em diferentes posições da estrutura (Figura 7). Dependendo do número e posição dos grupos hidroxila e metoxila como substituintes, diferentes antocianinas têm sido descritas, sendo que seis delas são comumente encontradas em frutas e leguminosas: pelargonidina, cianidina, delfinidina, petunidina, peonidina e malvidina (PASCUAL-TERESA; MORENO; GARCÍA-VIGUERA, 2010).

Figura 7 – Estruturas das antocianidinas mais frequentemente encontradas em frutas e leguminosas.



Fonte: Bhagwat, Haytowitz e Holden (2011).

A estrutura química das antocianinas é responsável pelo seu potencial antioxidante. A disponibilidade de doação dos hidrogênios fenólicos para os radicais livres faz com que as antocianinas exerçam essa atividade (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1996).

No organismo, os radicais livres desempenham diversos papéis, como produção de energia, fagocitose, regulação do crescimento celular, sinalização intercelular e síntese de substâncias biológicas importantes. Entretanto, o seu excesso pode ser responsável por uma série de efeitos deletérios como peroxidação de lipídeos de membrana, agressão às proteínas dos tecidos e das membranas, às enzimas, carboidratos e DNA, causando danos às membranas, perda de fluidez da mesma, e levando ao surgimento de câncer, como consequência de alterações no DNA (CERUTTI, 1991; BARREIROS; DAVID; DAVID, 2006; RATHEE, HASSARAJANI, CHATTOPADHYAY, 2006). Os antioxidantes são substâncias que podem retardar ou inibir esses danos oxidativos, evitando o início ou a propagação das reações de oxidação em cadeia e atuando como protetores da oxidação de biomoléculas, podendo, dessa forma, prevenir doenças (SILVA; ROCHA; CANNIATTI-BRAZACA, 2009).

Apesar da importância do consumo mundial de grãos, os dados relacionados com a composição destas antocianinas em leguminosas são escassos. Feenstra (1960 apud TAKEOKA et al., 1997) descreveu a presença de correspondentes 3-glicosídeos de malvidina, petunidina, delfinidina e a delfinidina-3,5-diglicosídeo em feijões pretos.

Choung et al. (2003) encontraram em feijões vermelhos quatro antocianinas – cianidina-3,5-diglicosídeo, e os correspondentes 3-glicosídeos de delfinidina, cianidina e pelargonidina – enquanto que no feijão preto foram encontrados apenas delfinidina-3-glicosídeo e petunidina-3-glicosídeo. No entanto, a maior parte dos estudos indica que

a antocianina principal é a delfinidina 3-glicosídeo (CHOUNG et al., 2003; TAKEOKA et al., 1997).

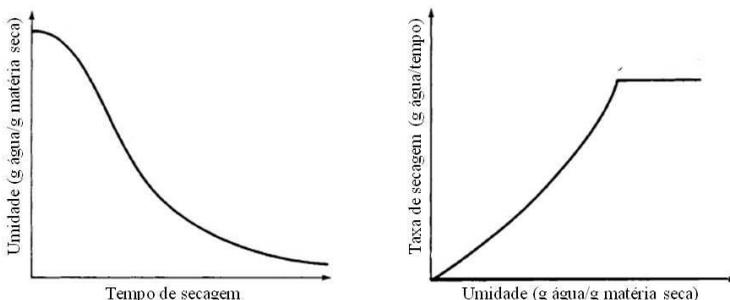
1.6 SECAGEM

A desidratação (ou secagem) é definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um alimento (FELLOWS, 2006). Os objetivos principais da aplicação da secagem no alimento são os de aumentar o seu período de conservação; reduzir seu peso e volume, a fim de facilitar e baratear os custos de transporte e armazenamento; e de facilitar seu uso e diversificar a oferta de produtos (PEREDA, 2005).

O prolongamento da vida útil do alimento desidratado é conseguido por meio da redução da atividade de água, uma medida da disponibilidade de água que pode participar de reações químicas. Como a umidade é reduzida, a atividade de água do produto também é reduzida, e ficando abaixo de 0,6, geralmente é considerado estável em armazenamento (DRISCOLL, 2004; FELLOWS, 2006). No entanto, o processo de secagem dos alimentos não só afeta o conteúdo de água em seu interior, mas também outras propriedades, tais como a textura, viscosidade, dureza, aroma e sabor dos alimentos (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 2000). A secagem requer calor, por isso, a desidratação normalmente pode causar reações químicas como o escurecimento não-enzimático, caramelização e desnaturação proteica, que podem ser desejáveis ou indesejáveis ao produto final (DRISCOLL, 2004).

O processo de secagem de um produto pode ser dividido em um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente (Figura 8). Durante o período de velocidade constante, a temperatura do produto mantém-se igual à do ar de secagem saturado, ou seja, do bulbo úmido. Nessa fase, a água que evapora é, fundamentalmente, água livre renovada por movimento capilar ou por forças capilares desde as zonas internas do alimento, e a água se movimenta do seu interior na mesma taxa em que é evaporada da superfície, que permanece úmida. No período de velocidade decrescente, a taxa de movimento da água do interior para a superfície do alimento torna-se menor do que a taxa na qual a água evapora para o ar circundante. Dessa forma, a transferência de calor do ar para o alimento não é compensada pela transferência do vapor de água e, conseqüentemente, a temperatura do alimento aumenta, tendendo a atingir a temperatura do ar de secagem (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 2000; PEREDA, 2005; FELLOWS, 2006).

Figura 8 - Curvas de secagem características.



Fonte: Fellows (2006).

O processo de secagem leva a mudanças nos alimentos em nível microestrutural e, conseqüentemente, afeta as suas características macroscópicas. A perda de água e a concentração de seus componentes acabam resultando na rigidez das paredes celulares (RAMOS; BRANDÃO; SILVA, 2003). As principais alterações nos alimentos desidratados são na textura e perdas no sabor ou aroma, mas as mudanças na cor e no valor nutricional são também significativas em alguns alimentos (NIJHUIS et al., 1998; FELLOWS, 2006).

A secagem ainda é um desafio, sendo necessário otimizar os seus processos, tanto no que diz respeito à economia, quanto à qualidade do produto (valor nutricional, cor, sabor e aroma). O controle desses parâmetros de qualidade requer mais conhecimento sobre o mecanismo dos efeitos das condições de secagem sobre estes aspectos (NIJHUIS et al., 1998).

REFERÊNCIAS

AIDAR, H. **Cultivo do feijoeiro comum**. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 18 fev. 2014.

AGUILERA, Y.; ESTRELLA, I.; BENITEZ, V.; ESTEBAN, R. M.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Bioactive phenolic compounds and functional properties of dehydrated bean flours. **Food Research International**, v. 44, p. 774-780, 2011.

ANTHONY, M. S.; CLARKSON, T. B.; HUGJES, C. L.; MORGAN, T. M.; BURKE, G. L. Soybean isoflavones improve cardiovascular risk factors without affecting the reproductive system of peripubertal rhesus monkeys. **The Journal of Nutrition**, v. 126, p. 43-50, 1996.

APARICIO-FERNANDEZ, X.; YOUSEF, G. G.; LOARCA-PINA, G.; MEJIA, E.; LILA, M. A. Characterization of polyphenolics in the seed coat of black jamapa bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 4615-4622, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18 ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **Food Chemistry**, v. 47, p. 159-167, 1993.

BENINGER, C. W.; HOSFIELD, G. L. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 7879-7883, 2003.

BENÍTEZ, V.; CANTERA, S.; AGUILERA, Y.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; DÍAZ, M. F.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of germination on starch, dietary fiber and physicochemical properties in non-conventional legumes. **Food Research International**, v. 50, p. 64-69, 2013.

BHAGWAT, S.; HAYTOWITZ, D. B.; HOLDEN, J. M. **USDA Database for the flavonoid content of selected foods**. U.S. Department of Agriculture, 2011, 156 p.

BORDERÍAS, A. J.; SÁNCHEZ-ALONSO, I.; PÉREZ-MATEOS, M. New application of fibre in foods: Addition to fishery products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 10, p. 458-465, 2005.

BOURDON, I. Beans, as a source of dietary fiber, increase cholecystokinin and apolipoprotein B48 Response to test meal in men. **Journal of Nutrition**, v. 13, p. 1485-1490, 2001.

BOURDON, I.; YOKOYAMA, W.; DAVIS, P.; HUDSON, C.; BACKUS, R.; RICHTER, D.; KNUCKLES, B.; SCHNEEMAN, B. O. Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with β -glucan. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 69, p. 55-63, 1999.

BRECHT, J. K.; RITENOUR, M. A.; HAARD, N. F.; CHISM, G. W. Fisiologia pós-colheita de tecidos vegetais comestíveis. Em: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

BRESSANI, R. Grain quality of common beans. *Food Reviews International*, v. 9, p. 237-297, 1993.

CARAI, M. A. M.; FANTINI, N.; LOI, B.; COLOMBO, G.; RIVA, A.; MORAZZONI, P. Potential efficacy of preparations derived from *Phaseolus vulgaris* in the control of appetite, energy uptake, and carbohydrate metabolism. **Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy**, v. 2, p. 145–153, 2009.

CARDOSO, V. J. M. Germinação. Em: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

CARVALHO, N. H.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3 ed. Campinas: Fundação Cargill, 424 p, 1988.

CHERYAN, M.; RACKIS, J. J. Phytic acid interactions in food systems. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 13, n. 4, p. 297-335, 1980.

CHOUNG, M. G.; CHOI, B. R.; AN, Y. N.; CHU, Y. H.; CHO, Y. S. Anthocyanin profile of korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 24, p. 7040-7043, 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária (safra 2014-2016)**. Brasília: Conab, 2014.

CONSONI, R. C.; BONGIOLO, A. M. Efeitos dos isoflavonas de soja no período de climatério. **Geriatrics & Gerontologia**, v. 3, p. 115-121, 2008.

COSTA, G. E. A.; QUEIROZ-MONICI, K. S.; REIS, S. M. P. M.; OLIVEIRA, A. C. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food Chemistry**, v. 94, n. 3, p. 327-330, 2006.

DAMODARAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DESHPANDE, S. S. Food legumes in human nutrition: a personal perspective. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 4, p. 333-363, 1992.

DONG, J.-Y.; QIN, L.-Q. Soy isoflavones consumption and risk of breast cancer incidence or recurrence: a meta-analysis of prospective studies. **Breast Cancer Research and Treatment**, v. 125, p. 315-323, 2011.

ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. **Food Chemistry**, v. 124p. 411–421, 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. 2016. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 26 set. 2016.

FERREIRA, C. M.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. **Feijão na Economia Nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002.

FERREIRA, E. S.; SILVA, M. A.; DEMONTE, A.; NEVES, V. A. β -Conglycinin (7S) and glycinin (11S) exert a hypocholesterolemic effect comparable to that of fenofibrate in rats fed a high-cholesterol diet. **Journal of Functional Foods**, v. 2, n. 4, p. 275-283, 2010.

GRAF, E. Applications of phytic acid. **Journal of the American Oil Chemistis' Society**, v. 60, p. 1861-1867, 1993.

GRAF, E.; EATON, J. W. Antioxidant functions of phytic acid. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 8, p. 61-69, 1990.

GRAHAM, P. H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Fields Crops Research**, v. 53, p. 131-146, 1997.

GRIFFITHS, D. W.; BIRCH, A. N. E., HILLMAN, J. R. Antinutritional compounds in the Brassicaceae analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 73, n. 1, p. 1-18, 1998.

GUAJARDO-FLORES, D.; GARCÍA-PATIÑO, M.; SERNA-GUERRERO, D.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Characterization and quantification of saponins and flavonoids in sprouts, seed coats and cotyledons of germinated black beans. **Food Chemistry**, v. 134, p. 1312-1319, 2012.

HOWARTH, N. C.; SALTZMAN, E.; ROBERTS, S. B. Dietary fiber and weight regulation. **Nutrition Reviews**, v. 59, n. 5, p. 129-139, 2001.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 4. ed., p. 135, 2005.

IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: **Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011.

JOURDAN, G. A.; NOREÑA, C. P. Z.; BRANDELLI, A. Inactivation of trypsin inhibitor activity from Brazilian varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology International**, v. 13, n. 195, p. 195-198, 2007.

KHATTAK, A. B.; ZEB, A.; BIBI, N. Impact of germination time and type of illumination on carotenoid content, protein solubility and in vitro protein digestibility of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. **Food Chemistry**, v. 109, p. 797-801, 2008.

KHATTAK, A. B.; ZEB, A.; BIBI, N.; KHALIL, S. A.; KHATTAK, M. S. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols

content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1074-1079, 2007.

KOHNO, M.; HIROTSUKA, M.; KITO, M.; MATSUZAWA, Y. Decreases in serum triacylglycerol and visceral fat mediated by dietary soybean β -conglycinin. **Journal of Atherosclerosis and Thrombosis**, v. 13, n. 5, p. 247-255, 2006.

KOIDE, T.; IKENAKA, T. Studies on soybean trypsin inhibitors: 3 amino-acid sequence of the carboxyl-terminal region and the complete amino-acid sequence of soybean trypsin inhibitor (Kunitz). **European Journal of Biochemistry**, v. 32, n. 3, p. 417-431, 1973.

KOU, Y.-H.; ROZAN, P.; LANBEIN, F.; FRIAS, J.; VIDAL-VALVERDE, C. Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. **Food Chemistry**, v. 86, p. 537-545, 2004.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. Em: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996.

LECLERCQ, G.; HEUSON, J. C. Physiological and pharmacological effects of estrogens in breast cancer. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 560, p. 427-455, 1979.

LEE, C. H.; YANG, L.; XU, J. Z.; YEUNG, S. Y. V.; HUANG, Y.; CHEN, Z.-Y. Relative antioxidant activity of soybean isoflavones and their glycosides. **Food Chemistry**, v. 90, p. 735-741, 2005.

LEE, M. M.; GOMEZ, S. L.; CHANG, J. S.; WEY, M.; WANG, R.-T.; HSING, A. W. Soy and isoflavone consumption in relation to prostate cancer risk in China. **Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention**, v. 12, p. 665-668, 2003.

LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, n. 1, p. 31-67, 1994.

LIMÓN, R. I.; PEÑAS, E.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; FRIAS, J. Role of elicitation on the health-promoting properties of kidney bean sprouts. **Food Science and Technology**, v. 56, p. 328-334, 2014.

LÓPEZ, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; GÓMEZ-SERRANILLOS, M. P.; PALOMINO, O. M.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 138, p. 547-555, 2013.

LÓPEZ-AMORÓS, M. L.; HERNÁNDEZ, T.; ESTRELLA, I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 277-283, 2006.

MACZ-POP, G., A.; RIVAS-GONZALO, J. C.; PÉREZ-ALONSO, J. J.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M. Natural occurrence of free anthocyanin aglycones in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 94, p. 448-456, 2006.

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

MBITHI-MWIKYA, S.; OOGHE, W.; CAMP, J. V.; NGUNDI, D.; HUYGHEBAERT, A. Amino acid profiles after sprouting, autoclaving, and lactic acid fermentation of finger millet (*Eleusine coracana*) and kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 3081-3085, 2000.

MEKKI, N.; DUBOIS, C.; CHARBONNIER, M.; CARA, L.; SENFT, M.; PAULI, A. M.; PORTUGAL, H.; GASSIN, A. L.; LAFONT, H.; LAIRON, D. Effects of lowering fat and increasing dietary fiber on fasting and postprandial plasma lipids in hypercholesterolemic subjects consuming a mixed Mediterranean-Western diet. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 66, p. 1443-1451, 1997.

METIVIER, J. R. Dormência e germinação. In: FERRI, M. G. (Coord.) Fisiologia Vegetal. São Paulo: EDU: EDUSP, v. 2, p. 343-392, 1979.

- MONTOYA, C. A.; LALLÈS, J. P.; BEEBE, S.; LETERME, P. Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, v. 43, p. 443-449, 2010.
- MOSTAFA, M. M.; RAHMA, E. H.; Chemical and nutritional changes in soybeans during germination. **Food Chemistry**, v. 23, p. 257-275, 1987.
- MUBARAK, A. E. Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. **Food Chemistry**, v. 89, p. 489-495, 2005.
- NAIM, M.; GESTETNER, B.; ZILKAH, S.; BIRK, Y.; BONDI, A. Soybean Isoflavones. Characterization, determination, and antifungal activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 22, p. 806-810, 1974.
- NASI, A.; PICARIELLO, G.; FERANTI, P. Proteomic approaches to study structure, functions and toxicity of legume seeds lectins. Perspectives for the assessment of food quality and safety. **Journal of Proteomics**, v. 72, p. 527-538, 2009.
- OLSSON, M. E.; GUSTAVSSON, K.-E.; ANDERSSON, S.; NILSSON, Å.; DUAN, R.-D. Inhibition of cancer cell proliferation in vitro by fruit and berry extracts and correlations with antioxidants levels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 7264-7271, 2004.
- OVANDO-MARTÍNEZ, M.; OSORIO-DÍAZ, P.; WHITNEY, K.; BELLO-PÉREZ, L. A.; SIMSEK, S. Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. **Food Chemistry**, v. 129, p. 358-365, 2011.
- PASCUAL-TERESA, S.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. Flavonols and Anthocyanins in cardiovascular health: a review of current evidence. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, p. 1679-1703, 2010.

- PATISAUL, H. B.; JEFFERSON, W. The pros and cons of phytoestrogens. **Frontiers in Neuroendocrinology**, v. 31, p. 400-419, 2010.
- PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 179-187, 2006.
- RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.
- REYES-BASTIDAS, M., REYES-FERNÁNDEZ, E. Z., LÓPEZ-CERVANTES, J., MILÁN-CARRILLO, J., LOARCA-PIÑA, G. F., REYES-MORENO, C. Physicochemical, nutritional and antioxidant properties of tempeh flour common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science Technology International**, v. 16, n. 5, p. 427-434, 2010.
- RIBEIRO, E. S.; CENTENO, D. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C.; FERNANDES, K. V. S.; XAVIER-FILHO, J.; OLIVEIRA, A. E. A. Free cyclitol, soluble carbohydrate and protein contents in *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* bean sprouts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 4273-4278, 2011.
- RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 20, p. 933-956, 1996.
- RUIZ-LARREA, M. B.; MOHAN, A. R.; PAGANGA, G.; MILLER, N. J.; BOLWELL, G. P.; RICE-EVANS, C. A.; Antioxidant activity of phytoestrogenic isoflavones. **Free Radical Research**, v. 26, p. 63-70, 1997.
- SAHA, S., SINGH, G., MAHAJAN, V., GUPTA, H. S. Variability of nutritional and cooking quality in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a function of genotype. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 64, n. 2, p. 174-180, 2009.

SALAS-SALVADÓ, J.; FARRÉS, X.; LUQUE, X.; NAREJOS, S.; BORRELL, M.; BASORA, J.; ANGUERA, A.; TORRES, F.; BULLÓ, M.; BALANZA, R. Effect of two doses of a mixture of soluble fibres on body weight and metabolic variables in overweight or obese patients: A randomized trial. **British Journal of Nutrition**, v. 99, p. 1380-1387, 2008.

SALUNKHE, D. K.; CHAVAN, J. K.; KADAN, S. S. Dietary tannins: consequences and remedies. Boca Raton: CRC Press, 1990, 200 p.

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

SANTIMONE, M.; KOUKIEKOLO, R.; MOREAU, Y.; LE BERRE, V.; ROUGÉ, P.; MARCHIS-MOUREN, G.; DESSEAUX, V. Porcine pancreatic α -amylase inhibition by the kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) inhibitor (α -AI1) and structural changes in the α -amylase inhibitor complex. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1696, n. 2, p. 181-190, 2004.

SANTOS, S. C.; MELLO, J. C. P. Taninos. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre / Florianópolis: Editora da UFRGS / Editora da UFSC, 2004.

SATHE, S. K.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. Dry beans of *Phaseolus*. A review. Part 2. Chemical composition carbohydrates, fiber, minerals, vitamins, and lipids. **CRC Critical Reviews in food Science and Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 41-91, 1984.

SCHNEEMAN, B. O. Dietary fiber and gastrointestinal function. **Nutrition Research**, v. 18, n. 4, p. 625-632, 1998.

SCHWARTZ, S. J.; VON ELBE, J. H.; GIUSTI, M. M. Corantes. Em: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

SETCHELL, K. D. R. Phytoestrogens: the biochemistry, physiology and implications for human health of soy isoflavones. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, p. 1333S-1346S, 1998.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em Alimentos Proteicos**: propriedades, degradações, modificações. São Paulo: Livraria Varela, 1996.

SHI, J.; XUE, S. J.; KAKUDA, Y.; ILIC, S.; KIM, D. Isolation and characterization of lectins from kidney beans (*Phaseolus vulgaris*). **Process Biochemistry**, v. 42, p. 1436-1442, 2007.

SHIH, P.-H.; CHAN, Y.-C.; LIAO, J.-W.; WANG, M.-F.; YEN, G.-C. Antioxidant and cognitive promotion effects of anthocyanin-rich mulberry (*Morus atropurpurea* L.) on senescence-accelerated mice and prevention of Alzheimer's disease. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 21, p. 598-605, 2010.

SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. Effect of processing on antinutrients and *in vitro* protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. **Food Chemistry**, v. 103, p. 161-172, 2007.

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

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 20, p. 591-598, 2009.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Fatores antinutricionais: Inibidores de proteases e lectinas. **Revista de Nutrição**, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2000.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) / NEPA-UNICAMP. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 4. ed. 2011.

TAKU, K.; MELBY, M. K.; NISHI, N.; OMORI, T.; KURZER, M. S. Soy isoflavones for osteoporosis: An evidence based approach. **Maturitas**, v. 70, p. 333-338, 2011.

TAKEOKA, G. R.; DAO, L. T.; FULL, G. H.; WONG, R. Y.; HARDEN, L. A.; EDWARDS, R. H.; BERRIOS, J. J. Characterization of black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) anthocyanins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 3395-3400, 1997.

THANH, V. H.; SHIBASAKI, K. Major proteins of soybean seeds. A straightforward fraction and their characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 24, n. 6, p. 1117-1121, 1976.

VARASCHIN, M. J. F. C. Feijão. Em: **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2009-2010**. Florianópolis: Epagri/CEPA, 2010.

VARASCHIN, M. J. F. C. Feijão. Em: **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2012-2013**. Florianópolis: Epagri/CEPA, 2013.

VERNAZA, M. G.; DIA, V. P.; MEJIA, E. G.; CHANG, Y. K. Antioxidant and antiinflammatory properties of germinated and hydrolysed Brazilian soybean flours. **Food Chemistry**, v. 134, p. 2217-2225, 2012.

VIDAL-VALVERDE, C.; FRIAS, J.; SOTOMAYOR, C.; DIAZ-POLLAN, C.; FERNANDEZ, M.; URBANO, G. Nutrition and antinutritional factors in faba beans as affected by processing. **Z Bebensm Unters Forsch**, v. 207, p. 140-145, 1998.

VIEIRA; E. H.; RAVA, C. A. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 270 p.

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSKI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. Em: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996

YASMIN, A.; ZEB, A.; KHALIL, A. W.; PARACHA, G. M.; KHATTAK, A. B. Effect of processing on anti-nutritional factors of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) grains. **Food Bioprocess Technology**, v. 1, p. 415-419, 2008.

YOKOYAMA, L. P., BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos socioeconômicos da cultura. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996.

WANG, H.; NAIR, M. G.; STRASBURG, G. M.; CHANG, Y.-C.; BOOREN, A. M.; GRAY, J. I.; DEWITT, D. L. Antioxidant and

antiinflammatory activities of anthocyanins and their aglycon, cyaniding, from tart cherries. **Journal of Natural Products**, v. 62, p. 294-296, 1999.

WANG, N.; LEWIS, M. J.; BRENNAN, J. G.; WESTBY, A. Optimization of germination process of cowpea by response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 329-339, 1997.

WINKEL-SHIRLEY, B. Flavonoids Biosynthesis. A colourful model for genetics, biochemistry, all biology, and biotechnology. **Plant Physiology**, v. 126, p. 485-493, 2000.

CAPÍTULO 2

Efeito da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

Parte desse capítulo foi publicado em artigo:
MARQUEZI, M.; BRAGA, C. S.; AMANTE, E. R. Efeito da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum. **Scientia Rural**, v. 1, n. 13, p. 22-35, 2016.

Efeito da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

Resumo

O feijão comum possui uma composição nutricional que o torna vantajoso para o consumo. No entanto, o consumo da leguminosa na forma de brotos ainda não é expressivo no Brasil, mas vem se destacando em outros países. Durante a germinação, as substâncias de armazenamento do grão acabam sendo convertidas em formas com melhor digestibilidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da temperatura de germinação (20, 25 e 30 °C) sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum procedentes de Chapecó e Guatambu, ambos municípios do Estado de Santa Catarina. O comprimento das plântulas foi menor quando germinadas a 20 °C (3,35 cm para os grãos procedentes de Chapecó e 3,59 cm para os procedentes de Guatambu). Foi observado aumento do pH (de 6,54 a 6,90), no teor de sólidos solúveis (de 3,39 a 5,21 °Brix), proteínas solúveis (de 4,53 a 6,69 g.100g⁻¹) e na atividade antioxidante em extrato metanólico pelo método FRAP (de 9,19 a 15,57 µmol.L⁻¹ Trolox.g⁻¹) quando os grãos foram germinados nas três temperaturas avaliadas, comparando-se aos grãos não germinados. No entanto, foi observada uma redução da atividade antioxidante após a germinação quando no extrato aquoso, tanto para o método DPPH quanto para o FRAP. Conclui-se que a melhor temperatura para a germinação dos feijões foi a de 25 °C, uma vez que houve um bom desenvolvimento das plântulas, diferentemente do que ocorreu com os grãos germinados a 20 °C. Alguns brotos germinados a 30 °C foram danificados por fungos possivelmente endofíticos, sendo esta temperatura descartada para a germinação dos grãos de feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., broto de feijão, leguminosa.

Effect of temperature on germination on physical and chemical features and antioxidant activity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Abstract

The common bean has a nutritional composition which makes it advantageous for consumption. However, the consumption of this legume in the form of sprouts is still not as significant in Brazil, but has been prominent in other countries. During germination, the grain storage substances end up, being converted into ways to better digestibility. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of germination temperature (20, 25 and 30 °C) on the physicochemical characteristics and antioxidant activity of common bean coming from Chapecó and Guatambu, both municipalities of Santa Catarina State. The length of the seedlings was lower when germinated at 20 °C (3.35 cm for grains from Chapecó and 3.59 cm for those from Guatambu). There was an increase in pH (from 6,54 to 6,90), total soluble solids content (from 3,39 to 5,21 °Brix), soluble proteins (from 4,53 to 6,69 g.100g⁻¹) and antioxidant activity in methanol extracts by the FRAP method (from 9.19 to 15.57 µmol.L⁻¹ Trolox.g⁻¹) when the seeds were germinated at the three evaluated temperatures, comparing to the non-germinated seeds. However, it was observed a decrease in antioxidant activity after germination when the aqueous extract was analyzed, both for the DPPH and for the FRAP method. It is concluded that the best temperature for the germination of the beans was 25 °C, since there was a good seedling development, unlike what happened with the sprouted grain at 20 °C. Some sprouts germinated at 30 °C were damaged by endophytes fungi, which is ruled out temperature for germination of beans.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., bean sprout, legumes.

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa amplamente consumida no mundo, sendo a espécie mais cultivada dentre as demais do gênero (MANOS; OLIVEIRA; MARTINS, 2013). Embora muito consumida como grão inteiro, poucos produtos têm sido desenvolvidos a partir dessa leguminosa, diferentemente do que ocorreu com a soja.

A utilização de leguminosas é intensa, apesar das considerações sobre a presença de compostos antinutricionais, tais como inibidores de enzimas digestivas. Entretanto, a germinação dos grãos tem sido uma alternativa para a sua utilização, pois tem sido observado, em vários trabalhos, que existe aumento da atividade antioxidante, proteínas solúveis, e redução de compostos antinutricionais quando as sementes são germinadas (LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006; KATTAK et al., 2007; VERNAZA et al., 2012). Apesar do consumo de brotos ser considerável em vários países, como China, Japão e Estados Unidos (MACHADO et al., 2009), ainda existe uma distribuição heterogênea desta intensidade de consumo em todo o mundo. Por exemplo, o consumo de brotos de feijão ou de outras leguminosas ainda não é expressivo no Brasil, um grande produtor dessa leguminosa.

Durante a germinação dos grãos, substâncias de armazenamento são convertidas em formas de melhor utilização tanto para a planta em formação quanto para os seres que os consumirão. A síntese de enzimas, incluindo a α -galactosidase – responsável por eliminar ou reduzir os fatores antinutricionais, acaba por melhorar o valor nutritivo das leguminosas (WANG et al., 1997). Para que uma semente possa germinar deve haver condições favoráveis, tais como: fornecimento adequado de água, temperatura ótima, composição de gases na atmosfera, presença ou ausência de luz e ausência de inibidores da germinação, sendo as duas primeiras condições os fatores mais importantes (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988).

Dentre as vantagens na produção de brotos de leguminosas destacam-se a não utilização do solo, de agrotóxicos e de luz solar direta. Além disso, são produzidos em pouco tempo e em espaço reduzido, não requerendo um espaço específico (MACHADO et al., 2009).

Devido ao fato do consumo de brotos de leguminosas ainda não ser expressivo em todas as regiões do planeta, são poucos os trabalhos que avaliam as condições de germinação sobre os parâmetros físico-químicos dos grãos, principalmente se tratando de *Phaseolus vulgaris* L. Por esse motivo, o presente trabalho teve por objetivo de avaliar a

influência da temperatura de germinação sobre parâmetros físico-químicos e a atividade antioxidante de grãos de feijão comum, da mesma cultivar e procedentes de duas localidades diferentes. A temperatura ótima de germinação foi determinada pela comparação entre os parâmetros avaliados. Os resultados desse estudo podem contribuir para a produção de brotos de feijão com teores adequados de proteínas, sólidos solúveis e atividade antioxidante.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Os feijões foram cultivados e fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), pertencentes a cultivar SCS204 Predileto, do grupo comercial preto, sendo cultivados em sistema de plantio sobre palha de aveia, previamente seca, procedentes dos municípios de Chapecó (Latitude 27°05'47"S e Longitude 52°37'06"O) e Guatambu (Latitude 27°8'5"S e Longitude 52°47'15"O), Santa Catarina, Brasil. Os grãos foram armazenados a 10 °C até a realização das análises.

2.1.1 Informações gerais sobre a cultivar

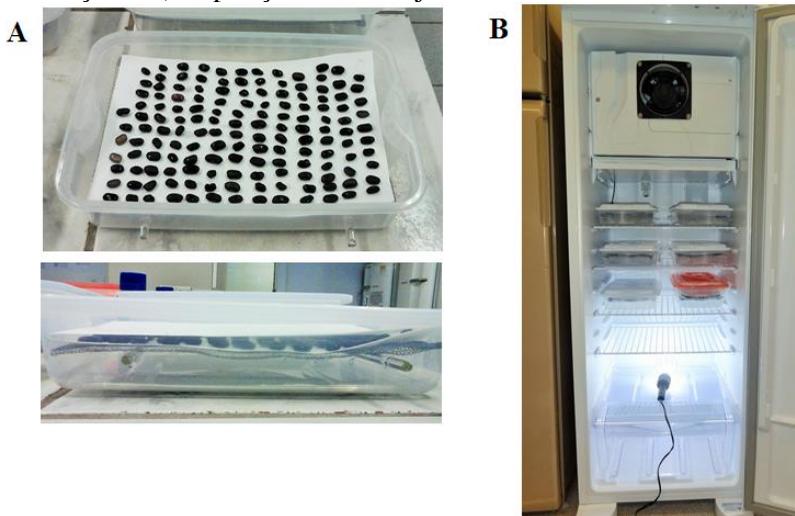
SCS204 Predileto é uma cultivar de feijão que pertence ao grupo comercial preto, com hábito de crescimento indeterminado tipo II, ou seja, arbustivo, com caule pouco ramificado, e porte semiereto. A produtividade média para este grão é de 3000 Kg/ha, sendo que há um potencial produtivo de 4400 Kg/ha (EPAGRI, 2013).

2.2 GERMINAÇÃO

Os feijões (n = 150) foram colocados em solução de hipoclorito de sódio 0,07% (m/v) por 30 minutos (1:3 m/v), e em seguida foram macerados em água destilada por 5h30min (1:3 m/v) (KUO et al., 2004; LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006; LÓPEZ et al., 2013; LIMÓN et al., 2014). Após a maceração, a água foi descartada e os grãos colocados em bandejas adaptadas para a germinação - a fim de manter um conteúdo de umidade relativa superior a 90% - que foram, em seguida, levadas para a incubadora BOD (TE371, TECNAL®, Brasil) com controle de temperatura (Figura 1). A germinação dos feijões se deu à temperatura de 20, 25 e 30 °C, por um período de 72 h, e iluminação

feita com luz fluorescente branca e fria por 8 h, a cada ciclo de 24 h (BRASIL, 2009). Diariamente, água destilada foi borrifada nos grãos (aproximadamente 3 mL), por bandeja de germinação, para manter a umidade da superfície dos grãos. Ao final das 72 h de germinação, os feijões germinados foram submetidos às análises.

Figura 1 – A) Colocação dos feijões nas bandejas adaptadas para a germinação e B) disposição das bandejas na incubadora BOD.



Fonte: Autoria própria (2015).

2.3 PREPARO DO MATERIAL DE ANÁLISE

Os grãos de feijão, das duas procedências, não germinados e não hidratados foram moídos e a farinha resultante foi peneirada (60 mesh) até a obtenção de um pó homogêneo. Os grãos germinados nas diferentes temperaturas foram triturados em mixer (Black Plus, Britânia, Brasil) até a formação de uma massa pastosa e homogênea. As amostras foram armazenadas sob congelamento (-18 ± 2 °C) até a realização das análises.

2.4 COMPRIMENTO DAS PLÂNTULAS

O comprimento das plântulas (hipocótilo e raiz primária) foi medido com o auxílio de um paquímetro digital (Digital Caliper 0-150 mm, China) após 72 h de germinação, sendo fotografadas ao lado de uma régua apenas para referencial de comparação.

2.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

2.5.1 Umidade a 105 °C e acidez total titulável

O teor de umidade (método 925.10) e a acidez total titulável (método 942.15A) foram determinados segundo metodologia da *Association of Official Analytical Chemists – AOAC* (2005).

2.5.2 Determinação de sólidos solúveis totais (SST) por refratometria

Os sólidos solúveis foram determinados com auxílio de um refratômetro (Topen modell I, Carl Zeiss Jena, Alemanha), segundo IAL (2005). A 5 g das amostras foram adicionadas 50 mL de água. A mistura foi submetida a agitação em agitador magnético (Unique, Maxi Clean 1650A, Brasil) por 1 h e deixada em repouso até decantar. O sobrenadante foi utilizado para a leitura em refratômetro e as correções da diluição introduzidas para expressar os resultados em SST nas amostras.

2.5.3 Proteínas solúveis

As proteínas solúveis foram determinadas segundo Bradford (1976). O método baseia-se na interação entre o corante *Coomassie brilliant blue* BG-250 e macromoléculas de proteínas que contêm aminoácidos de cadeias laterais básicas ou aromáticas. No pH da reação, a interação entre a proteína de alto peso molecular e o corante BG-250 provoca o deslocamento do equilíbrio do corante para a forma aniônica, que absorve fortemente em 595 nm.

A 0,2 g da amostra, foram adicionadas 10 mL de água e a mistura foi submetida agitação em agitador magnético (Unique, Maxi Clean 1650A, Brasil) por 1 h. Após este período, a mistura foi centrifugada a 2500×g (Hermle Z200A, Labortechnik®, Alemanha) por 10 min. O sobrenadante foi diluído com solução de NaCl 0,15 mol L⁻¹ e a uma alíquota de 0,1 mL foram adicionados 5 mL do reativo de Bradford. Após cinco minutos a absorbância da solução foi medida a 595 nm. Uma curva de calibração foi construída utilizando soroalbumina bovina (Sigma ChemicalCo., St. Louis, Missouri) como padrão. Os resultados foram expressos em grama de proteína solúvel por 100 g de amostra seca.

2.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante foi avaliada para o extrato aquoso e metanólico das amostras. Para tanto, 0,2 g da amostra foi adicionada a 20 mL de água ou 20 mL de metanol para a determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH. Para a determinação pelo método FRAP, 0,4 g da amostra foi adicionada a 10 mL de água ou 10 mL de metanol. A mistura aquosa para ambas as determinações foi colocada sob banho de ultrassom no escuro por 1 h. Já a mistura metanólica foi deixada *overnight* sob refrigeração (5 ± 2 °C). Após estes períodos, tanto as misturas aquosas quanto as metanólicas foram centrifugadas a $2500 \times g$ (Hermle Z200A, Labortechnik®, Alemanha) por 10 min. Os sobrenadantes aquosos e metanólicos foram utilizados para a avaliação da atividade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP. O método de extração proposto foi determinado após análises prévias.

2.6.1 Atividade antioxidante pelo método DPPH* (2,2-difenil-1-picrilhidrazila)

A determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH* foi realizada de acordo com Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). A 0,1 mL do extrato aquoso ou metanólico, foram adicionados 3,9 mL de solução metanólica de DPPH $0,6 \text{ mol L}^{-1}$. Após repouso por 30 min no escuro, a absorbância foi lida a 515nm em espectrofotômetro UV/Vis (Hitachi, U-1800), utilizando metanol como branco. Uma curva de calibração foi construída utilizando soluções contendo concentrações conhecidas de Trolox. Os resultados foram expressos em micromol de Trolox por grama de amostra seca ($\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$).

2.6.2 Potencial antioxidante redutor férrico (FRAP)

O método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Potential*) – Poder Antioxidante de Redução do Ferro foi realizado segundo Benzie e Strain (1996). A 100 μL do extrato aquoso ou metanólico, foram adicionados 300 μL de água e 3 mL de solução FRAP recém preparada e previamente aquecida a 37 °C. Após 1 hora a 37 °C, a absorbância foi lida a 593 nm, espectrofotômetro UV/Vis (Hitachi, U-1800, Japão), utilizando como branco a solução de FRAP. Construiu-se uma curva de calibração utilizando soluções contendo concentrações conhecidas de Trolox. Os resultados foram expressos em micromol de Trolox por grama de amostra seca ($\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas em três repetições, e os dados expressos como média \pm desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância, seguido pelo teste de Tukey para comparação das médias. Todos os resultados foram expressos em base peso seco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EFICIÊNCIA DA GERMINAÇÃO E COMPRIMENTO DAS PLÂNTULAS

A eficiência da germinação dos grãos ($n = 150$), ou seja, a porcentagem de germinação, e o comprimento das plântulas para cada temperatura avaliada estão ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Eficiência da germinação e comprimento das plântulas para os feijões procedentes de diferentes locais nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C.

Características	Temperatura de germinação (°C)		
	20	25	30
<i>Eficiência da germinação (%)</i>			
Chapecó	83,11 \pm 5,45 ^{a,A}	76,00 \pm 1,96 ^{b,A}	81,67 \pm 3,20 ^{b,A}
Guatambu	86,67 \pm 2,37 ^{a,A}	87,67 \pm 3,38 ^{a,A}	87,83 \pm 1,26 ^{a,A}
<i>Comprimento da plântula (cm)</i>			
Chapecó	3,35 \pm 0,08 ^{b,B}	4,78 \pm 0,04 ^{b,A}	5,08 \pm 0,28 ^{b,A}
Guatambu	3,59 \pm 0,17 ^{a,B}	5,68 \pm 0,12 ^{a,A}	6,13 \pm 0,37 ^{a,A}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É possível observar que, para todas as temperaturas estudadas, os feijões procedentes de Chapecó foram os que tiveram a menor porcentagem de germinação nas temperaturas de 25 e 30 °C, quando comparados com os feijões procedentes de Guatambu. No entanto, não houve diferenças significativas entre as três temperaturas no que diz

respeito à eficiência da germinação para os feijões das duas procedências, evidenciando que, qualquer uma das três temperaturas avaliadas poderiam ser empregada para a germinação dos grãos.

Embora tenha sido realizado sanitização com solução de hipoclorito anteriormente à germinação dos grãos, alguns feijões germinados a 30 °C, apesar de produzir brotos, mostraram-se contaminados por fungos, possivelmente endofíticos. Outros, mesmo sem germinar, também apresentavam contaminação por fungos. Esses grãos foram descartados (Figura 2).

Figura 2 - Danos causados nos feijões. A) Fungo em feijão procedente de Guatambu germinado a 20 °C; B) fungo em grão de feijão procedente de Guatambu germinado a 30 °C.



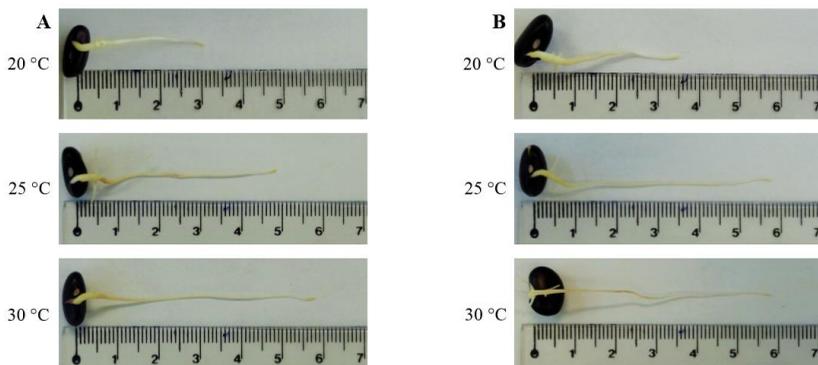
Fonte: Autoria própria (2015).

Fungos endofíticos são aqueles que vivem, em pelo menos uma parte de seu ciclo de vida, no interior de tecidos vegetais, sem causar aparentemente qualquer dano a seus hospedeiros (ALY; BEBBAB; PROKSCH, 2011). Assim, diferenciam-se dos fungos fitopatogênicos, que são prejudiciais às plantas e causam-lhes doenças e distinguem-se também dos fungos epifíticos, que vivem na superfície dos órgãos e tecidos vegetais (SOUZA et al., 2004).

Apesar de não serem encontradas diferenças significativas no que diz respeito à eficiência da germinação para as três temperaturas avaliadas, estas tiveram, por outro lado, influencia no comprimento das plântulas (Figura 3). Os grãos procedentes de Chapecó foram os que apresentaram os menores valores médios para os comprimentos das plântulas quando comparados com as plântulas dos feijões procedentes de Guatambu para as três temperaturas avaliadas (Tabela 1). Para todos os grãos, não houve diferenças significativas entre o tamanho das plântulas a 25 e a 30 °C. A maioria dos trabalhos encontrados utiliza a temperatura de 20 °C para a germinação de feijões (KUO et al., 2004; LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006; GUAJARDO-FLORES

et al., 2012; LÓPEZ et al., 2013; LIMÓN et al., 2014). No parâmetro avaliado – comprimento das plântulas – esta temperatura foi a que se mostrou menos adequada ao desenvolvimento das plântulas para as amostras estudadas neste trabalho.

Figura 3 - Comprimento das plântulas (hipocótilo e raiz primária) de feijão de acordo com a temperatura de germinação. A) Chapecó e B) Guatambu.



Fonte: Autoria própria (2015).

Guajardo-Flores et al. (2012), encontraram uma eficiência de germinação de 89,4%, com uma média para o comprimento de plântulas de 2,1 cm, quando germinaram feijões preto da variedade San Luis a 20 °C. Os resultados desses autores foram similares aos encontrados para os feijões procedentes das duas cidades, germinados na mesma temperatura. Huang, Cai e Xu (2014), trabalhando com outras leguminosas, encontraram comprimento de plântulas para soja (*Glycine max* L.) e feijão mungo (*Vigna radiata* L.) de 8,5 cm, com uma germinação realizada a 25 °C e por um período de 72 h. Martín-Cabrejas et al. (2008) encontraram, para uma germinação de 96 h a 25 °C, um comprimento de plântula para soja de 4,4 cm. Embora a comparação seja com outras leguminosas, é possível observar que as condições da germinação - temperatura, umidade, iluminação – influenciam no comprimento da plântula.

3.2 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

O conhecimento de parâmetros avaliados nos feijões germinados é importante para o desenvolvimento de possíveis produtos a partir deles. Os valores da avaliação físico-química estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Características físico-químicas avaliadas nos feijões não germinados e germinados a diferentes temperaturas.

Características	Sem germinação	Temperatura de germinação (°C)		
		20	25	30
<i>Umidade</i> (g.100g ⁻¹ b.u.)				
Chapecó	11,43 ± 0,17 ^{b,B}	54,11 ± 0,39 ^{a,A,α}	53,82 ± 0,45 ^{b,A,α}	53,81 ± 0,55 ^{a,A,α}
Guatambu	12,64 ± 0,11 ^{a,B}	54,66 ± 0,26 ^{a,A,α}	54,61 ± 0,20 ^{a,A,α}	54,22 ± 0,28 ^{a,A,α}
<i>pH</i>				
Chapecó	6,56 ± 0,02 ^{a,C}	6,90 ± 0,05 ^{a,A,α}	6,87 ± 0,02 ^{a,A,α}	6,79 ± 0,03 ^{a,B,β}
Guatambu	6,54 ± 0,01 ^{a,B}	6,81 ± 0,05 ^{b,A,α}	6,78 ± 0,03 ^{b,A,α}	6,76 ± 0,03 ^{a,A,α}
<i>Acidez Titulável</i> (mLNaOH 0,1mol L ⁻¹ .100g ⁻¹)				
Chapecó	11,81 ± 0,09 ^{a,B}	11,22 ± 0,20 ^{b,B,β}	11,81 ± 0,62 ^{b,B,β}	13,36 ± 0,71 ^{a,A,α}
Guatambu	12,40 ± 0,50 ^{a,B}	12,31 ± 0,04 ^{a,B,β}	13,40 ± 0,23 ^{a,A,α}	14,05 ± 0,71 ^{a,A,α}
<i>Sólidos solúveis</i> (°Brix)				
Chapecó	3,39 ± 0,01 ^{b,B}	5,04 ± 0,21 ^{a,A,α}	4,92 ± 0,20 ^{a,A,α}	5,33 ± 0,48 ^{a,A,α}
Guatambu	4,35 ± 0,32 ^{a,B}	4,84 ± 0,03 ^{a,B,α}	5,21 ± 0,19 ^{a,A,α}	5,12 ± 0,41 ^{a,A,α}
<i>Proteínas solúveis</i> (g.100g ⁻¹)				
Chapecó	4,53 ± 0,03 ^{b,B}	6,28 ± 0,30 ^{a,A,α}	6,14 ± 0,54 ^{a,A,α}	6,21 ± 0,49 ^{a,A,α}
Guatambu	5,54 ± 0,31 ^{a,B}	6,02 ± 0,25 ^{a,B,β}	6,56 ± 0,19 ^{a,A,αβ}	6,69 ± 0,50 ^{a,A,α}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras gregas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo o Regulamento Técnico do Feijão (BRASIL, 2008), o percentual de umidade tecnicamente recomendável para fins de comercialização do feijão é de até 14%. No entanto, o feijão com umidade superior a 14% pode ser comercializado, desde que não esteja ocasionando fatores de risco à saúde humana (BRASIL, 2008). Os feijões procedentes de ambos os municípios e empregados na produção dos brotos, apresentaram umidade abaixo de 14%, mostrando que ambos estão aptos para comercialização.

Os feijões germinados, de ambas as procedências, apresentaram uma umidade acima de 50% nas três temperaturas utilizadas para a germinação. Isso porque, antes de iniciar o processo germinativo, os grãos foram submetidos à maceração em água por 5h30min, o que levou os grãos a absorverem parte dessa água. Com a umidade da câmara de germinação acima de 90%, esse teor de água absorvido pelos grãos continuou em seu interior. A regularidade nos valores de umidade dos feijões germinados também pode estar associada às condições das amostras, de procedência garantida e não estocados por períodos que poderiam comprometer tanto a absorção de água quanto a germinação, de modo mais significativo.

Os valores de pH dos feijões não germinados e germinados nas diferentes temperaturas exibiram valores próximos a neutralidade para todas as procedências, ficando entre 6,54 a 6,90. A germinação proporcionou um aumento do pH em todas as temperaturas testadas, não havendo diferenças significativas entre as germinações a 20, 25 e 30 °C para os feijões procedentes de Guatambu. Para os feijões procedentes de Chapecó, foi observado um menor pH quando os grãos foram germinados a 30 °C e comparados com as demais temperaturas de germinação. Pode-se atribuir este aumento do pH à geração de compostos nitrogenados de menor massa molar durante a germinação.

Já a acidez total titulável mostrou um aumento quando os feijões foram germinados a 25 °C (Chapecó) e 25 e 30 °C (Guatambu). Nas demais temperaturas de germinação não foi observado diferença significativa na acidez total titulável quando comparados aos grãos não germinados.

Martín-Cabrejas et al. (2004), trabalhando com feijão do tipo Carilla, encontraram um pH de 6,22, sendo inferior à cultivar estudada. Zimmermann et al. (2009), analisaram feijões e também obtiveram valores de pH menores aos obtidos neste estudo, sendo que para cultivares do grupo preto obtiveram uma média de pH de 6,30. Por sua vez, Benítez et al. (2013), estudando a influência da germinação em outras leguminosas, observaram um decréscimo do pH quando estas eram germinadas a 25 °C, diferentemente do que ocorreu com a cultivar SCS204 Predileto estudada.

Houve aumento no teor de sólidos solúveis com a germinação para as três temperaturas testadas, variando de 3,39 °Brix (sem germinação) a 5,33 °Brix (germinação a 30 °C). Não houve diferenças significativas entre as germinações nas diferentes temperaturas, e também quando comparadas dos feijões procedentes das duas localidades em cada temperatura testada. O aumento no teor de sólidos era esperado, uma vez

que, durante a germinação, moléculas complexas como amido, proteínas e lipídeos são hidrolisadas e se transformam em moléculas mais simples, sendo transportadas aos centros de crescimento para o desenvolvimento do grão (VIEIRA; RAVA, 2000).

Com relação ao teor de proteínas solúveis, houve aumento significativo quando os grãos germinaram nas três temperaturas, passando de 4,53 a 6,28 g.100⁻¹ para os feijões procedentes de Chapecó e de 5,54 a 6,69 g.100g⁻¹ para os feijões procedentes de Guatambu. Os grãos de leguminosas acumulam grande quantidade de proteínas durante o seu desenvolvimento. Parte da energia utilizada para a germinação e desenvolvimento da nova planta é provida pela mobilização dessas proteínas (BEWLEY, 1997).

Ribeiro et al. (2011) também encontraram um aumento no teor de proteínas solúveis para o feijão comum, quando germinado a 28 °C. O conteúdo de proteínas solúveis aumentou de aproximadamente 90 µg.mg⁻¹ (9,0 g.100g⁻¹) antes da germinação, para aproximadamente 165 µg.mg⁻¹ (16,5 g.100g⁻¹) após 72 h de germinação, porém, segundo os autores, este aumento não foi significativo.

3.3 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante das amostras de feijão não germinadas e germinadas a 20, 25 e 30 °C foi avaliada pelos métodos DPPH• e FRAP, e os resultados estão ilustrados na Tabela 3. Os feijões procedentes de Guatambu foram os que obtiveram os menores resultados para atividade antioxidante nos dois métodos propostos, quando comparados aos feijões procedentes de Chapecó não germinados.

Tabela 3 – Valores da atividade antioxidante para os feijões germinados a temperatura de 20, 25 e 30 °C.

Atividade antioxidante ($\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g ⁻¹)	Sem germinação	Temperatura de germinação (°C)		
		20	25	30
<i>DPPH aquoso</i>				
Chapeçó	10,57 ± 0,30 ^{a,A}	8,95 ± 0,70 ^{a,B,a}	9,59 ± 0,86 ^{a,AB,a}	9,93 ± 0,69 ^{a,AB,a}
Guatambu	7,08 ± 0,46 ^{b,A}	7,02 ± 0,45 ^{b,A,b}	7,79 ± 0,46 ^{b,A,ab}	8,02 ± 0,57 ^{b,A,a}
<i>DPPH metanólico</i>				
Chapeçó	4,17 ± 0,15 ^{a,A}	3,37 ± 0,65 ^{a,AB,a}	2,61 ± 0,14 ^{b,BC,ab}	2,47 ± 0,37 ^{a,C,b}
Guatambu	2,59 ± 0,10 ^{b,B}	2,73 ± 0,28 ^{a,B,b}	3,79 ± 0,58 ^{a,A,a}	2,82 ± 0,17 ^{a,B,b}
<i>FRAP aquoso</i>				
Chapeçó	27,50 ± 0,65 ^{a,A}	21,08 ± 0,63 ^{a,B,a}	20,69 ± 0,96 ^{a,B,a}	18,65 ± 0,75 ^{a,C,b}
Guatambu	24,47 ± 0,14 ^{b,A}	17,13 ± 0,98 ^{b,C,b}	19,63 ± 0,87 ^{a,B,a}	18,74 ± 0,88 ^{a,BC,ab}
<i>FRAP metanólico</i>				
Chapeçó	9,31 ± 0,58 ^{a,B}	14,87 ± 0,14 ^{a,A,a}	15,37 ± 0,65 ^{a,A,a}	14,15 ± 1,04 ^{a,A,a}
Guatambu	9,19 ± 0,48 ^{a,C}	15,12 ± 0,71 ^{a,AB,ab}	15,57 ± 0,94 ^{a,A,a}	13,96 ± 0,46 ^{a,B,b}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras gregas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A atividade antioxidante do extrato aquoso medida pelo método DPPH variou de 7,02 a 10,57 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox g⁻¹, e para o extrato metanólico variou de 2,47 a 4,17 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹, evidenciando uma melhor extração dos compostos antioxidantes quando o solvente utilizado foi a água. Já a atividade antioxidante do extrato aquoso medida pelo método FRAP variou de 17,13 a 27,50 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹. A germinação dos grãos reduziu a atividade antioxidante dos mesmos, possivelmente porque os compostos responsáveis por essa atividade e que possuíam afinidade pela água foram consumidos durante o processo de germinação, podendo ser formados compostos com atividade antioxidante e com afinidade pelo metanol, uma vez que a atividade antioxidante para o extrato metanólico foi aumentada quando os feijões de ambas as procedências germinaram nas diferentes temperaturas. A atividade antioxidante para os extratos metanólicos medida pelo método FRAP variou de 9,19 a 15,57 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹.

Xu e Chang (2008) encontraram resultados superiores para o grão de feijão do grupo comercial preto, para atividade antioxidante pelo método DPPH, com valor de 18,95 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹. Silva, Rocha e Canniatti Brazaca (2009) encontraram resultados ligeiramente superiores

para o feijão BRS Supremo, de 21,73 $\mu\text{mol. L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹. López-Amorós et al. (2006) observaram redução da atividade antioxidante quando os feijões foram germinados a 20 °C por dois dias. Entretanto, após quatro e seis dias de germinação, a atividade antioxidante dos grãos germinados aumentou quando comparada com o grão não germinado.

Os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a atividade antioxidante (DPPH e FRAP) para os extratos aquosos são fortes ($p < 0,05$) para os feijões não germinados e germinados a 20 e 25 °C ($r = +1,00$), o que indica que nessas condições, os feijões apresentaram atividade antioxidante comparável em ambos os métodos. Para a germinação a 30 °C, a correlação foi fraca ($r = -1,00$; $p < 0,05$) para DPPH e FRAP. Para os extratos metanólicos, os coeficientes de correlação de Pearson foram fortes para os feijões não germinados e germinados a 25 °C ($r = +1,00$; $p < 0,05$). Já para os feijões germinados a 20 e 30 °C, a correlação foi fraca ($r = -1,00$; $p < 0,05$) para DPPH e FRAP.

Esses resultados indicam que, comparativamente aos grãos, a germinação apenas pode não representar importante opção para a obtenção da propriedade funcional com apelo de antioxidante para derivados dos feijões germinados; principalmente porque o preparo do extrato empregado nesses estudos preliminares não permitiu o carregamento dos compostos antioxidantes dos tegumentos. Estudos adicionais com combinação de solventes e diferentes tempos de extração fazem-se necessários.

4 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a temperatura de germinação é importante para o desenvolvimento do feijão, uma vez que afeta significativamente seu crescimento e suas características físico-químicas. Além disto, foi observado aumento nos sólidos solúveis e proteínas solúveis.

Contrariamente aos estudos de outros autores, não houve aumento significativo da atividade antioxidante quando os feijões foram germinados, com exceção do extrato metanólico para o método FRAP. Estes resultados indicam que a germinação pode não representar uma opção importante para o aumento da atividade antioxidante, sendo necessário realizar estudos adicionais.

Comparando-se as temperaturas de germinação, foi possível concluir que a melhor temperatura para a germinação dos feijões foi a de 25 °C, uma vez que houve um bom desenvolvimento das plântulas, diferentemente do que ocorreu com os grãos germinados a 20 °C, e os

brotos não foram danificados por fungos possivelmente endofíticos, como ocorreu nos feijões germinados a 30 °C.

REFERÊNCIAS

ALY, A. H.; DEBBAB, A.; PROKSCH, P. Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 90, p. 1829-1845, 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18 ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BENÍTEZ, V.; CANTERA, S.; AGUILERA, Y.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M.; DÍAZ, M. F.; MARTÍN-CABREJAS, M. A. Impact of germination on starch, dietary fiber and physicochemical properties in non-conventional legumes. **Food Research International**, v. 50, p. 64-69, 2013.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the frap assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.

BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **The Plant Cell**, v. 9, p. 1055-1066, 1997.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

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

BRASIL. Instrução Normativa n. 12, de 28 de março de 2008. Regulamento Técnico do Feijão, **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 31 de março de 2008, Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

CARVALHO, N. H.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3 ed. Campinas: Fundação Cargill, 424 p, 1988.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Catálogo de Cultivares 2013/2014**. Florianópolis: Governo de Santa Catarina, 2013. 42 p.

GUAJARDO-FLORES, D.; GARCÍA-PATIÑO, M.; SERNA-GUERRERO, D.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Characterization and quantification of saponins and flavonoids in sprouts, seed oats and cotyledons of germinated black beans. **Food Chemistry**, v. 134, p. 1312-1319, 2012.

HUANG, X.; CAI, W.; XU, B. Kinetic changes of nutrients and antioxidant capacities of germinated soybean (*Glycine max* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.) with germination time. **Food Chemistry**, v. 143, p. 268-276, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. São Paulo; Instituto Adolfo Lutz, 2008, p. 1020.

KHATTAK, A. B.; ZEB, A.; BIBI, N.; KHALIL, S. A.; KHATTAK, M. S. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicerarietinum* L.) sprouts. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1074-1079, 2007.

KOU, Y.-H.; ROZAN, P.; LAMBEIN, F.; FRIAS, J.; VIDAL-VALVERDE, C. Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. **Food Chemistry**, v. 86, p. 537-545, 2004.

LIMÓN, R. I.; PEÑAS, E.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C.; FRIAS, J. Role of elicitation on the health-promoting properties of kidney bean sprouts. **Food Science and Technology**, v. 56, p. 328-334, 2014.

LÓPEZ, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; GÓMEZ-SERRANILLOS, M. P.; PALOMINO, O. M.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 138, p. 547-555, 2013.

LÓPEZ-AMORÓS, M. L.; HERNÁNDEZ, T.; ESTRELLA, I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 277-283, 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, p. 1071-1078, 2009.

MANOS, M. G. L.; OLIVEIRA, M. G. C.; MARTINS, C. R. **Informações Técnicas para o Cultivo do Feijoeiro Comum na Região Nordeste Brasileira 2012-2014**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013, 199 p. (Embrapa Tabuleiros, ISSN 1678-1953, 181).

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; DÍAZ, M. F.; AGUILERA, Y.; BENÍTEZ, V.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R. M. Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. **Food Chemistry**, v. 107, p. 1045-1052, 2008.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; SANFIZ, B.; VIDAL, A.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R.; LÓPEZ-ANDRÉU, F. J. Effect of fermentation and autoclaving on dietary fiber fractions and antinutritional factors of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 52, p. 261-266, 2004.

RIBEIRO, E. S.; CENTENO, D. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C.; FERNANDES, K. V. S.; XAVIER-FILHO, J.; OLIVEIRA, A. E. A. Free cyclitol, soluble carbohydrate and protein contents in *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* bean sprouts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 4273-4278, 2011.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 20, p. 591-598, 2009.

SOUZA et al. Atividade antimicrobiana de fungos endofíticos isolados de plantas tóxicas da Amazônia: *Palicourea longiflora* (aubl.) rich e

Strychnoscogensbentham. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 185-195, 2004.

VERNAZA, M. G.; DIA, V. P.; MEJIA, E. G.; CHANG, Y. K. Antioxidant and antiinflammatory properties of germinated and hydrolysed Brazilian soybean flours. **Food Chemistry**, v. 134, p. 2217-2225, 2012.

VIEIRA; E. H.; RAVA, C. A. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 270 p.

WANG, N.; LEWIS, M. J.; BRENNAN, J. G.; WESTBY, A. Optimization of germination process of cowpea by response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 58, n. 4, p. 329-339, 1997.

XU, B. J.; CHANG, K. C. Total phenolic content and antioxidant properties of Eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. **Journal of Food Science**, v. 73, p. 19-27, 2008.

ZIMMERMANN, L. O. G.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; NÓBREGA, L. H. P. Alterações da qualidade tecnológica de marcas comerciais de feijão dos grupos cores e preto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 3, p. 619-628, 2009.

CAPÍTULO 3

**Avaliação das características de secagem de feijão comum
(*Phaseolus vulgaris* L.) germinado a 25 °C**

Avaliação das características de secagem de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) germinado a 25 °C

Resumo

A secagem é um processo que envolve a retirada da água de um produto por meio da aplicação de calor. Dessa forma, a secagem de feijões germinados foi avaliada utilizando-se temperaturas de 45, 55 e 65 °C, ajustando as curvas de secagem experimentais aos modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, Midilli e Wang e Singh. Embora tenha sido observado um comportamento clássico nas curvas de secagem, as curvas de taxa de secagem só apresentaram o período de taxa decrescente nas três temperaturas avaliadas, não sendo observado o período de taxa constante. Todos os modelos avaliados se ajustaram bem aos dados experimentais, com exceção do modelo de Wang e Singh. O modelo de Midilli foi o escolhido para representar a cinética de secagem dos feijões germinados.

Palavras-chave: Germinação, modelagem, curvas de secagem, leguminosa.

Evaluation of the drying characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germinated at 25 °C

Abstract

The drying is a process that involves the removal of water from a product by the application of heat. Thus, the drying of sprouted common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) was evaluated by using temperatures of 45, 55 and 65 °C, adjusting the drying experimental curves to Lewis, Page, Henderson and Pabis, Midilli and Wang and Singh's mathematical models. Although it was observed a classic behavior in the drying curves, the drying rate curves were only shown during the decreasing rate period in the three evaluated temperatures, but were not observed during the constant rate period. All evaluated models adjusted well to the experimental data, with the exception of Wang and Singh's model. The model of Midilli was chosen to represent the kinetics of drying of the germinated beans.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., germination, modeling, drying curves.

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em todo o território brasileiro, sendo que segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2016), no ano de 2014, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de feijão, com mais de 3 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Índia e Myanmar. Mais da metade (50,93%) da produção anual origina-se apenas de quatro países.

O Brasil lidera o consumo mundial do produto na forma de grão (CONAB, 2014). No entanto, o país ainda não tem o hábito de consumir essa leguminosa na forma de broto, diferentemente do que ocorre na China, Japão e Estados Unidos (MACHADO et al., 2009).

As vantagens de se produzir brotos incluem pouco espaço, pois a germinação pode ser realizada em bandejas, não havendo necessidade de luz solar direta. Além disso, são produzidos em pouco tempo e em qualquer região. Porém, o período de conservação dos grãos germinados é curto, devido ao alto teor de água, sendo um alimento mais susceptível à deterioração do que o grão original.

A secagem é um processo onde ocorre a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um alimento, com prolongamento de sua vida útil (FELLOWS, 2006), o que é conseguido por meio da redução da atividade de água, uma medida da disponibilidade de água que pode participar de reações químicas. Como a umidade é reduzida, a atividade de água do produto também se reduz e abaixo de 0,6 e geralmente é considerado estável em armazenamento (DRISCOLL, 2004; FELLOWS, 2006).

Dessa forma, considerando a escassez de informações teóricas a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) germinado, o presente trabalho teve como objetivo o levantamento experimental das suas curvas de secagem e o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais obtidos com a secagem dos brotos nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C, em estufa com circulação de ar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Foi estudada a cultivar de feijão SCS204 Predileto, pertencente ao grupo comercial preto e desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Os feijões

foram cultivados em campos experimentais pela Epagri, procedentes de dois municípios do Estado de Santa Catarina: Chapecó (Latitude 27°05'47"S e Longitude 52°37'06"O) e Guatambu (Latitude 27°8'5"S e Longitude 52°47'15"O). Os feijões de ambas as procedências foram cultivados em sistema de plantio sobre palha de aveia, previamente seca. Os grãos foram armazenados à temperatura de 5 ± 2 °C, em sacos de polietileno, até a realização da germinação e posterior secagem.

2.2 GERMINAÇÃO

Os feijões (n = 150) foram colocados em solução de hipoclorito de sódio 0,07% (m/v) por 30 minutos (1:3 m/v), e em seguida foram macerados em água destilada por 5h30min (1:3 m/v). Após a maceração, a água foi descartada e os grãos foram colocados em bandejas adaptadas para a germinação que foram, em seguida, levadas para a incubadora refrigerada BOD (TE371, TECNAL[®], Brasil) com temperatura de 25 °C. A iluminação se deu com luz fluorescente branca e fria por 8 h/dia (BRASIL, 2009). Água destilada foi borrifada nos grãos (aproximadamente 3 mL/dia), por bandeja de germinação, para manter a umidade da superfície dos grãos. Ao final das 72 h, os feijões germinados foram secos em estufa com circulação e renovação de ar (TE 394/2, TECNAL[®], Brasil).

2.3 TEMPERATURA E TEMPO DE SECAGEM DOS FEIJÕES GERMINADOS

A secagem foi realizada em estufa com circulação e renovação de ar (TE 394/2, TECNAL[®], Brasil), nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C. As leituras em relação à perda de peso das amostras foram realizadas em intervalos regulares, inicialmente a cada 10 e posteriormente a cada 30 minutos, onde as amostras foram retiradas da câmara de secagem, pesadas e recolocadas rapidamente na estufa. A perda de peso foi acompanhada até umidade inferior a 14% (b.u.). A taxa de secagem foi calculada ponto a ponto.

Para a determinação da razão de umidade (RU) dos feijões germinados para as diferentes temperaturas de secagem, foi utilizada a Equação 1.

$$RU = \frac{U - U_c}{U_o - U_c} \quad (1)$$

Em que:

U - umidade absoluta, base seca (b.s).

U_e - umidade de equilíbrio, b.s.

U_0 - umidade inicial, b.s.

Foram ajustados os modelos matemáticos (Tabela 1) aos dados experimentais de secagem. Para o ajuste, foi utilizada análise de regressão não linear dos tipos polinomial de segundo grau e exponencial, por meio do software Statistica 6.0.

Tabela 1 - Modelos matemáticos teóricos considerados durante a cinética de secagem dos grãos de feijão germinados.

Nome do modelo	Equação	Referência
Henderson e Pabis	$RU = a \times \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Lewis	$RU = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
Midilli	$RU = a \times \exp(-kt^n) + bt$	Midilli, Kucuk e Yapar (2002)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$	Wang e Singh (1978)

onde RU – razão de umidade (adimensional); t – tempo (minutos); a , b , k , e n – parâmetros dos modelos; os parâmetros a , b e n são constantes experimentais (adimensionais), k para Lewis e Henderson e Pabis em unidades min^{-1} ; k de Midilli e Page em unidades $(\text{min}^{-1})^n$.

O critério da escolha dos melhores ajustes se baseou no coeficiente de determinação (R^2), os gráficos de resíduos dos modelos nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C, gerados pelo próprio software estatístico, e do valor de outros dois critérios, que foram a raiz quadrada média do erro (RQME) e do qui-quadrado reduzido (χ^2), que levam em consideração as respostas observadas experimentalmente e os valores preditos pelo modelo (Equação 2 e 3, respectivamente).

$$RQME = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{pre,i} - Y_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{\text{exp},i} - Y_{\text{pre},i})^2}{N - \nu} \quad (3)$$

Nas quais:

χ^2 = qui-quadrado reduzido;

RQME = raiz do quadrado médio do erro;

$Y_{\text{exp},i}$ = adimensional de umidade observado experimentalmente;

$Y_{\text{pre},i}$ = adimensional de umidade predito pelo modelo;

N = número de pontos experimentais;

ν = número de coeficientes e constantes.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as curvas de secagem foram conduzidas em três repetições e os dados expressos como média \pm desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância, seguido pelo teste de Tukey para comparação das médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

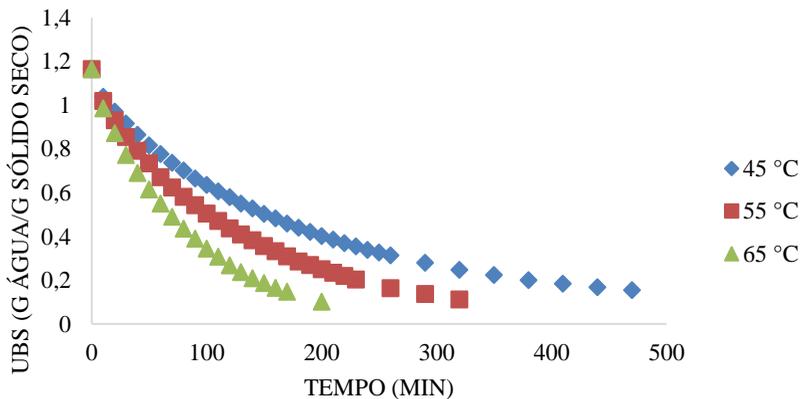
Os teores de umidade dos feijões germinados, durante o processo de secagem em diferentes temperaturas, apresentaram os comportamentos ilustrados na Figura 1. As curvas para cada temperatura de secagem são apresentadas em umidade em base seca dos grãos germinados em função do tempo.

Apesar de os feijões germinados serem uma matriz alimentar heterogênea, foi observado uma boa reprodutibilidade entre as repetições de cada experimento nas diferentes temperaturas de secagem. Como esperado, a temperatura utilizada influenciou na secagem dos grãos, onde houve uma perda do conteúdo de água mais acentuada quando a temperatura do ar de secagem foi maior.

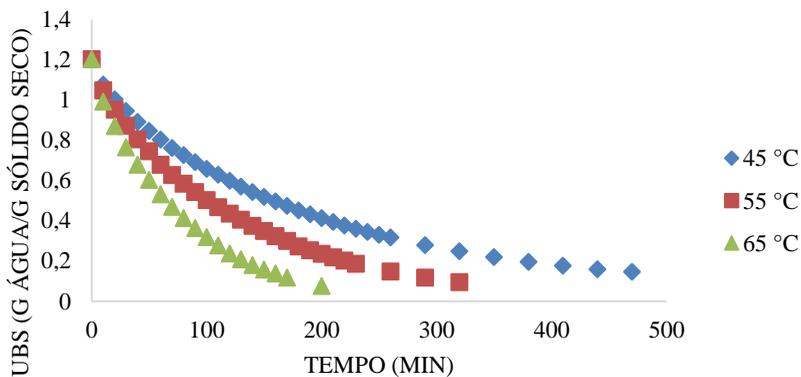
As curvas foram similares quando comparadas as procedências dos grãos com a temperatura de secagem.

Figura 1 – Curvas de secagem dos feijões germinados procedentes de A) Chapecó e B) Guatambu, nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C.

A



B

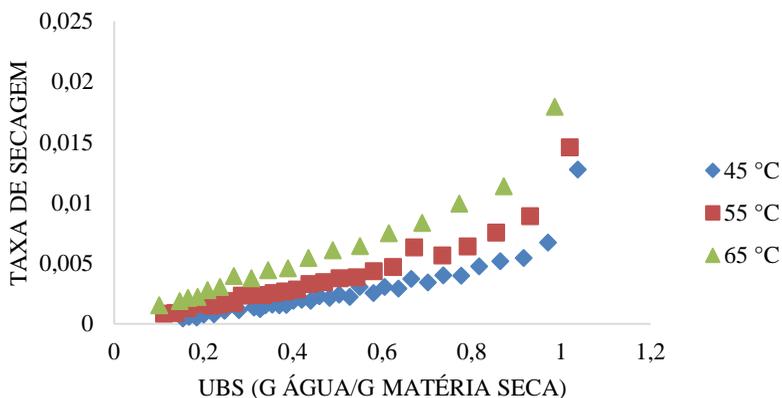


Corrêa et al. (2007), analisando o processo de secagem de feijões, observaram a influência da temperatura na secagem dos grãos, com curvas de secagens similares aos dos feijões germinados. Esse comportamento também foi visto em outros estudos com outros grãos, como milho pipoca (CORRÊA; MACHADO; ANDRADE, 2001), feijão-caupi (MORAIS et al., 2013) e grão de café (ISQUIERDO et al., 2013).

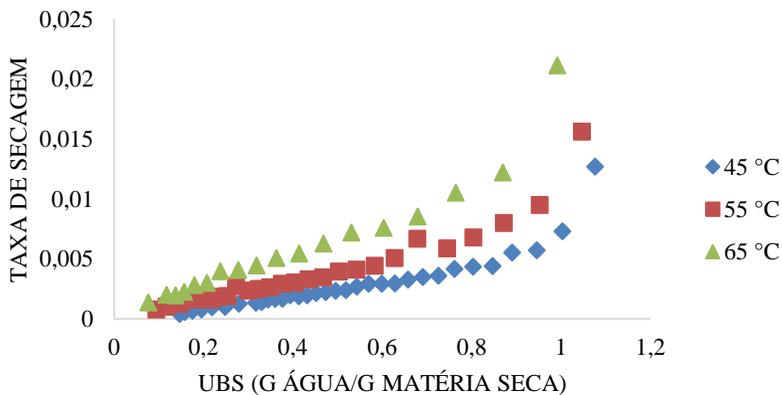
Outra representação importante para o estudo da secagem dos feijões germinados é a que correlaciona a taxa de secagem em função da umidade em base seca. Analisando os gráficos de taxa de secagem (Figura2), pode-se observar que com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorreu maior taxa de remoção de água dos feijões germinados.

Figura 2 – Curvas de taxa de secagem dos feijões germinados procedentes de A) Chapecó e B) Guatambu, nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C.

A



B



Uma curva típica de taxa de secagem apresenta um período de taxa constante, e outro de taxa decrescente. Como pode ser observado na Figura 2, as amostras, em todas as temperaturas de secagem, não apresentaram um período de taxa constante. Verifica-se que a secagem dos feijões germinados ocorre no período de taxa de secagem decrescente, indicando uma maior resistência à transferência de calor e massa do interior do produto para a superfície e, portanto, a difusão é o principal mecanismo que promove o movimento do vapor de água (BARBOSA-CÁNOVAS; VEJA-MERCADO, 2000).

De acordo com Kreyger (1973) apud Corrêa et al. (2007), grãos e sementes, em geral, apresentam o período de secagem à taxa constante muito curto, ou inexistente, porque, nas condições operacionais de secagem, as resistências às transferências de água encontram-se essencialmente no seu interior, tornando a taxa de evaporação superficial acentuadamente superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície do produto. O período de taxa constante também não foi observado para a secagem de feijão-caupi (MORAIS et al., 2013), soja (RAFIEE et al., 2009) e trigo (MOHAPATRA, RAO, 2005).

Os valores experimentais de umidade final dos feijões germinados a 45, 55 e 65 °C são apresentados na Tabela 2. Para todas as temperaturas avaliadas, o teor de umidade final ficou abaixo de 14% (b.u.). Segundo o Regulamento Técnico do Feijão (BRASIL, 2008), o percentual de umidade tecnicamente recomendável para fins de comercialização do feijão é de até 14%. No entanto, o feijão com umidade superior a 14% pode ser comercializado, desde que não represente fatores de risco à saúde humana. Dessa forma, a umidade dos feijões germinados e secos nas três temperaturas está de acordo com o preconizado pelo Regulamento Técnico.

Tabela 2 - Valores de umidade final dos feijões germinados secos nas temperaturas de 45, 55 e 65°C.

Umidade final	Temperatura de secagem		
	45 °C	55 °C	65 °C
<i>Base seca – b.s.</i>			
<i>(g água/g matéria seca)</i>			
Chapécó	0,1543 ± 0,0195	0,1121 ± 0,0272	0,1014 ± 0,0060
Guatambu	0,1469 ± 0,0195	0,0949 ± 0,0060	0,0767 ± 0,0084
<i>Base úmida – b.u. (%)</i>			
Chapécó	13,35 ± 1,48	10,04 ± 2,24	9,20 ± 0,49
Guatambu	12,79 ± 1,94	8,67 ± 0,50	7,12 ± 0,72

O tempo necessário para que os brotos atingissem uma umidade inferior a 14% está presente na Tabela 3. É possível observar que os grãos germinados procedentes de Guatambu atingiam a umidade necessária para comercialização antes daqueles procedentes de Chapecó, para as três temperaturas avaliadas.

Tabela 3 – Tempo necessário de secagem para que os brotos atingissem umidade inferior a 14%.

Tempo para atingir umidade inferior a 14%	Temperatura de secagem		
	45 °C	55 °C	65 °C
Chapecó	7h50min	4h50min	2h50min
Guatambu	7h20min	4h20min	2h30min

As curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Midilli, Page e Wang e Sigh são apresentadas nos Apêndices A, B, C, D, E e F para as secagens dos feijões germinados nas temperaturas de 45 °C, 55 °C e 65 °C. A modelagem da cinética de secagem foi realizada a partir dos dados de adimensional de umidade (razão de umidade) coletados durante o experimento (valores experimentais). Estes valores foram lançados no software Statistica 6.0, bem como as fórmulas de cada modelo testado (Henderson e Pabis, Lewis, Midilli, Page e Wang e Sigh), de forma a obter os valores preditos pelos modelos para o adimensional de umidade.

Na Tabela 4 são ilustrados os valores dos parâmetros dos modelos de Henderson e Pabis, Lewis, Midilli, Page e Wang e Sigh, ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem a 45, 55 e 65 °C e os respectivos coeficientes de determinação (R^2). Para as três temperaturas utilizadas na secagem dos feijões germinados, observa-se que os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação (R^2) próximos a 0,99, indicando representação satisfatória do fenômeno em estudo, exceto para o modelo Wang e Singh, onde o valor de R^2 ficou abaixo ou próximo de 0,98.

Tabela 4 - Coeficientes dos modelos matemáticos ajustados das curvas de secagem dos feijões germinados para as temperaturas de 45, 55 e 65 °C.

Modelo	Parâmetros				χ^2	RQME	R ²
	a	b	k	n			
45 °C							
<i>Henderson e Pabis</i>							
Chapecó	0,9499	-	0,0069	-	$2,75 \times 10^{-4}$	0,0161	0,9981
Guatambu	0,9528	-	0,0068	-	$3,04 \times 10^{-4}$	0,0169	0,9979
<i>Lewis</i>							
Chapecó	-	-	0,0074	-	$5,50 \times 10^{-4}$	0,0231	0,9960
Guatambu	-	-	0,0072	-	$5,50 \times 10^{-4}$	0,0231	0,9961
<i>Midilli</i>							
Chapecó	0,9873	-0,00019	0,0154	0,828448	$2,99 \times 10^{-5}$	0,0051	0,9998
Guatambu	0,9878	-0,00020	0,0151	0,827843	$3,12 \times 10^{-5}$	0,0052	0,9998
<i>Page</i>							
Chapecó	-	-	0,0113	0,915249	$3,53 \times 10^{-4}$	0,0182	0,9976
Guatambu	-	-	0,0106	0,923879	$3,94 \times 10^{-4}$	0,0193	0,9973
<i>Wang e Singh</i>							
Chapecó	-0,0054	0,00001	-	-	$3,47 \times 10^{-3}$	0,0571	0,9756
Guatambu	-0,0053	0,00001	-	-	$3,23 \times 10^{-3}$	0,0551	0,9775
55 °C							
<i>Henderson e Pabis</i>							
Chapecó	0,9696	-	0,0099	-	$2,70 \times 10^{-4}$	0,0158	0,9982
Guatambu	0,9680	-	0,0010	-	$2,85 \times 10^{-4}$	0,0162	0,9981
<i>Lewis</i>							
Chapecó	-	-	0,0102	-	$3,63 \times 10^{-4}$	0,0187	0,9975
Guatambu	-	-	0,0103	-	$3,88 \times 10^{-4}$	0,0193	0,9974
<i>Midilli</i>							
Chapecó	0,9944	-0,0003	0,0185	0,845814	$1,51 \times 10^{-5}$	0,0036	0,9999
Guatambu	0,9943	-0,0003	0,01910	0,841503	$1,97 \times 10^{-5}$	0,0041	0,9999
<i>Page</i>							
Chapecó	-	-	0,0126	0,955489	$3,19 \times 10^{-4}$	0,0172	0,9979
Guatambu	-	-	0,0129	0,951919	$3,35 \times 10^{-4}$	0,0176	0,9978
<i>Wang e Singh</i>							
Chapecó	-0,0074	0,0001	-	-	$2,67 \times 10^{-3}$	0,0497	0,9823
Guatambu	-0,0075	0,0001	-	-	$2,81 \times 10^{-3}$	0,0510	0,9814
65 °C							
<i>Henderson e Pabis</i>							
Chapecó	0,9956	-	0,0151	-	$4,55 \times 10^{-4}$	0,0202	0,9974
Guatambu	0,9859	-	0,0157	-	$4,52 \times 10^{-4}$	0,0201	0,9974
<i>Lewis</i>							
Chapecó	-	-	0,0152	-	$4,32 \times 10^{-4}$	0,0202	0,9974
Guatambu	-	-	0,0159	-	$4,51 \times 10^{-4}$	0,0207	0,9973
<i>Midilli</i>							
Chapecó	0,9950	-0,0005	0,0207	0,891961	$2,93 \times 10^{-5}$	0,0048	0,9998
Guatambu	0,9934	-0,0005	0,0241	0,867054	$5,55 \times 10^{-5}$	0,0066	0,9997
<i>Page</i>							
Chapecó	-	-	0,0132	1,032705	$4,28 \times 10^{-4}$	0,0196	0,9976
Guatambu	-	-	0,0155	1,005725	$4,76 \times 10^{-4}$	0,0206	0,9973
<i>Wang e Singh</i>							
Chapecó	-0,0112	0,0001	-	-	$1,54 \times 10^{-3}$	0,0371	0,9912
Guatambu	-0,0115	0,0001	-	-	$2,03 \times 10^{-3}$	0,0464	0,9883

* a , b , k , e n – parâmetros dos modelos; os parâmetros a , b e n são constantes experimentais (adimensionais), k para Lewis e Henderson e Pabis em unidades min^{-1} ; k de Midilli e Page em unidades $(\text{min}^{-1})^n$.

De acordo com os resultados ilustrados na Tabela 4, é possível observar que mudanças na temperatura de secagem afetam os valores das constantes e dos coeficientes dos modelos. Por exemplo, no modelo de Page, a constante (k) e o coeficiente (n) aumentaram com o aumento da temperatura, para os grãos germinados das duas procedências, o mesmo ocorrendo para as constantes e coeficientes dos outros modelos, com exceção do modelo de Midilli, onde este aumento não foram observados para todos os coeficientes. Para o coeficiente a do modelo de Wang e Singh, e o coeficiente b do modelo de Midilli, observa-se uma redução dos seus valores com o aumento da temperatura.

Os modelos de Henderson e Pabis, Lewis, Midilli e Page se adequaram aos dados experimentais para todas as temperaturas avaliadas ($R^2 > 0,996$). No entanto, apenas a avaliação dos coeficientes de determinação (R^2) não é suficiente para identificar qual dos modelos é o melhor, devendo-se, neste caso, analisar os resíduos de cada modelo (Apêndices G, H, I J, K e L) e os valores da raiz quadrada média do erro (RQME) e do qui-quadrado reduzido (χ^2).

Analisando os gráficos dos resíduos em função dos valores preditos pelos modelos matemáticos gerados pelos software Statistica 6.0, verifica-se que os modelos de Henderson e Pabis, Midilli e, Page se adequaram melhor aos resultados experimentais, embora na secagem a 65 °C, os gráficos dos resíduos para os feijões germinados das três procedências foram similares para os modelos de Henderson e Pabis, Lewis, Midilli e Page.

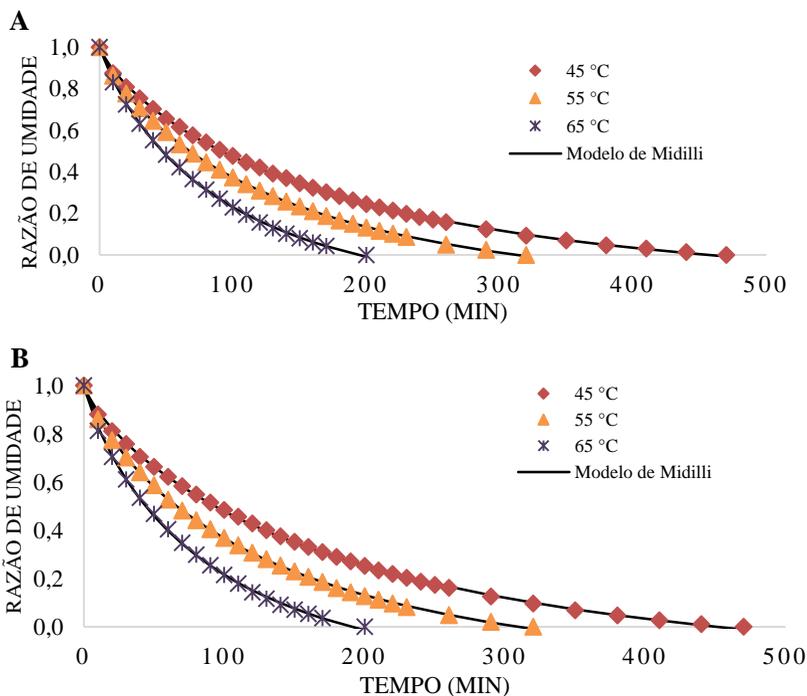
Referencialmente, para ser considerado de bom ajuste, o modelo deve alcançar valores de coeficiente de regressão linear (R^2) mais elevados e próximos possíveis da unidade (1,0) e, concomitantemente, os valores de RQME e χ^2 mais baixos e próximos de zero. Observando os dados, pode-se concluir que o modelo de Midilli foi o que obteve o melhor ajuste aos dados experimentais. Esse modelo possui uma equação mais complexa quando comparado aos demais, fato que pode ter contribuído para o melhor ajuste aos dados, já que o maior número de coeficientes pode ter gerado maior flexibilidade ao modelo.

O modelo de Midilli foi o selecionado para representar o fenômeno de secagem do feijão germinado, uma vez que apresentou os menores valores de RQME e χ^2 e maiores valores de R^2 para todas as amostras nas três temperaturas de secagem avaliadas (Tabela 5 e Figura 3).

Tabela 5 – Equações de cinética de secagem de feijões germinados ajustados pelo modelo de Midilli.

Temperatura	Equações de cinética de secagem
45 °C	
Chapecó	$RU = 0,9873 \times \exp(-0,0154 \times t^{0,84284}) + (-0,0002 \times t)$
Guatambu	$RU = 0,9878 \times \exp(-0,0151 \times t^{0,8278}) + (-0,0002 \times t)$
55 °C	
Chapecó	$RU = 0,9944 \times \exp(-0,0185 \times t^{0,8458}) + (-0,0003 \times t)$
Guatambu	$RU = 0,9943 \times \exp(-0,0191 \times t^{0,8415}) + (-0,0003 \times t)$
65 °C	
Chapecó	$RU = 0,9950 \times \exp(-0,0207 \times t^{0,8920}) + (-0,0005 \times t)$
Guatambu	$RU = 0,9934 \times \exp(-0,0241 \times t^{0,8670}) + (-0,0005 \times t)$

Figura 3 – Gráficos dos dados experimentais de secagem e dos dados preditos pelo modelo matemático de Midilli nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C para os feijões germinados procedentes de A) Chapecó e B) Guatambu.



Doymaz (2005), avaliando a secagem de grãos de feijão verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, encontrou o modelo de Page como tendo um melhor ajuste do que o modelo de Henderson e Pabis, embora este também tenha se ajustado bem aos dados experimentais. Já Raffie et al. (2009) observaram que o modelo de Midilli se adequou aos dados experimentais para a secagem de soja, embora os outros modelos testados, como o de Page, também tenham sido satisfatórios.

Carvalho (2012), avaliando o efeito da secagem na polpa residual obtida na industrialização de batata frita, também encontrou o modelo de Midilli com um maior ajuste aos dados experimentais, embora outros modelos tenham tido um ajuste adequado.

Os parâmetros médios ajustados para cada temperatura são apresentados na Tabela 6. Observa-se que não houve diferença significativa dos parâmetros “a” e “k” em função das localidades dos feijões. Dessa forma, poderia ser escolhido apenas um valor de “a”, “k”, “n” e “b” em cada temperatura, fazendo com que tanto os feijões procedentes de Chapecó quanto os procedentes de Guatambu tivessem o mesmo modelo cinético de secagem.

Tabela 6 - Parâmetros médios gerados pelo ajuste do modelo de Midilli para a secagem dos feijões germinados a 45, 55 e 65 °C.

Amostra	Temperatura de secagem (°C)		
	45	55	65
	a	a	a
Chapecó	0,9874 ± 0,0052 ^{a,A}	0,99434 ± 0,0022 ^{a,A}	0,9951 ± 0,0030 ^{a,A}
Guatambu	0,9878 ± 0,0028 ^{a,B}	0,99399 ± 0,0004 ^{a,A}	0,9942 ± 0,0020 ^{a,A}
	k	k	k
Chapecó	0,0154 ± 0,0006 ^{a,B}	0,0184 ± 0,0025 ^{a,AB}	0,0208 ± 0,0025 ^{a,A}
Guatambu	0,0151 ± 0,0010 ^{a,A}	0,0189 ± 0,0029 ^{a,A}	0,0258 ± 0,0119 ^{a,A}
	n	n	n
Chapecó	0,8282 ± 0,0079 ^{a,B}	0,8478 ± 0,0111 ^{a,AB}	0,8911 ± 0,0361 ^{a,A}
Guatambu	0,8279 ± 0,0191 ^{a,A}	0,8452 ± 0,0113 ^{a,A}	0,8663 ± 0,1000 ^{a,A}
	b	b	b
Chapecó	-0,0002 ± 0,0001 ^{a,B}	-0,0003 ± 0,0001 ^{a,B}	-0,0005 ± 0,0001 ^{a,A}
Guatambu	-0,0002 ± 0,0001 ^{a,B}	-0,0003 ± 0,0001 ^{a,AB}	-0,0005 ± 0,0001 ^{a,A}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÃO

As curvas de secagem dos feijões germinados nas três temperaturas analisadas mostraram um comportamento clássico nesse tipo de processo. Nas curvas de taxa de secagem, foi observado somente o período de taxa decrescente, não sendo observado o período de taxa constante. Além disso, a umidade final dos feijões germinados secos em todas as temperaturas atingiram valores abaixo de 14% (b.u.), tal como exigido pelo Regulamento Técnico do Feijão.

Todos os modelos cinéticos propostos se ajustaram satisfatoriamente aos resultados nas três temperaturas avaliadas, sendo que o modelo de Midilli foi o que melhor predisse a secagem dos feijões germinados.

REFERÊNCIAS

BARBOSA-CÁNOVAS, V.; VEJA-MERCADO, H. **Deshidratación de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 2000. 297 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Instrução Normativa n. 12, de 28 de março de 2008. Regulamento Técnico do Feijão, **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 31 de março de 2008, Seção 1.

CARVALHO, W. T. **Secagem de polpa residual obtida na industrialização de batata frita**. 2012. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária (safra 2014-2015)**. Brasília: Conab, 2014.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do

processo de secagem de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 161-165, 2005.

DRISCOLL, R. Food dehydration. Em : SMITH, J. S.; HUI, Y. H. Food processing: principles and applications. Iowa: Blackwell Publishing Professional, 2004. 511 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2016. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 26 Set. 2016.

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

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

ISQUIERDO, E. P.; BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T.; CORRÊA, J. L. G.; OLIVEIRA, P. D.; ALVEZ, G. E. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the ASABE**, v. 56, n. 3., p. 1003-1010, 2013.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.

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, p. 1071-1078, 2009.

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

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying modelo f parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 513-518, 2005.

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

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. 1949. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA, 1949.

RATHEE, J. S.; HASSARAJANI, S. A.; CHATTOPADHYAY, S. Antioxidant activity of *Mammea longifolia* bud extracts. **Food Chemistry**, v. 99, p. 436-443, 2006.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modelling rice drying. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers** (ASAE), v. 78, n. 6, p. 78-6505, 1978.

CAPÍTULO 4

Caracterização físico-química e atividade antioxidante de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) germinados a 25 °C e secos em estufa de circulação de ar

Caracterização físico-química e atividade antioxidante de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) germinados a 25 °C e secos em estufa de circulação de ar

Resumo

O consumo de leguminosas na forma de brotos tem crescido devido ao surgimento de populações que defendem o consumo de alimentos crus. No entanto, a vida útil desses alimentos é baixa devido a alta umidade e ao pH desses grãos germinados, sendo susceptíveis a contaminações por micro-organismos. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi o de avaliar a influência de três temperaturas de secagem sobre os parâmetros físico-químicos e a atividade antioxidante de grãos de feijão comum germinados a 25 °C, e também avaliar as propriedades viscoamilográficas das farinhas dos brotos secos nas diferentes temperaturas. As características físico-químicas e atividade antioxidante foram influenciadas com a secagem dos grãos germinados. Apesar da redução de certos parâmetros quando comparados aos brotos não secos, é possível o prolongamento da vida útil desses alimentos devido à redução da umidade (de 54,61 a 8,41%). A atividade antioxidante (FRAP) dos brotos secos foi aumentada no extrato metanólico quando comparada com o grão não germinado (de 9,19 a 13,34 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹). Todas as amostras apresentaram perfil viscoamilográfico semelhantes, com baixa tendência a retrogradação.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., germinação, secagem, propriedades de pasta.

**Physicochemical characterization and antioxidant activity of beans
(*Phaseolus vulgaris* L.) germinated at 25 ° C and dried in air
circulation oven**

Abstract

Legume consumption in the form of sprouts has grown over due to the emergence of people who defended the consumption of raw food. However, the shelflife of these foods is low due high moisture content and the pH of these sprouted grains, leave them susceptible to contamination by microorganisms. Thus, the purpose of this work was to evaluate the influence of three drying temperatures on physicochemical parameters and the antioxidant activity of common beans germinated at 25 ° C, and also to evaluate the rheological properties of flour dried sprouts at different temperatures. The physicochemical characteristics and antioxidant activity were influenced by drying the germinated grains. Despite the reduction of certain parameters when compared to non-dry sprouts, it is possible to extend the shelflife of these foods due to reduced moisture (from 54,61 to 8,41%). The antioxidant activity (FRAP method) of dried sprouts was increased in methanol extract compared with the not germinated grain (from 9,19 to 13,34 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox.g⁻¹). All samples showed similar pasting curves profile, with low tendency to retrogradation.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., germination, drying, pasting properties.

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa cultivada e consumida em todo o mundo, sendo uma importante cultura alimentar tanto do ponto de vista econômico quanto nutricional. O grão possui um conteúdo proteico relativamente alto, fibra alimentar, alto teor de carboidratos complexos e vitaminas do complexo B. Possui ainda compostos com ação antioxidante, importantes para prevenção de doenças (LAJOLO; GENOVESE; MENEZES, 1996; SILVA; ROCHA; CANNIATTI-BRAZACA, 2009). Apesar de tantas vantagens, o valor nutricional do grão acaba sendo reduzido devido à presença de fatores antinutricionais, acarretando baixa digestibilidade proteica e baixa biodisponibilidade de minerais (LAJOLO; GENOVESE; MENEZES, 1996).

O surgimento de populações que defendem o consumo de alimentos crus vem aumentando nos últimos anos. No entanto, o conhecimento sobre as diferenças entre as características dos grãos cozidos e dos grãos germinados ainda é escasso, visto que esta população inclui como crus, em sua dieta, os brotos de leguminosas. A germinação aplicada em leguminosas tem se tornado comum, sendo um processo natural para a obtenção de alimentos nutritivos com a justificativa de fácil assimilação pelo organismo (LÓPEZ et al., 2013). A maioria dos trabalhos publicados afirma que o processo germinativo geralmente aumenta a qualidade nutricional de leguminosas, não somente pela redução de fatores antinutricionais, mas também pelo aumento de aminoácidos livres, atividade antioxidante, proteínas solúveis e fibra alimentar (LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006; KATTAK et al., 2007; VERNAZA et al., 2012).

O consumo comum dos brotos na forma crua está associado ao curto período de conservação dos grãos germinados devido a alta umidade, sendo um alimento mais susceptível à deterioração do que o grão original. Embora poucos trabalhos associem o consumo dos brotos crus ao risco microbiológico, o pH dos mesmos e a alta umidade reúnem fatores de risco. Desde meados da década de 1990, os brotos crus ou levemente cozidos já foram ligados a mais de 30 surtos bacterianos nos Estados Unidos, principalmente causados por *Salmonella* e *Escherichia coli*. Em 2011, quase 4 mil pessoas ficaram doentes e 53 morreram devido a uma intoxicação na Alemanha cuja causa foi justamente a *E. coli* em brotos. Ao contrário de outros produtos frescos, sementes e grãos precisam de condições quentes e úmidas para germinar e crescer, sendo que estas condições também são ideais para o crescimento de bactérias,

incluindo *Salmonella*, *Listeria*, e *E. coli*. (BBC BRASIL, 2016; U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2016).

Dessa forma, a secagem pode ser uma alternativa para o prolongamento da vida útil de grãos germinados. A secagem é um processo onde ocorre a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um alimento, prolongando sua vida útil (DRISCOLL, 2004; FELLOWS, 2006).

Por se tratar de dois processos não comumente utilizados juntos – germinação e secagem, o presente trabalho teve por objetivo de avaliar a influência da temperatura de secagem sobre os parâmetros físico-químicos e a atividade antioxidante de grãos de feijão comum germinados, da mesma cultivar e procedentes de dois municípios, comparando-os com os feijões não germinados e germinados e não secos. Além disso, foram avaliadas as propriedades viscoamilográficas das farinhas dos brotos secos nas diferentes temperaturas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Os grãos de feijão estudados foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), sendo da cultivar SCS204 Predileto e procedentes dos municípios de Chapecó (Latitude 27°05'47"S e Longitude 52°37'06"O) e Guatambu (Latitude 27°8'5"S e Longitude 52°47'15"O), Santa Catarina, Brasil.

2.2 GERMINAÇÃO E SECAGEM DOS FEIJÕES

Para realizar a germinação dos grãos, os feijões (n = 150) foram pré-tratados em solução de hipoclorito de sódio 0,07% (m/v) por 30 minutos (1:3 m/v), e em seguida foram macerados em água destilada por 5h30min (1:3 m/v) (KUO et al., 2004; LÓPEZ-AMORÓS; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2006; LÓPEZ et al., 2013; LIMÓN et al., 2014). Após esse período, a água foi descartada e os grãos foram colocados em bandejas adaptadas para a germinação que foram, em seguida, levadas para a incubadora BOD (TE371, TECNAL®) de 25 ± 1 °C. A iluminação dos grãos foi necessária para a germinação e se deu com luz fluorescente branca e fria por 8 h, a cada ciclo de 24 h (BRASIL, 2009). Diariamente, água destilada foi borrifada nos grãos

(aproximadamente 3 mL), por bandeja de germinação, para manter úmida a superfície dos grãos.

Ao final das 72 h de germinação, os feijões germinados foram secos em estufa de circulação e renovação de ar (TE 394/2, TECNAL®), nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C. A perda de massa foi acompanhada até peso constante.

Para a realização das análises foram utilizados os grãos não germinados, os grãos germinados e não secos e os germinados e secos nas três diferentes temperaturas. Os grãos de feijão não germinados e aqueles germinados e secos em estufa com circulação de ar foram moídos e a farinha resultante foi peneirada (60 mesh). Os grãos germinados e não secos foram triturados em mixer (Black Plus, Britânia, Brasil) até a formação de uma massa pastosa e homogênea. Todas as amostras foram armazenadas sob congelamento em freezer a -18 ± 2 °C até a realização das análises.

2.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

O teor de umidade (método 925.10) e a acidez total titulável (método 942.15A) foram determinados segundo método da *Association of Official Analytical Chemists* – AOAC (2005). Os sólidos solúveis foram determinados com auxílio de um refratômetro (Topenmodell I, Carl Zeiss Jena, Alemanha), segundo IAL (2005). Para a determinação das proteínas solúveis, foi utilizada a metodologia proposta por Bradford (1976).

2.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante foi avaliada para o extrato aquoso e metanólico das amostras. Para isso, 0,2 g da amostra foi adicionada a 20 mL de água ou 20 mL de metanol para a determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH. Para a determinação pelo método FRAP, 0,4 g da amostra foi adicionada a 10 mL de água ou 10 mL de metanol. A mistura aquosa para ambas as determinações foi colocada sob banho de ultrassom no escuro por 1 h. Já a mistura metanólica foi deixada *overnight* sob refrigeração. Após estes períodos, as misturas tanto aquosa quanto metanólica foram centrifugadas a 2500×g (Hermle Z200A, Labortechnik®, Alemanha) por 10 min. Os sobrenadantes aquoso e metanólico foram utilizados para a avaliação da atividade antioxidante

pelos métodos DPPH e FRAP. O método de extração proposto foi determinado após análises prévias.

A determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH* foi realizada de acordo com Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). O método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Potential*) – Poder Antioxidante de Redução do Ferro foi realizado segundo Benzie e Strain (1996). Os resultados foram expressos em micromol de Trolox por grama de amostra seca ($\mu\text{mol.L}^{-1}$ Trolox g^{-1}).

2.5 PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DOS FEIJÕES GERMINADOS

As propriedades de pasta das farinhas de feijão não germinados e germinados e secos foram determinadas usando um Rápido Viscoanalisador (RVA 4500, Perten Instruments), utilizando uma temperatura inicial e final de 50 °C e mantendo a 95 °C por 10 minutos. Foi utilizada uma suspensão de amostra (3,0 g em 25 mL de água destilada) corrigido para 0% de umidade.

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas em três repetições, e os dados expressos como média \pm desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância, seguido pelo teste de Tukey para comparação das médias. Todos os resultados foram expressos em base peso seco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Os feijões germinados a 25 °C e secos nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C, foram submetidos a ensaios físico-químicos e os resultados estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físico-químicas avaliadas nos feijões não-germinados, germinados a 25 °C e nos grãos germinados e secos a diferentes temperaturas.

Parâmetros	Sem germinação	Germinação a 25 °C	Temperatura de secagem (°C)		
			45	55	65
<i>Umidade (g.100g-1 b.u.)</i>					
Chapecó	11,43 ± 0,21 ^{b,B}	53,82 ± 0,45 ^{b,A}	9,54 ± 0,67 ^{a,C,α}	9,74 ± 1,13 ^{a,C,α}	9,03 ± 0,32 ^{a,C,α}
Guatambu	12,64 ± 0,14 ^{a,B}	54,61 ± 0,20 ^{a,A}	8,41 ± 0,64 ^{a,C,α}	8,48 ± 0,90 ^{a,C,α}	8,52 ± 0,21 ^{a,C,α}
<i>pH</i>					
Chapecó	6,56 ± 0,02 ^{a,B}	6,87 ± 0,02 ^{a,A}	6,45 ± 0,01 ^{a,C,β}	6,58 ± 0,01 ^{a,B,α}	6,55 ± 0,02 ^{a,B,α}
Guatambu	6,54 ± 0,02 ^{a,B}	6,78 ± 0,03 ^{b,A}	6,45 ± 0,04 ^{a,C,β}	6,54 ± 0,01 ^{b,B,α}	6,50 ± 0,01 ^{b,B,C,αβ}
<i>Acidez Titulável (mL NaOH 0,1mol L⁻¹ 100g⁻¹)</i>					
Chapecó	11,81 ± 0,11 ^{a,C}	11,81 ± 0,62 ^{b,C}	15,11 ± 0,49 ^{a,A,α}	13,78 ± 0,32 ^{a,B,β}	13,95 ± 0,12 ^{b,B,β}
Guatambu	12,40 ± 0,62 ^{a,D}	13,40 ± 0,23 ^{b,CD}	15,54 ± 0,17 ^{a,A,α}	14,33 ± 0,34 ^{a,B,C,β}	14,72 ± 0,35 ^{a,A,B,β}
<i>Sólidos solúveis (°Brix)</i>					
Chapecó	3,39 ± 0,01 ^{b,C}	4,92 ± 0,20 ^{a,A}	4,13 ± 0,14 ^{a,B,α}	4,28 ± 0,08 ^{a,B,α}	4,03 ± 0,13 ^{a,B,α}
Guatambu	4,35 ± 0,40 ^{a,B}	5,21 ± 0,19 ^{a,A}	4,00 ± 0,15 ^{a,B,α}	4,15 ± 0,19 ^{a,B,α}	3,79 ± 0,13 ^{a,B,α}
<i>Proteínas solúveis (g.100g-1)</i>					
Chapecó	4,53 ± 0,03 ^{b,B}	6,14 ± 0,54 ^{a,A}	4,44 ± 0,06 ^{a,B,α}	4,40 ± 0,08 ^{a,B,α}	3,74 ± 0,12 ^{a,B,β}
Guatambu	5,54 ± 0,38 ^{a,B}	6,56 ± 0,19 ^{a,A}	4,47 ± 0,19 ^{a,C,α}	4,48 ± 0,10 ^{a,C,α}	3,85 ± 0,18 ^{a,D,β}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras gregas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os feijões não germinados e aqueles secos nas três temperaturas tiveram umidade abaixo de 10%. Segundo o Regulamento Técnico do Feijão, umidade abaixo de 14% é o ideal para a comercialização do feijão (BRASIL, 2008). Com umidade baixa, os brotos secos podem ter um prolongamento da vida útil quando comparados com os brotos frescos, visto que uma redução da umidade confere redução da atividade de água do alimento.

Após a secagem, para os feijões das duas procedências, houve uma redução significativa no pH quando comparados com o pH dos grãos germinados a 25 °C. A secagem a 55 e 65 °C não alterou o pH dos brotos quando comparados ao feijão não germinado. Já a acidez total titulável

aumentou depois que os feijões germinados foram secos nas três temperaturas, com um aumento mais significativo na secagem a 45 °C. As temperaturas nas quais os feijões germinados foram submetidos podem ter, além de ocasionar a perda de água do seu interior, volatilizado os compostos nitrogenados de menor massa molar formados durante a germinação, o que explica o aumento da acidez titulável e a redução do pH quando comparados os grãos germinados secos em estufa com os feijões germinados frescos.

A maioria dos micro-organismos tem melhor crescimento em valores de pH em torno de 7,0 (6,6 a 7,5), apesar de alguns poucos crescerem em pH abaixo de 4,0 (JAY, 2005). Dessa forma, é possível observar que, juntamente com uma umidade elevada, os feijões germinados a 25 °C e não secos podem estar mais susceptíveis à contaminação e/ou deterioração, podendo ter menor vida útil. Os demais feijões – não germinados e germinados e secos nas diferentes temperaturas -, embora tenham um pH próximo ao ideal para o desenvolvimento de fungos e bactérias, por possuírem um teor de umidade baixo, se conservam por um tempo mais prolongado.

Com relação aos sólidos solúveis, houve redução no seu teor quando os feijões germinados foram secos nas três temperaturas avaliadas quando comparados com os grãos germinados e não secos. A redução observada durante a secagem pode ter ocorrido pela transformação de alguns compostos em produtos da reação de Maillard, originados de reações de açúcares redutores com amino grupos, antes solúveis, perdendo esta característica após a reação (SIKORSKI et al., 2010).

Assim como ocorreu para os sólidos solúveis, nas três temperaturas de secagem, houve redução do teor de proteínas solúveis dos grãos germinados. Para os grãos procedentes de Chapecó, pode-se observar que os grãos germinados e secos não diferiram quando comparados com os feijões não germinados. Já para os grãos procedentes de Guatambu, os grãos germinados e secos tiveram uma redução significativa até mesmo quando comparados com os grãos não germinados, sendo mais significativo quando a secagem ocorreu a 65 °C. Essa redução pode estar relacionada com a temperatura, uma vez que, em temperaturas mais altas, pode ocorrer desnaturação proteica, com diminuição da sua solubilidade.

De acordo com os resultados apresentados, pode-se observar que o feijão germinado a 25 °C e não seco, apesar do incremento no teor de proteínas solúveis quando comparado aos feijões não germinados e germinados e secos nas diferentes temperaturas, pode tornar-se susceptível à contaminação fúngica e por bactérias, visto que possui um

pH próximo a faixa ideal para a proliferação desses micro-organismos, somado ao alto conteúdo de umidade no broto.

3.2 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante dos feijões não germinados e dos feijões germinados e secos a 45, 55 e 65 °C foi avaliada pelo método DPPH• e FRAP, e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Atividade antioxidante para os feijões não-germinados, germinados a 25 °C e para os grãos germinados e secos nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C.

Atividade antioxidante ($\mu\text{mol L}^{-1}$ Trolox.g-1)	Sem germinação	Germinação a 25 °C	Temperatura de secagem (°C)		
			45	55	65
<i>DPPH aquoso</i>					
Chapeçó	10,57 \pm 0,37 ^{a,A}	9,59 \pm 0,86 ^{a,A}	7,09 \pm 0,79 ^{a,B,β}	10,12 \pm 0,97 ^{a,A,α}	5,93 \pm 0,72 ^{a,B,β}
Guatambu	7,08 \pm 0,56 ^{b,B}	7,79 \pm 0,46 ^{b,AB}	6,65 \pm 0,02 ^{b,BC,β}	8,77 \pm 0,84 ^{a,A,α}	5,60 \pm 0,35 ^{a,C,β}
<i>DPPH metanólico</i>					
Chapeçó	4,17 \pm 0,18 ^{a,A}	2,61 \pm 0,14 ^{b,B}	1,63 \pm 0,09 ^{a,C,α}	1,94 \pm 0,28 ^{a,C,α}	2,02 \pm 0,09 ^{a,C,α}
Guatambu	2,59 \pm 0,13 ^{b,B}	3,79 \pm 0,58 ^{a,A}	1,63 \pm 0,19 ^{a,C,$\alpha\beta$}	1,42 \pm 0,09 ^{b,C,β}	1,86 \pm 0,05 ^{a,C,α}
<i>FRAP aquoso</i>					
Chapeçó	27,50 \pm 0,80 ^{a,A}	20,69 \pm 0,96 ^{a,B}	16,62 \pm 1,00 ^{a,C,α}	17,08 \pm 1,30 ^{a,C,α}	16,96 \pm 1,05 ^{a,C,α}
Guatambu	24,47 \pm 0,17 ^{b,A}	19,63 \pm 0,87 ^{a,B}	15,68 \pm 0,27 ^{a,C,α}	15,69 \pm 0,37 ^{a,C,α}	16,14 \pm 0,57 ^{a,C,α}
<i>FRAP metanólico</i>					
Chapeçó	9,31 \pm 0,71 ^{a,C}	15,37 \pm 0,65 ^{a,A}	9,58 \pm 0,62 ^{a,C,β}	12,56 \pm 0,24 ^{a,B,α}	13,34 \pm 1,10 ^{a,B,α}
Guatambu	9,19 \pm 0,59 ^{a,D}	15,57 \pm 0,94 ^{a,A}	10,62 \pm 0,25 ^{a,C,β}	12,74 \pm 0,33 ^{a,B,α}	12,86 \pm 0,34 ^{a,B,α}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras gregas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A farinha obtida de brotos de feijão secos a 55 °C foi a que obteve os maiores resultados da atividade antioxidante pelo método DPPH com extrato aquoso para todas as amostras, valores que não diferiram significativamente dos grãos germinados e não secos. Para o extrato

metanólico, pode-se observar que houve uma redução da atividade antioxidante quando os grãos germinados foram submetidos à secagem.

No método FRAP e para o extrato aquoso, não houve diferenças significativas entre as temperaturas de secagem para os feijões procedentes de Chapecó e Guatambu. No entanto, além da germinação, a secagem dos grãos germinados reduziu a atividade antioxidante quando comparado com os grãos não germinados. Para o extrato metanólico, a secagem também reduziu a atividade antioxidante dos grãos germinados. No entanto, nas temperaturas de 55 e 65 °C, a atividade antioxidante pelo método FRAP metanólico foi significamente maior quando comparado com os grãos não germinados para as duas procedências.

Com relação aos tipos de extratos, é possível observar que houve uma maior extração de compostos com atividade antioxidante em meio aquoso para os dois métodos avaliados. Isso porque os compostos possuem uma maior afinidade pela água do que pelo metanol, sugerindo uma maior concentração de compostos antioxidantes não fenólicos. Ainda, a menor atividade antioxidante encontrada pelo método DPPH em comparação ao método FRAP pode ser devido à presença de compostos que absorvem na mesma faixa de absorbância do método. Por exemplo, antocianinas têm uma forte absorção na faixa de comprimento de onda (500 – 550 nm) similar ao do método DPPH, o que pode ter interferido nos resultados e na sua interpretação (SHAHIDI; ZHONG, 2015).

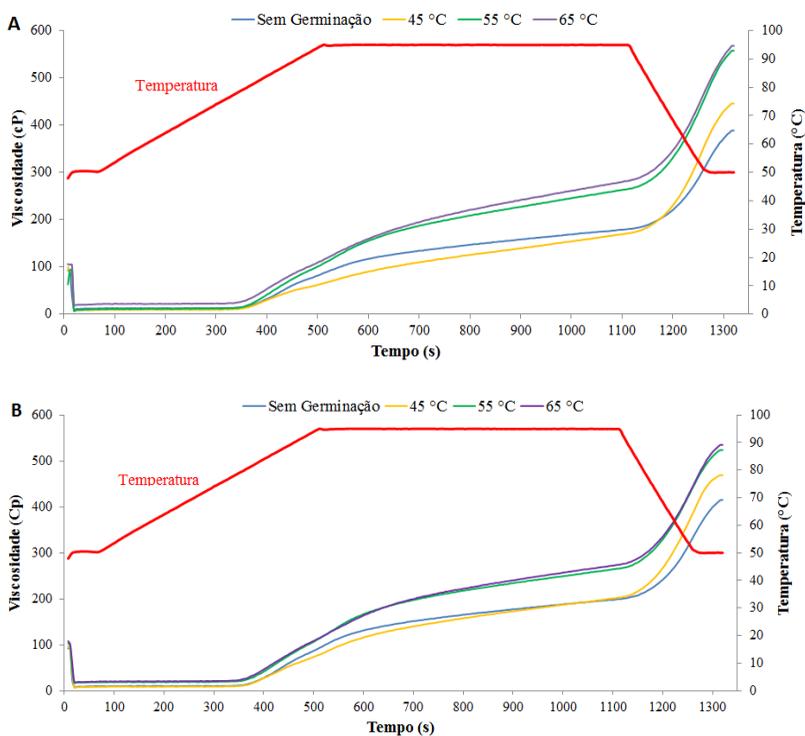
Os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a atividade antioxidante (DPPH e FRAP) para os extratos aquosos são fortes ($p < 0,05$) para os feijões não germinados, germinados e germinados e secos nas três temperaturas de secagem ($r = +1,00$), o que indica que nessas condições, os grãos apresentaram atividade antioxidante comparável em ambos os métodos. Para os extratos metanólicos, a correlação foi fraca para os feijões germinados e secos nas temperaturas de 45 e 55 °C ($r = -1,00$; $p < 0,05$). Já para os grãos não germinados, germinados a 25 °C e germinados e secos a 65 °C, a correlação de Pearson foi positiva ($r = +1,00$; $p < 0,05$).

3.3 PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS DAS FARINHAS DE FEIJÃO GERMINADO

Os estudos sobre as propriedades viscoamilográficas de farinhas de feijão são encontrados na literatura, porém não foram encontrados trabalhos sobre farinhas de brotos de feijão, o que dificulta uma comparação com outros trabalhos. Os perfis viscoamilográficos dos grãos de feijão não germinados e germinados e secos nas três diferentes

temperaturas são apresentados na Figura 1. Os feijões das duas procedências apresentaram perfil viscoamilográfico similares, com aumento da viscosidade com a temperatura e sem a queda da mesma após o retorno aos 50 °C. Todas as amostras não exibiram redução da viscosidade durante o período de aquecimento a 95 °C, revelando que os demais componentes do feijão, tais como proteínas e fibras, podem ter contribuído com a estabilidade da pasta.

Figura 1 - Viscoamilogramas dos feijões não-germinados e dos feijões germinados e secos nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C procedentes de A) Chapecó e B) Guatambu.



Os perfis dos feijões germinados e secos a 55 e 65 °C praticamente se sobrepuseram, tanto para os grãos de Chapecó, quanto para os grãos de Guatambu, e o mesmo pode ser observado para os grãos não germinados e germinados e secos a 45 °C. As diferenças e semelhanças nos parâmetros avaliados dos perfis viscoamilográficos são

apresentadas na Tabela 3. É possível observar que os feijões germinados e secos a 45 °C, procedentes das duas cidades, apresentaram os menores valores da viscosidade inicial a 95 °C, diferindo significativamente dos feijões germinados e secos a 55 e 65 °C.

Tabela 3 - Propriedades viscoamilográficas dos feijões não germinados e dos feijões germinados e secos a 45, 55 e 65 °C, obtidos através de amilogramas construídos no RVA.

Propriedades viscoamilográficas	Sem germinação	Temperatura de secagem (°C)		
		45	55	65
<i>Viscosidade inicial a 95 °C (cP)</i>				
Chapecó	87,33 ± 5,03 ^{a,AB}	65,67 ± 7,02 ^{a,B,β}	107,67 ± 12,66 ^{a,A,α}	115,67 ± 17,50 ^{a,A,α}
Guatambu	93,33 ± 1,53 ^{a,AB}	78,33 ± 9,61 ^{a,B,β}	113,67 ± 6,03 ^{a,A,α}	114,67 ± 13,32 ^{a,A,α}
<i>Viscosidade final a 95 °C (cP)</i>				
Chapecó	180,67 ± 6,11 ^{b,B}	172,00 ± 23,52 ^{a,B,β}	265,67 ± 28,75 ^{a,A,α}	283,33 ± 33,65 ^{a,A,α}
Guatambu	199,33 ± 2,08 ^{a,B}	203,00 ± 21,52 ^{a,B,β}	266,33 ± 14,74 ^{a,A,α}	274,67 ± 31,01 ^{a,A,α}
<i>Tendência a retrogradação (cP)</i>				
Chapecó	191,33 ± 31,01 ^{a,B}	273,67 ± 25,72 ^{a,A,α}	291,67 ± 9,61 ^{a,A,α}	284,33 ± 6,11 ^{a,A,α}
Guatambu	251,67 ± 0,52 ^{a,B}	266,00 ± 19,00 ^{a,A,α}	257,33 ± 17,62 ^{b,A,α}	260,33 ± 10,26 ^{b,A,α}
<i>Viscosidade final (cP)</i>				
Chapecó	372,00 ± 31,43 ^{b,B}	445,67 ± 48,56 ^{a,B,β}	557,33 ± 34,70 ^{a,A,α}	567,67 ± 39,55 ^{a,A,α}
Guatambu	415,00 ± 4,58 ^{a,B}	469,00 ± 40,15 ^{a,AB,α}	523,67 ± 32,35 ^{a,A,α}	535,00 ± 36,17 ^{a,A,α}
<i>Temperatura de pasta (°C)</i>				
Chapecó	79,20 ± 0,56 ^{a,A}	79,08 ± 0,38 ^{b,A,α}	78,57 ± 0,23 ^{b,AB,α}	77,77 ± 0,23 ^{b,B,β}
Guatambu	79,45 ± 0,35 ^{a,AB}	80,38 ± 0,63 ^{a,A,α}	79,85 ± 0,43 ^{a,A,α}	78,57 ± 0,23 ^{a,B,β}

Valores seguidos de letras minúsculas iguais, na mesma coluna e para o mesmo parâmetro, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras maiúsculas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Valores seguidos de letras gregas iguais, na mesma linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se viscosidades de pasta durante o aquecimento a 95 °C maiores para os grãos germinados e secos a 55 e 65 °C e menores para os feijões não germinados e germinados e secos a 45 °C. A viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento indica o grão elevado ou baixo

pode ser a viscosidade de uma amostra, que por sua vez depende da estrutura granular do amido e da sua proporção de amilose e amilopectina (MARQUEZI et al., 2016).

A tendência a retrogradação, ou o *setback*, permite mensurar a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o ciclo de aquecimento. Esta propriedade permite avaliar o comportamento da farinha durante a fase de resfriamento. A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e das frações lineares da amilopectina, através da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de géis. A tendência a retrogradação variou de 191,33 cP a 291,67 cP, sendo baixa para todas as amostras, em especial para os feijões não germinados. Uma baixa tendência a retrogradação deve-se a um teor baixo de amilose presente no grânulo de amido. No entanto, por não ser um amido isolado, a presença de outros componentes, como proteínas, lipídeos e fibras podem ter contribuído neste resultado.

A viscosidade final variou de 372,00 cP a 567,67 cP. Da mesma forma que os parâmetros anteriores, os feijões germinados e secos a 55 e 65 °C apresentaram os maiores valores. Com relação a temperatura de pasta, foi observado que os feijões germinados e secos a 65 °C obtiveram um menor valor neste parâmetro.

Durante a germinação do feijão, amido, proteínas e lipídeos se transformam em moléculas mais simples, sendo transportadas aos centros de crescimento para o desenvolvimento do eixo embrionário (VIEIRA; RAVA, 2000; CARDOSO, 2008). Essa transformação, aliada a uma temperatura alta de secagem – ocorrendo desnaturações proteicas –, pode ter contribuído para que o amido das amostras germinadas e secas a 55 e 65 °C ficasse mais exposto, o que explicaria os valores mais altos dos parâmetros avaliados quando comparados às outras amostras.

Estes resultados chamam a atenção para futuros trabalhos sobre as propriedades nutricionais destas farinhas, em diferentes aplicações no sentido de esclarecer sobre as vantagens no consumo de brotos, comparativamente aos feijões cozidos.

4 CONCLUSÃO

As temperaturas de secagem influenciaram nas características físico-químicas dos feijões germinados, sendo possível o prolongamento de sua vida útil devido à redução da umidade. No entanto, apesar de tal benefício, é possível observar que a secagem reduziu o teor de sólidos e

proteínas solúveis quando comparados aos feijões germinados e não secos.

Com relação à atividade antioxidante, pode-se observar o mesmo comportamento, com redução da atividade quando os brotos foram secos, porém, com uma atividade antioxidante superior quando comparado com o grão não germinado, como pôde ser visto para a extração metanólica pelo método FRAP.

Os feijões, não germinados e germinados e secos, apresentaram o mesmo comportamento viscoamilográfico, com baixa tendência a retrogradação. As maiores temperaturas de secagem tiveram mais influência nas propriedades viscoamilográficas quando comparadas com as farinhas do feijão não germinado.

As três temperaturas de secagem avaliadas reduziram o teor de umidade dos feijões germinados. No entanto, comparando somente as temperaturas de secagem propostas, observa-se que elas não diferiram significativamente em alguns parâmetros avaliados. Por não haver diferenças significativas em alguns parâmetros avaliados quando comparado a temperatura de secagem de 55 e 65 °C, foi escolhido a temperatura de 65 °C como melhor para a secagem dos grãos de feijão germinados, visto que a secagem acontece de forma mais rápida que nas demais temperaturas avaliadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 18 ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

BBC BRASIL. **6 alimentos que um especialista em segurança alimentar diz que nunca comeria**, fev. 2016. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/02/160204_alimentos_seguranca_intoxicacao_fn>. Acesso em: 29 ago 2016.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the frap assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

CARDOSO, V. J. M. Germinação. Em: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Sprouts: What You Should Know. Disponível em: <<https://www.foodsafety.gov/keep/types/fruits/sprouts.html>>. Acesso em: 29 ago 2016.

DRISCOLL, R. Food dehydration. Em: SMITH, J. S.; HUI, Y. H. **Food Processing: Principles and Applications**. Iowa: Blackwell Publishing Professional, 2004. 511 p.

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

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. São Paulo; Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020 p.

JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711 p.

KHATTAK, A. B.; ZEB, A.; BIBI, N.; KHALIL, S. A.; KHATTAK, M. S. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1074-1079, 2007.

KOU, Y.-H.; ROZAN, P.; LAMBEIN, F.; FRIAS, J.; VIDAL-VALVERDE, C. Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. **Food Chemistry**, v. 86, p. 537-545, 2004.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. Em: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.;

ZIMMERMANN, M. J. de O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil.**

Piracicaba: POTAFOS, 1996. 786 p.

LIMÓN et al. Role of elicitation on the health-promoting properties of kidney bean sprouts. **Food Science and Technology**, v. 56, p. 328-334, 2014.

LÓPEZ, A.; EL-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, I.; HERNÁNDEZ, T.; GÓMEZ-SERRANILLOS, M. P.; PALOMINO, O. M.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 138, p. 547-555, 2013.

LÓPEZ-AMORÓS, M. L.; HERNÁNDEZ, T.; ESTRELLA, I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 277-283, 2006.

MARQUEZI, M.; GERVIN, V. M.; WATANABE, L. B.; BASSINELLO, P. Z.; AMANTE, E. R. Physical and chemical properties of starch and flour from different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, p. 1-8, 2016.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757-781, 2015.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 20, p. 591-598, 2009.

SIKORSKI, Z. E.; POKORNY, J.; DAMODARAN, S. Interações Físicas e Químicas dos Componentes dos Alimentos. Em: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

VERNAZA, M. G.; DIA, V. P.; MEJIA, E. G.; CHANG, Y. K. Antioxidant and antiinflammatory properties of germinated and

hydrolysed Brazilian soybean flours. **Food Chemistry**, v. 134, p. 2217-2225, 2012.

VIEIRA, E. H.; RAVA, C. A. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temperatura de germinação influenciou o crescimento dos brotos de feijão, bem como afetou significativamente suas características físico-químicas. Foi observado um aumento dos teores de sólidos solúveis e proteínas solúveis, porém não houve um aumento significativo da atividade antioxidante quando os grãos foram germinados, contrariamente aos estudos de outros autores.

Dentre as temperaturas avaliadas para a germinação, a temperatura de 25 °C foi a escolhida para dar prosseguimento ao trabalho, uma vez que houve um bom desenvolvimento das plântulas e estas não foram danificadas por fungos.

Diante da importância de se conhecer o efeito da secagem sobre os grãos de feijão germinados a 25 °C, foram realizadas curvas de secagem nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C, as quais mostraram um comportamento clássico. Apesar de todos os modelos cinéticos propostos se ajustaram satisfatoriamente aos resultados nas três temperaturas avaliadas, o modelo de Midilli foi o escolhido como modelo da cinética de secagem dos feijões germinados por ter tido o melhor ajuste aos dados experimentais.

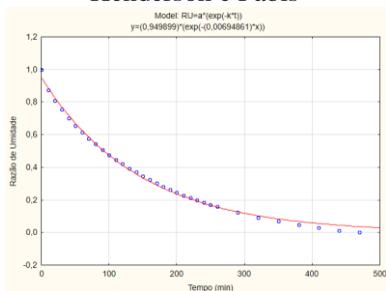
Assim como a temperatura de germinação, a temperatura de secagem também influenciou nas características físico-químicas e atividade antioxidante dos feijões germinados a 25 °C, reduzindo seus teores de sólidos e proteínas solúveis. O mesmo comportamento viscoamilográfico esteve presente para as farinhas dos feijões germinados secos nas três temperaturas, com baixa tendência a retrogradação.

A temperatura de secagem de 65 °C parece ter tido um bom efeito sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante dos feijões germinados, embora não se iguale às características dos feijões germinados e não secos. No entanto, sugere-se novos estudos, utilizando outras metodologias de germinação, assim como outras temperaturas de secagem, de modo a avaliar quais as melhores condições para oferecer ao mercado brotos de feijão com um maior período de vida útil e com características similares aos brotos frescos.

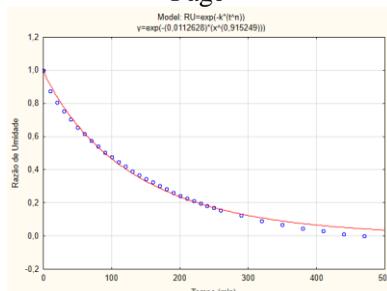
APÉNDICE

APÊNDICE A - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Singh para as secagens dos feijões procedentes de Chapecó germinados na temperatura de 45 °C.

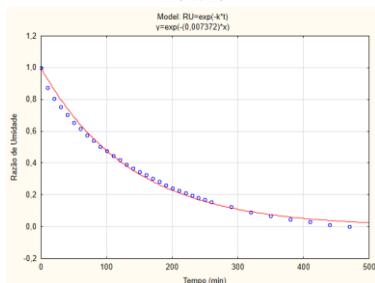
Henderson e Pabis



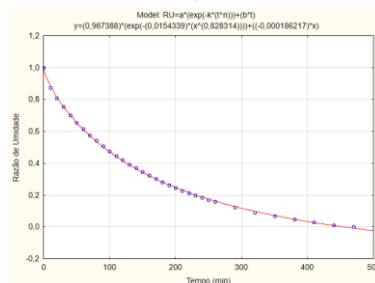
Page



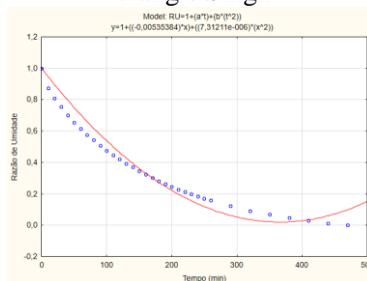
Lewis



Midilli

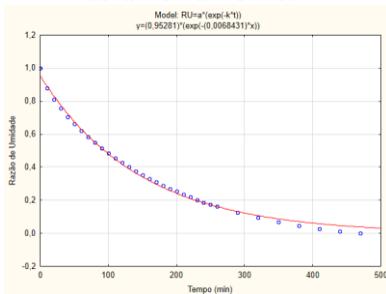


Wang e Singh

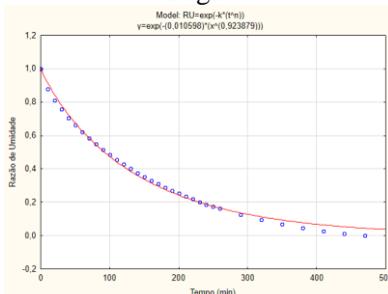


APÊNDICE B - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Singh para as secagens dos feijões procedentes de Guatambu germinados na temperatura de 45 °C.

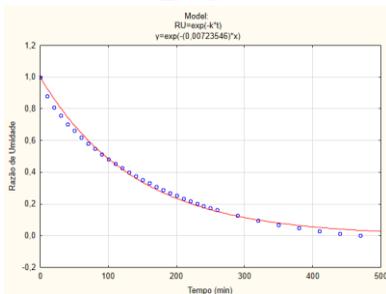
Henderson e Pabis



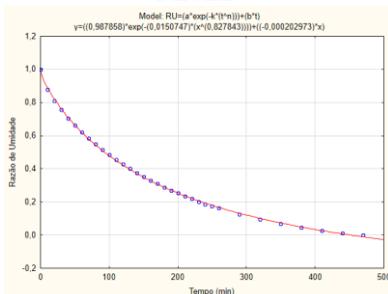
Page



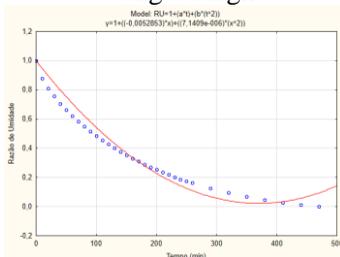
Lewis



Midilli

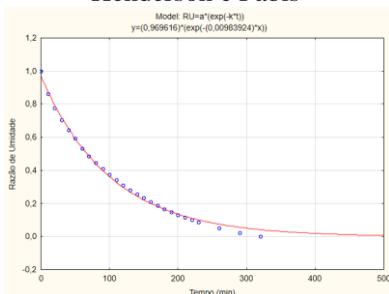


Wang e Singh

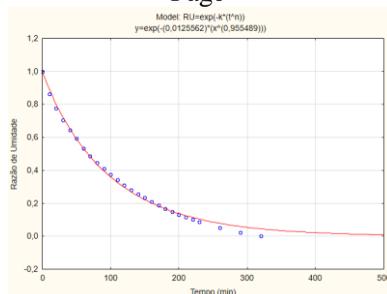


APÊNDICE C - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Singh para as secagens dos feijões procedentes de Chapecó germinados na temperatura de 55 °C.

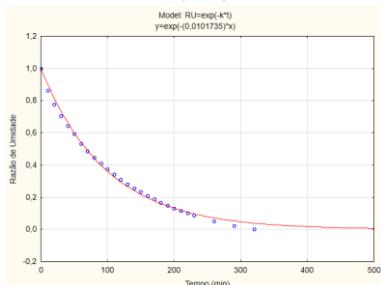
Henderson e Pabis



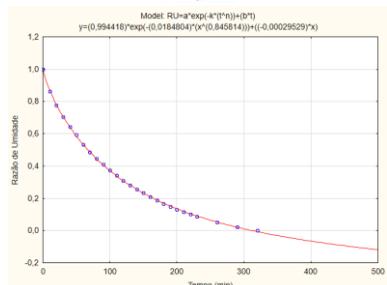
Page



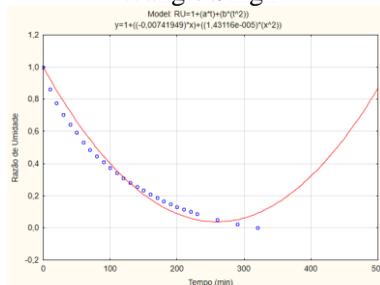
Lewis



Midilli

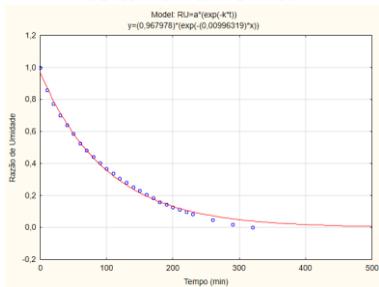


Wang e Singh

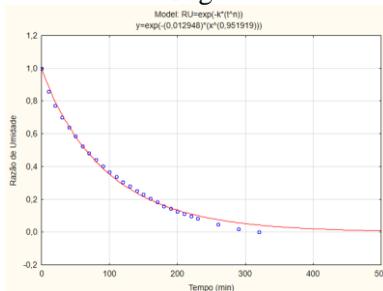


APÊNDICE D - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Singh para as secagens dos feijões procedentes de Guatambu germinados na temperatura de 55 °C.

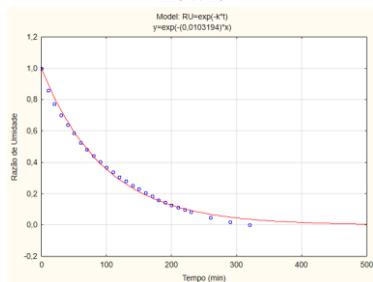
Henderson e Pabis



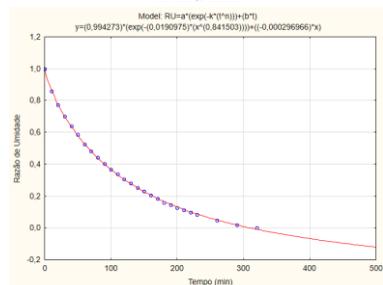
Page



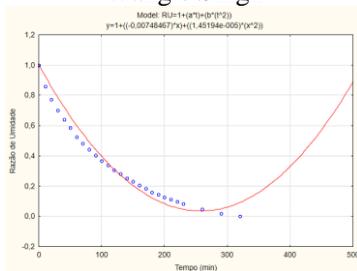
Lewis



Midilli

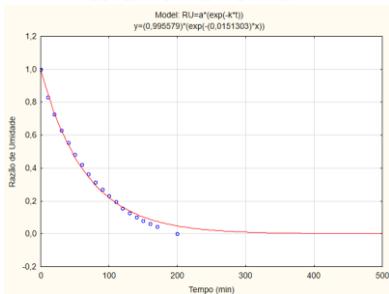


Wang e Singh

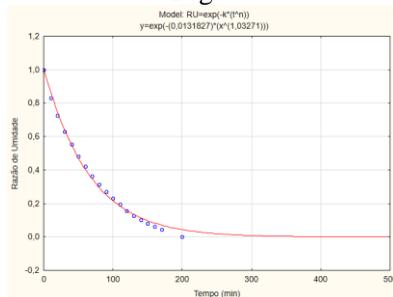


APÊNDICE E - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Singh para as secagens dos feijões procedentes de Chapecó germinados na temperatura de 65 °C.

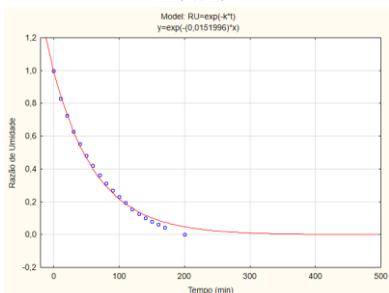
Henderson e Pabis



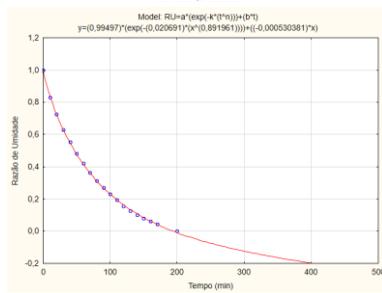
Page



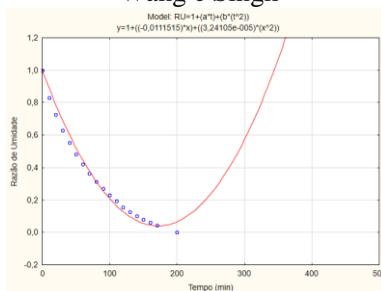
Lewis



Midilli

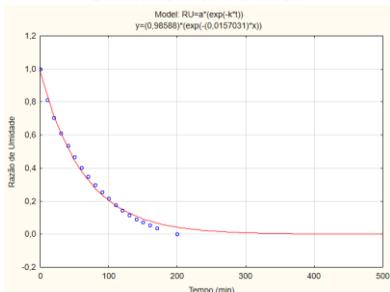


Wang e Singh

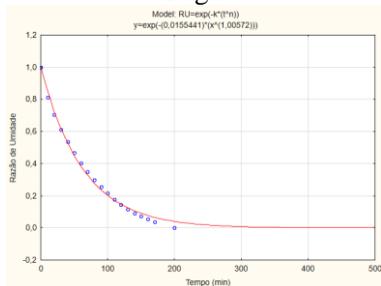


APÊNDICE F - Curvas experimentais de razão de umidade (RU) por tempo e os ajustes dos modelos de Henderson e Pabis (HP), Lewis, Page, Midilli e Wang e Singh para as secagens dos feijões procedentes de Guatambu germinados na temperatura de 65 °C.

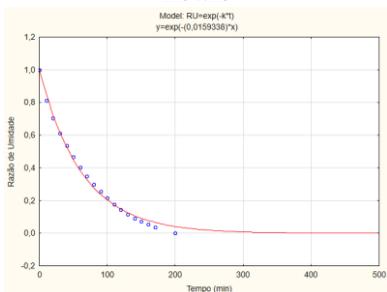
Henderson e Pabis



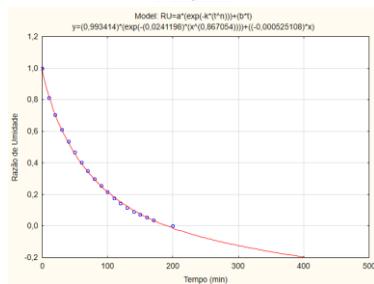
Page



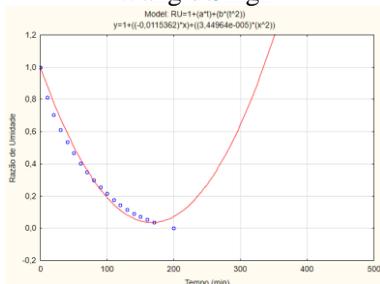
Lewis



Midilli

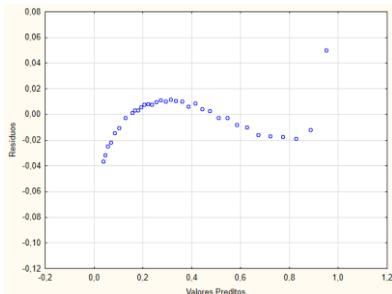


Wang e Singh

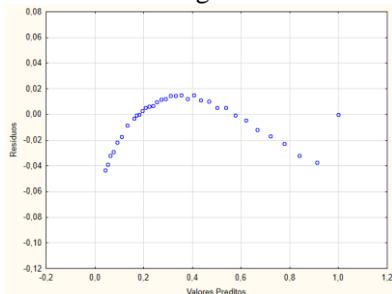


APÊNDICE G - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 45 °C dos feijões procedentes de Chapecó.

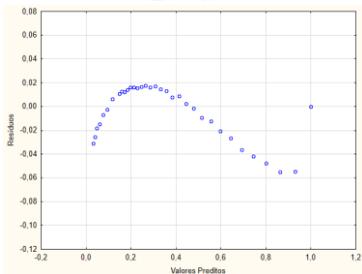
Henderson e Pabis



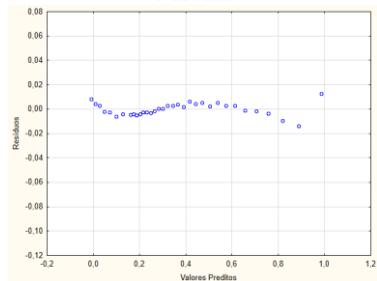
Page



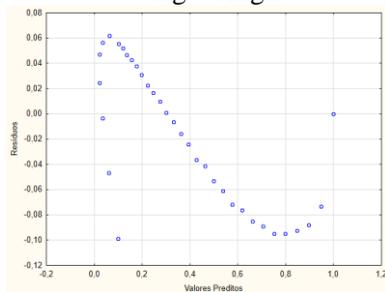
Lewis



Midilli

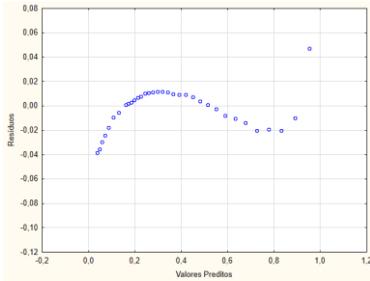


Wang e Singh

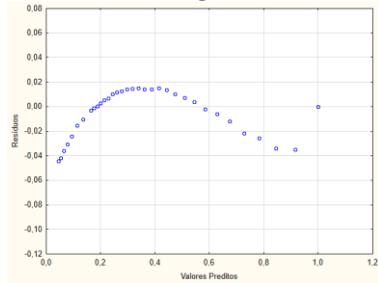


APÊNDICE H - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 45 °C dos feijões procedentes de Guatambu.

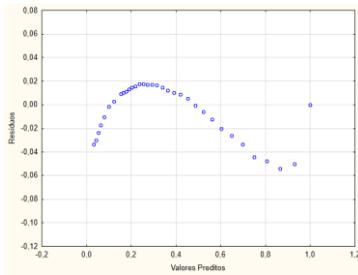
Henderson e Pabis



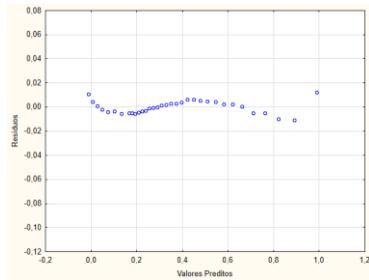
Page



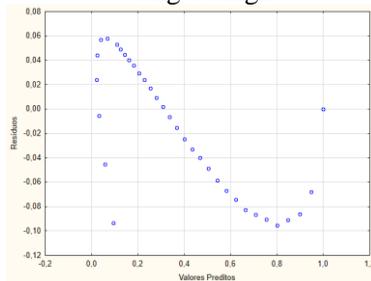
Lewis



Midilli

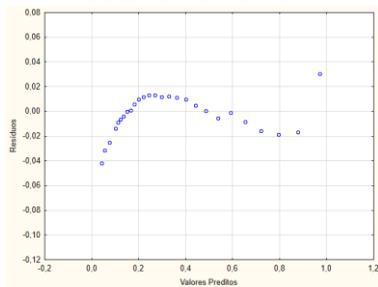


Wang e Singh

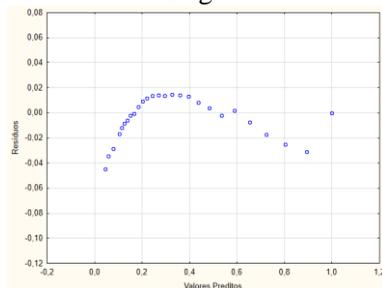


APÊNDICE I - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 55 °C dos feijões procedentes de Chapecó.

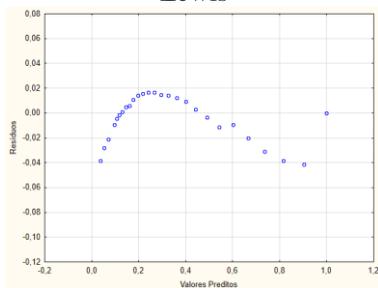
Henderson e Pabis



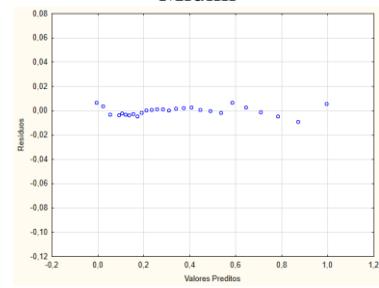
Page



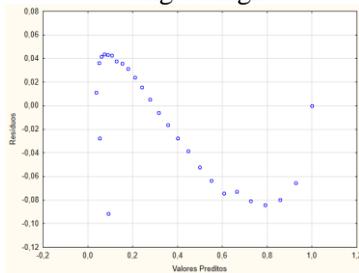
Lewis



Midilli

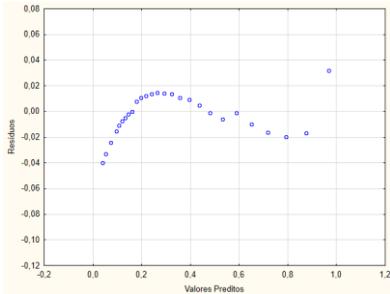


Wang e Singh

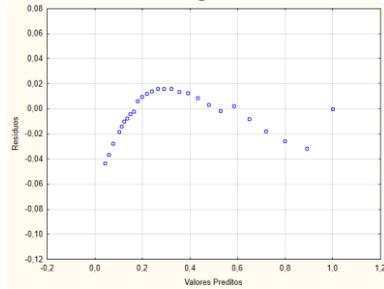


APÊNDICE J - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 55 °C dos feijões procedentes de Guatambu.

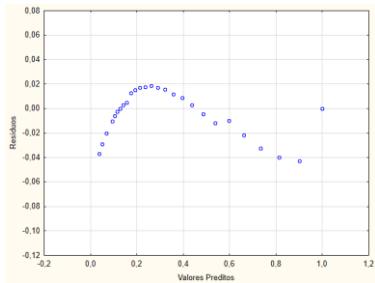
Henderson e Pabis



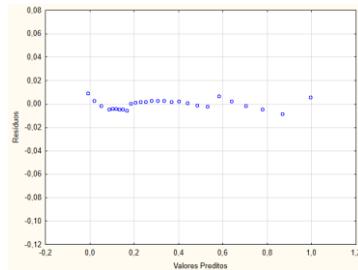
Page



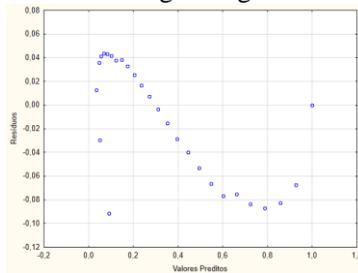
Lewis



Midilli

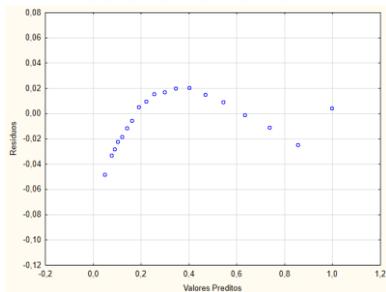


Wang e Singh

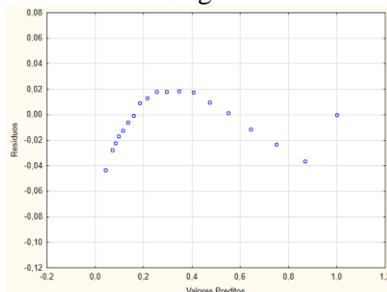


APÊNDICE K - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 65 °C dos feijões procedentes de Chapecó.

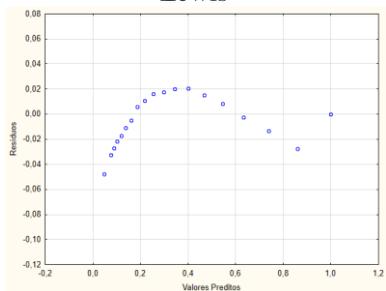
Henderson e Pabis



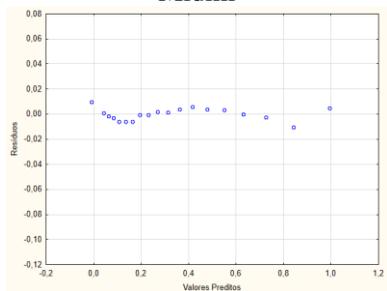
Page



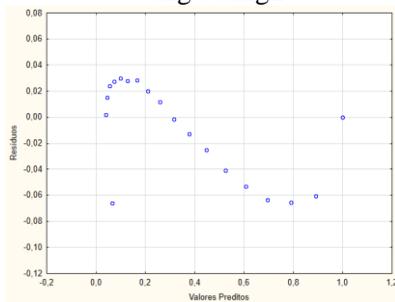
Lewis



Midilli

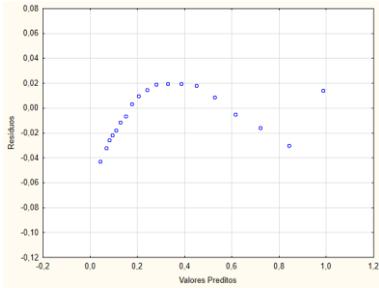


Wang e Singh

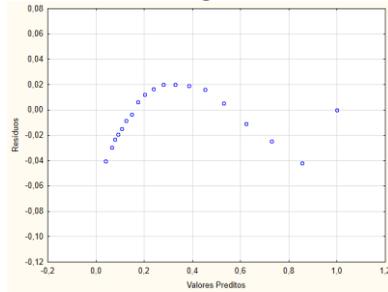


APÊNDICE L - Gráficos dos resíduos dos modelos matemáticos para secagem a 65 °C dos feijões procedentes de Guatambu.

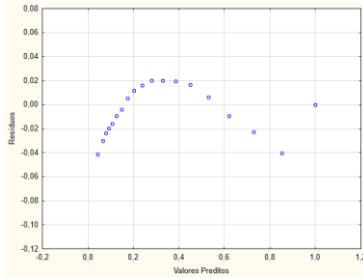
Henderson e Pabis



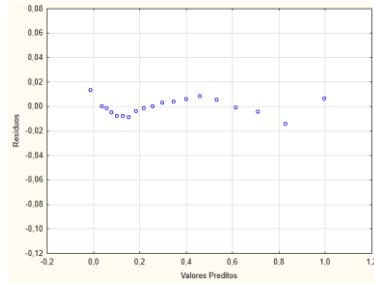
Page



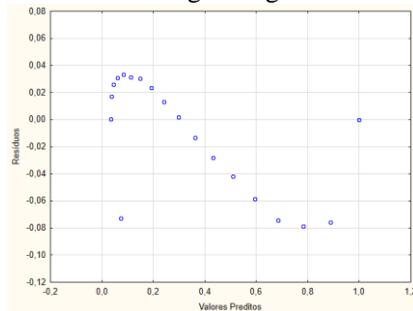
Lewis



Midilli



Wang e Singh



ANEXO

ANEXO A – Artigo “Efeito da temperatura de germinação sobre as características físico-químicas e atividade antioxidante de feijão comum” publicado na revista “Scientia Rural” (ISSN: 2178 – 3608)

SCIENTIA RURAL

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE

www.cescage.edu.br/publicacoes/scientiarural

13ª Ed./JAN-JUL/2016

ISSN 2178 – 3608

EFEITO DA TEMPERATURA DE GERMINAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FEIJÃO COMUM

MILENE MARQUEZI ¹; CATARINA SOARES BRAGA ²; EDNA REGINA AMANTE ³.

Acesso do artigo em:

http://www.cescage.edu.br/new/main.php?module=edit_edicoes&revista=4